ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์

น.ส.ธันย์ชนก คล่องแคล่ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม สหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FEASIBILITY STUDY OF COMMERCIALIZATION OF SPACE TRAFFIC MANAGEMENT: STM

Miss Thanchanok Khlongkhlaew

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Technopreneurship and Innovation Management
Inter-Department of Technopreneurship and Innovation Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์
โดย	น.ส.ธันย์ชนก คล่องแคล่ว
สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กวิน อัศวานันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิเลิศ ภูริวัชร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธันย์ชนก คล่องแคล่ว : ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์. (FEASIBILITY STUDY OF COMMERCIALIZATION OF SPACE TRAFFIC MANAGEMENT: STM) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอวกาศโดยเฉพาะดาวเทียมถูกนำมาประยุกต์ใช้มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของวัตถุอวกาศเพิ่มมากขึ้นอย่างทวีคูณ สร้างความแออัดในวงโคจรและเพิ่มความเสี่ยงต่อการชนกับดาวเทียมปฏิบัติการอื่น ๆ ในประเทศไทยมีงานวิจัยที่พัฒนาระบบการจัดการจราจรอวกาศ เพื่อแจ้งเตือนความเสี่ยงต่อการชนของดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ แต่ระบบดังกล่าวถูกใช้งานเฉพาะในองค์กรเท่านั้น ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยีและด้านการตลาดของการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยได้สัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มหน่วยงานที่พัฒนาดาวเทียม และหน่วยงานที่อยู่ระหว่างการพัฒนาดาวเทียม จำนวน 12 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มเจาะจง จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์กับหน่วยงานที่มีการนำส่งดาวเทียมที่อยู่วงโคจรระดับต่ำมากกว่าดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรค้างฟ้า จากการวิเคราะห์พบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ และเป็นรูปแบบการอนุญาตให้ใช้สิทธิโดยไม่จำกัดแต่เพียงผู้เดียว มีค่าเปิดเผยเทคโนโลยี 6,000,000 บาท และค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิอยู่ที่ช่วงร้อยละ 4.0 - 7.0 จากรายได้ทั้งหมดต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6280123820 : MAJOR TECHNOPRENEURSHIP AND INNOVATION MANAGEMENT
KEYWORD: space traffic management, space objects, satellite, space debris

Thanchanok Khlongkhlaew : FEASIBILITY STUDY OF COMMERCIALIZATION OF SPACE TRAFFIC MANAGEMENT: STM. Advisor: Assoc. Prof. DUANGHATHAI PENTRAKOON, Ph.D.

Nowadays, Space technology especially satellite has been applied progressively providing an increase in number of space objects. This makes an orbit more crowded and might cause more collision's risk with other space objects in the same orbit. Hence, the "Space Traffic Management System" research was developed to monitor and alert the risk of satellite collisions with space objects in Thailand. Initially, this research has been implemented to support GISTDA's satellites only. The objective of this study was to explore a possibility for commercially exploiting the Space Traffic Management System. This study was conducted by in-depth interview a group of agencies operating and developing satellites - totally 12 people by random sampling method. The study shows the possibility in commercializing the Space Traffic Management System with Low Earth Orbit satellites, but not the Geostationary Earth Orbit satellites by licensing approach. The licensing fees are 6,000,000 bahts for upfront fee and 4-7% of the total annual revenue for the royalty fee.

Field of Study:	Technopreneurship and Innovation Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย แม้ว่าท่านอาจารย์จะมีภารกิจสำคัญ ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ไม่เคยเป็นปัญหาในการให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นจากท่านอาจารย์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์อีกครั้ง ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณคุณแม่ น้องชายและน้องแบลคแคทมาก ๆ ที่เป็นสุดยอดกำลังใจและหน่วยสนับสนุนที่ดีที่สุดในชีวิตเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนสนิทที่น่ารักมาก ๆ มิ้นท์ ชนิตา มิ้นต์ อารียาที่เป็นกำลังใจและรับฟังทุก ๆ เรื่อง

ขอขอบพระคุณพี่ปุ๊ ดร.พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ / พี่บอย ดร.พรเทพ นวกิจกนก / คุณบุญชุบ บุ้งทอง / คุณลิขิต วรานนท์ / คุณเอกชัย ภัคดุรงค์ / ดร.พงศธร สายสุจริต / คุณณัฐพล พงษ์ไทยพัฒน์ / คุณบริณต หงส์ดิลกกุล / คุณ Owen Cha / คุณ Eddy Yang / คุณ Bill Chang / คุณ Chusnul Tri Judianto ที่สละเวลาอันมีค่ามาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยนี้มองเห็นโอกาสในอนาคต

ขอขอบคุณพี่หนึ่ง ดร.ดำรงค์ฤทธิ์ เนียมหมวด ที่ให้คำปรึกษา และโดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณพี่คิม ดร.สิทธิพร ชาญนำสิน ผู้พัฒนาระบบ ZIRCON ที่ให้คำปรึกษาทั้งเรื่องงานวิจัย การงาน และแนะนำการใช้ชีวิตให้ผ่อนคลายมากขึ้น ช่วยอ่านงานและแก้ไขเนื้อหา ขอขอบคุณเอ็กซ์ ดร.สุวัฒน์ ศรีเศวต พี่ปิ๊ก พี่แบงค์ กีรติ และพี พศวรีร์และแก๊งเรื่อยเปื่อยที่ให้คำแนะนำดี ๆ และช่วยหาข้อมูลขอขอบพระคุณพี่ซิง ดร.ณัฐวัฒน์ หงส์กาญจนกุล ที่เป็นล่ามให้ ขอขอบพระคุณพี่กุ้ง ดร.วรินทร์ธร เอวานส์ ที่ช่วยอ่านภาษาอังกฤษและแก้ไขให้ถูกต้อง ขอขอบคุณฮัท อิชิดะที่ให้ความช่วยเหลือที่น่ารักมาก ๆ ที่ขาดไม่ได้ขอขอบคุณพี่เต๊ะ มงคลที่เป็นกำลังใจซึ่งกันและกัน ช่วยให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณพี่มิ้ว พี่ดาว พี่ ๆ ใน GISTDA Academy ที่เป็นกำลังใจ เข้าใจ และดูแลน้องเสมอ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่อาจจะกล่าวชื่อได้ไม่หมดที่ให้กำลังใจโดยตลอด ขอบคุณแพรว ปอและเพื่อน ๆ CU-TIP ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำดี ๆ และที่ขาดไม่ได้ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจดี ๆ ให้กับได้เรียนรู้และพบเจอกับนวัตกรรมใหม่ ๆ

ธันย์ชนก คล่องแคล่ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

.....ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค
.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ
สารบัญ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูปภาพ.....ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....3
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....4
1.5 วิธีการดำเนินการศึกษา.....4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5
1.7 แผนการดำเนินงาน.....5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6
2.1 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบอวกาศ.....6
2.1.1 ปัญหาของห้วงอวกาศ.....6
2.1.2 ส่วนประกอบของอวกาศ.....10
2.1.3 ผลกระทบจากการชนกันระหว่างดาวเทียมและขยะอวกาศ.....21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของดาวเทียมและขยะอวกาศ 28
2.1.5 แนวคิดการจัดการและติดตามกับวัตถุอวกาศในห้วงอวกาศ 46
2.2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจอวกาศ 48
2.2.1 บริบทของเศรษฐกิจอวกาศ หรือ New Space Economy ในระดับโลก 48
2.2.2 บริบทของเศรษฐกิจอวกาศ หรือ New Space Economy ในประเทศไทย 50
2.3 แนวคิดการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ 56
2.3.1 กระบวนการนวัตกรรมเชิงพาณิชย์ 56
2.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility study) 57
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา 63
3.1 ศึกษาและค้นคว้าการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 63
3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ เพื่อไปสู่การนำไปใช้เชิงพาณิชย์ 64
3.2.1 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัยเชิงคุณภาพด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก 64
3.2.2 ความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี 68
3.2.3 ความเป็นไปได้ด้านการตลาด 68
3.3 อภิปรายผลการศึกษา 69
3.4 สรุปผลการศึกษา 69
บทที่ 4 ผลการศึกษา 70
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท 70
4.2 ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม 73
4.2.1 วิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุ 73
4.2.2 วิธีการปรับเปลี่ยนวงโคจรเพื่อให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรปฏิบัติการ (orbital mission) หรือ เปลี่ยนวงโคจรเพื่อลดความเสี่ยงการชนของวัตถุ 74
4.3 ข้อมูลการติดตามและแจ้งเตือนมีความเสี่ยงของการชนของดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.1 หากดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับอย่างไร 76
4.3.2 มีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศ หรือไม่ 77
4.3.3 จะมีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศ หรือไม่ 78
4.4 ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต 79
บทที่ 5 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี 83
5.1 รายละเอียดเทคโนโลยี 83
5.2 การประเมินด้านเทคโนโลยี (Technology Assessment) 86
5.2.1 โอกาสทางการตลาด 86
5.2.2 สภาพแวดล้อมของเทคโนโลยี 87
5.2.3 ความพร้อมของเทคโนโลยี 92
5.2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอวกาศ 96
บทที่ 6 การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด 97
6.1 การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis) 97
6.2 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT Analysis) 104
6.3 การกำหนดกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด (STP Marketing) 106
6.4 การวิเคราะห์สถานการณ์ทางการตลาด (marketing situation analysis) 108
6.5 การวิเคราะห์ลูกค้า (consumer analysis) 110
6.6 การวิเคราะห์คู่แข่ง (competitor analysis) 110
6.7 แผนธุรกิจ 112
บทที่ 7 อภิปรายผลและสรุปผล 122
7.1 อภิปรายผลการวิจัย 122
7.2 สรุปผลการวิจัย 128

ภาคผนวก ก 131
ภาคผนวก ข 135
ภาคผนวก ค 144
ภาคผนวก ง 166
บรรณานุกรม 184
ประวัติผู้เขียน 191

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน 5
ตารางที่ 2.1 รายงานความเสียหายจากอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมและขยะอวกาศ 20
ตารางที่ 2.2 การประมาณการจำนวนดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ 30
ตารางที่ 2.3 การจำแนกดาวเทียมขนาดเล็ก 32
ตารางที่ 2.4 ดาวเทียมเพื่อการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์โครงการดาวเทียม BIRDS 36
ตารางที่ 2.5 Possibility of the New Space Economy for Thailand 54
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่ 1 65
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่ 2 66
ตารางที่ 5.1 เทคโนโลยีในการติดตามวัตถุอวกาศใกล้โลก 91
ตารางที่ 5.2 ความพร้อมของเทคโนโลยีระบบจัดการจราจรอวกาศ 94
ตารางที่ 6.1 การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis) 97
ตารางที่ 6.2 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT Analysis) 104
ตารางที่ 6.3 การกำหนดกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด (STP Marketing) 106
ตารางที่ 6.4 ผลการเปรียบเทียบการใช้งานของระบบการแจ้งเตือนการชน 110
ตารางที่ 6.5 อัตราคิดลดที่ใช้ในการเจรจาต่อรองการอนุญาตใช้สิทธิ แบ่งตามลักษณะธุรกิจและเทคโนโลยี 115
ตารางที่ 6.6 ส่วนแบ่งการตลาดของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) 115
ตารางที่ 6.7 แผนประมาณการทางการเงิน 116
ตารางที่ 6.8 อัตราค่าตอบแทนการใช้สิทธิแบ่งตามรายอุตสาหกรรม 117
ตารางที่ 6.9 ประมาณการรายได้จากส่วนแบ่งการตลาดของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ 119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เศษชิ้นส่วนของดาวเทียมทั้งสอง ในช่วงเวลา 20 นาที หลังการปะทะของซากดาวเทียม KOSMOS-2251 และดาวเทียมสื่อสาร Iridium-33 7

รูปที่ 2.2 เศษชิ้นส่วนของดาวเทียมทั้งสอง ในช่วงเวลา 1 ชม. หลังการปะทะของซากดาวเทียม KOSMOS-2251 และดาวเทียมสื่อสาร Iridium-33 7

รูปที่ 2.3 จำนวนขยะอวกาศที่สร้างโดยประเทศต่าง ๆ ข้อมูล ณ เดือนมกราคม 2563 9

รูปที่ 2.4 สรุปภาพรวมกิจกรรมอวกาศทั่วโลก ปี 2563 9

รูปที่ 2.5 การระบุตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า 12

รูปที่ 2.6 วงโคจรประเภทต่าง ๆ 17

รูปที่ 2.7 จำนวนวัตถุอวกาศประเภทต่าง ๆ ที่พบจากอดีตถึงปัจจุบัน 19

รูปที่ 2.8 สัดส่วนของวัตถุที่โคจรอยู่ในห้วงอวกาศ 21

รูปที่ 2.9 จำนวนวัตถุอวกาศรอบที่โคจรอยู่รอบโลก 22

รูปที่ 2.10 ถังพลังงานเชื้อเพลิงจากดาวเทียม Iridium-33 ตกลงสู่โลกที่รัฐแคลิฟอร์เนีย 24

รูปที่ 2.11 วัตถุปริศนาที่ระเบิดกลางอากาศที่ชายแดนไทย-ลาว 25

รูปที่ 2.12 เส้นทางจรวดดังกล่าวจะพาดผ่านประเทศไทย 26

รูปที่ 2.13 วิวัฒนาการของวัตถุอวกาศที่โคจรอยู่ในห้วงอวกาศ 28

รูปที่ 2.14 ประเทศที่มีดาวเทียม (สีส้ม) และฐานปล่อยจรวด (สีส้มเข้ม) ในปี 2539 29

รูปที่ 2.15 ประเทศที่มีดาวเทียม (สีส้ม) และฐานปล่อยจรวด (สีส้มเข้ม) ในปี 2563 29

รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบขนาดของ CubeSat เมื่อเทียบกับดาวเทียมขนาดใหญ่ที่ใช้งานกันทั่วไป 31

รูปที่ 2.17 แนวโน้มการส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำ 31

รูปที่ 2.18 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของดาวเทียม CubeSat ที่ได้รับการส่งขึ้นสู่วงโคจร 33

รูปที่ 2.19 ดาวเทียม OneWeb 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.20 Microsatellite Development LAPAN 39
รูปที่ 2.21 องค์ประกอบของดาวเทียมดวงหลัก THEOS-2 42
รูปที่ 2.22 โปรแกรมและไทม์ไลน์ในการพัฒนาดาวเทียม TSC 44
รูปที่ 2.23 โครงการ BCC-Sat 1 ดาวเทียม CubeSat ขนาด 1U 45
รูปที่ 2.24 มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของอุตสาหกรรมอวกาศในระดับโลก ปี 2561 49
รูปที่ 2.25 มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศไทย ปี 2561 51
รูปที่ 2.26 ภูมิทัศน์ยุคเศรษฐกิจอวกาศใหม่ (New Space Economy Landscape) สำหรับประเทศไทย ปี 2561 52
รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการศึกษา 63
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการการทำงานของระบบจัดการจราจรอวกาศ 85
รูปที่ 5.2 Visualization ของระบบจัดการจราจรอวกาศ 85
รูปที่ 5.3 Technology Readiness Level หรือ TRL ของระบบจัดการจราจรอวกาศ 93
รูปที่ 6.1 จำนวนขยะอวกาศในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในอดีต มีการรายงานอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมครั้งใหญ่และรุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ ได้แก่ เหตุการณ์บริเวณท้องฟ้าเหนือดินแดนไซบีเรียตอนเหนือ สูงจากพื้นโลกประมาณ 790 กิโลเมตร ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2552 เมื่อดาวเทียม Iridium-33 หรือดาวเทียมสื่อสารของสหรัฐอเมริกา ชนกับซากดาวเทียม Cosmos-2251 ของรัสเซียที่หยุดทำงานและปลดประจำการไปแล้วตั้งแต่ปี 2538 (ชิดชนก วิมุกตานนท์, 2563) เหตุการณ์นั้น ทำให้โครงสร้างดาวเทียมทั้งสองแตกกระจายเกิดเป็นกลุ่มวัตถุอวกาศที่มีขนาดแตกต่างกันนับล้านชิ้น นอกจากนี้จรวดหรือกระสวยอวกาศที่มีขนาดใหญ่มากจะไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดในชั้นบรรยากาศโลกก็จะตกลงสู่พื้นผิวโลก ทั้งนี้ อุบัติเหตุดังกล่าวถูกรายงานว่า ไม่มีการเตือนล่วงหน้ามาก่อนถึงความเป็นไปได้ที่ดาวเทียมสองดวงนี้อาจชนกัน และถึงแม้การแจ้งเตือนถึงความเสี่ยงของวัตถุใด ๆ ที่โคจรเข้ามาใกล้กับดาวเทียม แต่ข้อมูลที่ได้รับนั้นมีมากถึงหลายร้อยรายการต่อสัปดาห์ ซึ่งการจะเคลื่อนที่ดาวเทียมหลบตามทุกคำเตือนย่อมเป็นไปไม่ได้เพราะดาวเทียมแต่ละดวงมีเชื้อเพลิงที่จำกัด การเคลื่อนที่หลบในแต่ละครั้งย่อมส่งผลถึงงบประมาณและการทำงานของดาวเทียมดวงนั้น (Chanud Sithipreedanant, 2562) และเป็นไปได้ว่าในการชนกันดังกล่าว อาจจะเกิดจากการคำนวณตำแหน่งของดาวเทียมที่ผิดพลาดโดยตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุอวกาศที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากแรงรบกวนภายนอกของสภาวะอวกาศ โดยในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา มีอุบัติเหตุขยะอวกาศชนกันปีละประมาณ 12 ครั้ง และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ESA, 2563) ซึ่งนับเป็นผลกระทบและความเสี่ยงต่อดาวเทียมที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติภารกิจอยู่ทั่วโลก

นอกจากผลกระทบและความความเสี่ยงในการชนจะมีต่อดาวเทียมแล้ว ยังเคยสร้างความตื่นตระหนกต่อชีวิตและทรัพย์สินของคนไทย โดยประเทศไทย เคยมีการเฝ้าติดตามสถานการณ์สถานีอวกาศเทียนกง-1 หลุดจากวงโคจร ทำให้ไม่มีใครสามารถระบุเวลาและจุดตก ณ พื้นโลกได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้จากข้อมูลของ Space Surveillance Network หรือ SSN มีการคาดการณ์ว่าสถานีอวกาศเทียนกง-1 จะถูกเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศและแตกเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก หลงเหลือสู่พื้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โลกเพียงเล็กน้อย โอกาสที่ชิ้นส่วนจะตกในพื้นที่ของประเทศไทยมีน้อยกว่าร้อยละ 0.1 (Prachachat, 2561) อย่างไรก็ตาม เมื่อวันที่ 1 เมษายน 2561 สถานีอวกาศเทียนกง-1 ได้ตกสู่พื้นโลกบริเวณกลางมหาสมุทรแปซิฟิกตอนใต้ โดยไม่มีรายงานความเสียหายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ทั้งนี้ ได้มีการลงนามบันทึกความเข้าใจร่วมกันในแนวทางการบรรเทาความเสี่ยงและลดปริมาณของขยะอวกาศผ่านข้อตกลงของประเทศสมาชิกคณะกรรมการว่าด้วยการใช้อวกาศในทางสันติของสหประชาชาติ (UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: UN-COPUOS) ประกอบด้วย 3 แนวทาง ได้แก่ 1) พัฒนาระบบเครือข่ายกล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นดินเพื่อเฝ้าระวังทางอวกาศ 2) พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ความเสี่ยงของการปะทะ และ 3) พัฒนาระบบกำจัดวัตถุอวกาศจากวงโคจรที่ใช้งาน (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ, 2564b) โดยแต่ละประเทศสามารถนำมาปรับใช้ได้ตามความเหมาะสม พบว่าประเทศไทยมีความเสี่ยงหากต้องรอการแจ้งเตือนจากผู้ให้บริการแจ้งเตือน (data provider) ในต่างประเทศ อาจไม่สามารถติดต่อได้หรือมีการระงับการให้บริการไป ตลอดจนปัญหาด้านเสถียรภาพของประเทศต่าง ๆ รวมทั้งยังมีค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเทคโนโลยีที่สูงมาก ทำให้มีความเสี่ยงต่อการตัดสินใจและวางแผนการหลบเลี่ยงได้ล่าช้า (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2564) อีกทั้งผู้ให้บริการแจ้งเตือน (data provider) ด้านนี้ยังมีอยู่น้อยมาก

ดังนั้น ประเทศไทยจึงมีความตระหนักถึงความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินจากภัยคุกคามทางอวกาศและเล็งเห็นโอกาสจากปัญหาจากการพึ่งพาเทคโนโลยีต่างประเทศ จึงได้พัฒนา “ระบบการจัดการจราจรอวกาศ” (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า “ZIRCON”) โดยผู้เชี่ยวชาญด้านกลศาสตร์วงโคจรที่มีความรู้ ความเข้าใจในเทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีปกปิด ที่สามารถแจ้งเตือนความเสี่ยงที่จะชนระหว่างดาวเทียมกับดาวเทียม หรือระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศล่วงหน้า เพื่อวางแผนการหลบเลี่ยงวัตถุอวกาศ (collision avoidance maneuver) ลดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของประชาชน หรือวัตถุอื่น ๆ ที่โคจรอยู่ในห้วงอวกาศ โดยจากข้อมูลแนวโน้มของอุตสาหกรรมอวกาศ ปี 2562 ของ Bank of America Merrill Lynch ระบุว่า 80 ประเทศทั่วโลก มีดาวเทียมเป็นของตัวเองโคจรอยู่บนห้วงอวกาศ นอกจากนี้ Union of Concerned Scientists ระบุว่ามีดาวเทียมที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติการในอวกาศ จำนวน 3,372 ดวง พบว่าส่วนมากเป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จำนวน 2,612 ดวง วงโคจรร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระดับปานกลาง (Medium Earth Orbit: MEO) 139 ดวง วงโคจรค้างฟ้า (Geo-Stationary Earth Orbit: GEO) 562 ดวง และวงโคจรรูปวงรี (Highly Elliptical Orbit: HEO) 59 ดวง (UCSUSA, 2564) ในขณะที่โครงการ Starlink ของ SpaceX มีแนวโน้มส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรในปีนี้อีกกว่า 12,000 ดวง (Sarun Rojanasoton, 2562) ขณะที่ประเทศไทยมีดาวเทียมที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติภารกิจประมาณ 6 ดวง ดาวเทียมปลดระวางอีก 6 ดวงที่ต้องเฝ้าระวัง และมีโครงการหรือแผนงานในอนาคตอีกกว่า 9 โปรเจคหรือมากกว่านี้ ซึ่งในกลุ่มต่าง ๆ มีความเสี่ยงจากการชนของวัตถุอวกาศ จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อหลบหลบเลี่ยงวัตถุอวกาศ

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นว่า ยิ่งมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอวกาศมากเท่าใด ยิ่งก่อให้เกิด “ภัยคุกคามความมั่นคงทางอวกาศ” มากเท่านั้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเทศไทยและนานาชาติต้องตระหนักถึงส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ตลอดจนเสถียรภาพของทุกคนบนโลก แม้ว่าอุบัติเหตุการชนกันของวัตถุอวกาศจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ยังมีโอกาสและความเสี่ยงอยู่ เมื่อเกิดขึ้นแล้วมีความเสียหายและสร้างความรุนแรงที่ไม่อาจประเมินค่าได้ทั้งในด้านเศรษฐกิจ การเมือง สังคม สิ่งแวดล้อม ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างประเทศอีกด้วย มีงานวิจัยในประเทศไทยที่พัฒนาระบบการจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) เพื่อเฝ้าระวัง ติดตามสถานการณ์ วิเคราะห์วงโคจร และลดความเสี่ยงต่อการชนจากวัตถุอวกาศดังที่กล่าวข้างต้น โดยมีวัตถุประสงค์ในเบื้องต้นเพื่อลดการนำเข้าหรือลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ลดภาระงบประมาณค่าใช้จ่าย ระบบดังกล่าวถูกใช้งานเฉพาะในองค์กรที่พัฒนา ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ในขอบเขตที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้น จึงนำมาสู่การศึกษาความเป็นไปได้ในการขยายขอบเขตการใช้งานของระบบการจัดการจราจรอวกาศดังกล่าว โดยเฉพาะการใช้งานในเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี ด้านการตลาด ของการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี และด้านการตลาดของการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ ไม่นับรวมดาวเทียม หรือวัตถุอวกาศที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงและการทหาร

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.1 การจัดการจราจรอวกาศ (space traffic management) หมายถึง รูปแบบวิธีการ กฎระเบียบ หรือข้อบังคับในการเข้าถึงห้วงอวกาศ การปฏิบัติการในห้วงอวกาศ และการนำวัตถุอวกาศกลับสู่โลกได้อย่างปลอดภัย ปราศจากการรบกวนจากวัตถุอื่น ๆ หรือคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ ในห้วงอวกาศ (ESA, 2563)

1.4.2 วัตถุอวกาศ (space objects) หมายถึง ดาวเทียม ยานอวกาศ จรวด ขยะอวกาศ (ชิ้นส่วนจรวดนำส่ง หรือดาวเทียมที่เสร็จสิ้นภารกิจแล้ว) และเศษหินในอวกาศ วัตถุอวกาศเหล่านี้มีความเร็วในการโคจรสูงถึง 10-11 กิโลเมตร/วินาที ส่งผลให้ขยะอวกาศเปรียบเสมือนกระสุนที่โคจรรอบโลกซึ่งเป็นภัยต่อนักบินอวกาศ ยานอวกาศ และดาวเทียมที่ปฏิบัติภารกิจ มีความเสี่ยงที่จะเกิดการชนกับดาวเทียมที่ปฏิบัติภารกิจทำให้เสียหายได้ หรือไม่สามารถปฏิบัติภารกิจได้ต่อไป นอกเหนือจากนี้ จะกลายเป็นขยะอวกาศที่เพิ่มขึ้นและส่งผลเป็นลูกโซ่ เหมือนการสร้างขยะอวกาศแบบทวีคูณ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “Kessler Syndrome” (Channumsin et al., 2562)

1.4.3 ดาวเทียม (satellite) หมายถึง วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นเลียนแบบดาวบริวารของดาวเคราะห์ เพื่อให้โคจรรอบโลก มีอุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอวกาศ และถ่ายทอดข้อมูลนั้นมายังโลก วัตถุลักษณะดังกล่าวที่โคจรรอบโลกใช้เป็นอุปกรณ์โทรคมนาคมด้วย เช่น ถ่ายทอดคลื่นวิทยุ และโทรทัศน์ข้ามทวีป เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558)

1.4.4 ขยะอวกาศ (space debris) หมายถึง วัตถุอวกาศที่มนุษย์เป็นผู้สร้างขึ้น รวมไปถึงเศษซากหรือส่วนประกอบที่ถูกส่งขึ้นไปอยู่ในวงโคจรของโลกและชั้นบรรยากาศที่ไม่สามารถใช้งานได้แล้ว (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, 2550)

1.5 วิธีการดำเนินการศึกษา

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 รวบรวมด้วยวิธีการเก็บข้อมูลแบบปฐมภูมิ (primary data) และข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี ด้านการตลาด ด้านการเงิน ด้านการบริหารจัดการของการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์

1.5.3 ประมวลผลข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5.4 อภิปรายผลการศึกษา

1.5.5 สรุปผลการศึกษา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี ด้านการตลาดของการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	มกราคม		กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน					พฤษภาคม				
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. วางแผนการศึกษา																				
2. ทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																				
3. ประเมินความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี																				
4. ประเมินความเป็นไปได้ด้านการตลาด																				
5. อภิปรายผลการศึกษา																				
6. สรุปผลการศึกษา																				
7. จัดทำรายงานการศึกษา																				
8. นำเสนอผลการศึกษา																				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่อง “ความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์” ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นกรอบแนวคิดและเป็นแนวทางในการศึกษา ดังนี้

1. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบอวกาศ
2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจอวกาศ
3. แนวคิดการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

2.1 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบอวกาศ

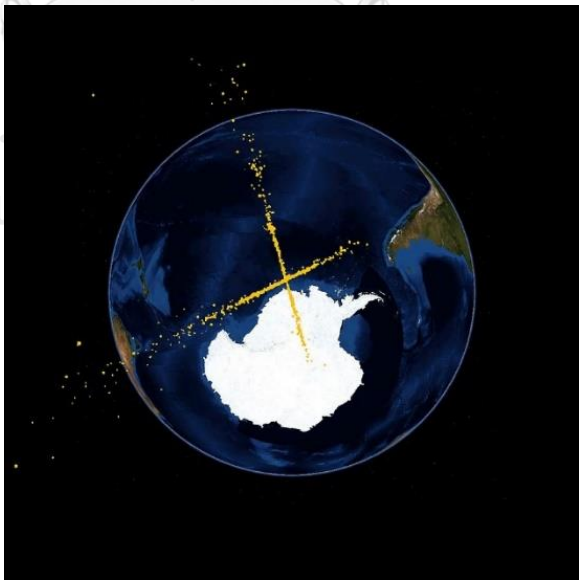
2.1.1 ปัญหาของห้วงอวกาศ

หากกล่าวถึง “ห้วงอวกาศ” สามารถแบ่งวัตถุที่โคจรอยู่ในอวกาศ จำนวน 2 ประเภท ได้แก่ วัตถุอวกาศที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อาทิ ดาวฤกษ์ (star) ดาวเคราะห์ (planets) อุกกาบาต (meteorite) หลุมดำ (black hole) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีวัตถุอวกาศที่มนุษย์สร้างขึ้นและส่งไปยังวงโคจรของโลก เพื่อการสำรวจ การปฏิบัติการ หรือช่วยเหลือสิ่งต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศและวงโคจร อาทิ สถานีอวกาศนานาชาติ (international space station) ยานสำรวจอวกาศ (space probes) กล้องโทรทรรศน์อวกาศ (space telescopes) และดาวเทียม (artificial satellites) เป็นต้น (พศพงศ์ ธรรมาภิรัชต์, 2561)

นับตั้งแต่ปี 2500 สหภาพโซเวียตได้ทำการส่งดาวเทียมดวงแรก “สปุตนิก-1” ขึ้นสู่ห้วงอวกาศ จากเหตุการณ์นี้นับว่าเป็นจุดเริ่มต้นครั้งสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศของมนุษย์ ปัจจุบันเทคโนโลยีอวกาศโดยเฉพาะดาวเทียม (man-made artificial satellite) ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้นในหลากหลายมิติ อาทิ ระบบพยากรณ์และตรวจสอบสภาพภูมิสารสนเทศ ระบบสื่อสารทางไกลระบบดาวเทียมระบุพิกัดนำร่อง และระบบความมั่นคงทางการทหาร เป็นต้น แต่เดิมขยะอวกาศ (space debris) ถูกนิยามเฉพาะว่าเป็นผลที่เกิดมาจากเศษซากของจรวดนำส่งและดาวเทียมที่หมดอายุการใช้งานเป็นหลัก จนกระทั่งในปี 2552 ดาวเทียมสื่อสารที่อยู่ระหว่างปฏิบัติภารกิจของสหรัฐอเมริกา “Iridium-33” และดาวเทียมสื่อสารหมดอายุการใช้งานของรัสเซีย “Kosmos-2251” เกิดอุบัติเหตุชนกันในชั้นอวกาศ (spacecraft collision event) จากเหตุการณ์นี้ ทำให้โครงสร้างของดาวเทียมทั้งสองนั้น

แตกกระจายเกิดเป็นกลุ่มอนุภาคของขยะอวกาศที่มีขนาดแตกต่างกัน (fragmentation debris) นับล้าน ๆ ชิ้น (~1-10 เซนติเมตร) (พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ, 2561) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

รูปที่ 2.1 เศษชิ้นส่วนของดาวเทียมทั้งสอง ในช่วงเวลา 20 นาที หลังการปะทะของซากดาวเทียม KOSMOS-2251 และดาวเทียมสื่อสาร Iridium-33
(Chanud Sithipreedanant, 2562)



รูปที่ 2.2 เศษชิ้นส่วนของดาวเทียมทั้งสอง ในช่วงเวลา 1 ชม. หลังการปะทะของซากดาวเทียม KOSMOS-2251 และดาวเทียมสื่อสาร Iridium-33
(Chanud Sithipreedanant, 2562)

จากเหตุการณ์การชนกันดังกล่าว ทำให้ปัจจุบัน “ขยะอวกาศ” ได้นิยามรวมไปถึงเศษวัสดุขนาดเล็กที่เกิดจากการชนกันอีกด้วย (พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ, 2561 อ้างถึง Johnson et al. 2551) โดยธรรมชาติแล้ว ตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของขยะอวกาศ มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ซึ่งนับเป็นปัจจัยเสี่ยงหลักที่เรียกว่า “วิกฤตการณ์ Kessler หรือ Kessler Syndrome” ต่อดาวเทียมที่จะปฏิบัติภารกิจในอนาคต (พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ, 2561 อ้างถึง Kessler et al. 2553)

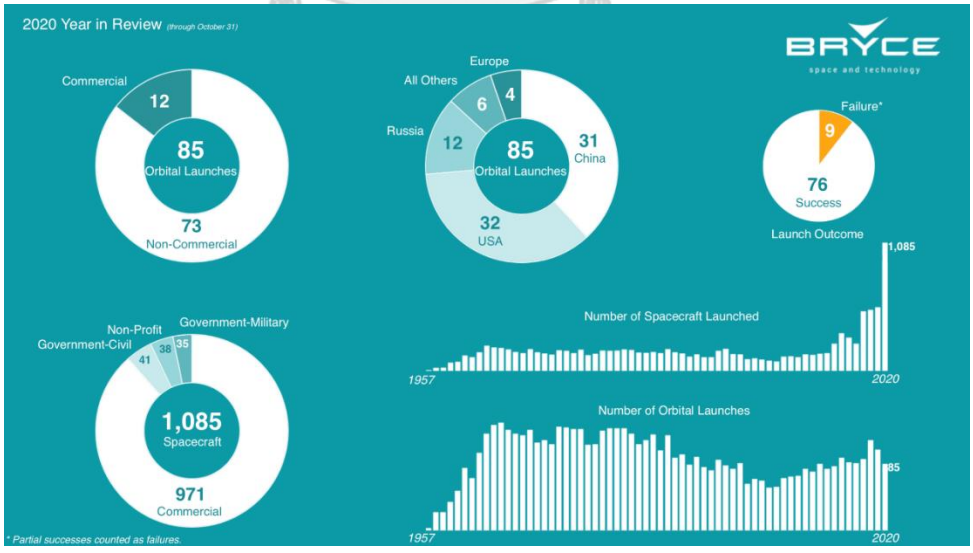
อย่างไรก็ตาม พบว่า สาเหตุที่ก่อให้เกิดขยะอวกาศจำนวนมากที่สุดมาจากอุบัติเหตุการชนกัน (collision/accidental) และยังมีสาเหตุอื่น ๆ ประกอบด้วย การทำลายทิ้ง (deliberate) ความผิดปกติของแบตเตอรี่ (battery) การผลักออกจากวงโคจรเมื่อไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้ว หรือหมดอายุการใช้งานแล้ว (propulsion) และส่วนที่ไม่ทราบสาเหตุ (unknown) (ชิดชนก วิมุกตานนท์, 2563) ทั้งนี้ องค์การอวกาศยุโรป (The European Space Agency หรือ ESA) ได้มีการคาดการณ์ว่า “จะมีการระเบิดหรืออุบัติเหตุการชนกันของขยะอวกาศ ทำให้แตกกระจายออกเป็นเสี่ยง ๆ มากกว่า 550 ครั้งในอนาคตข้างหน้า” และรายงานเพิ่มเติมว่า “มวลรวมของวัตถุอวกาศที่โคจรอยู่รอบโลก มีน้ำหนักกว่า 9,100 ตัน มีวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 เซนติเมตร กว่า 34,000 ชิ้น วัตถุขนาด 1 – 10 เซนติเมตร กว่า 900,000 ชิ้น และวัตถุขนาด 1 มิลลิเมตร – 1 เซนติเมตร กว่า 128 ล้านชิ้น” มีการเฝ้าระวังและติดตามวัตถุอวกาศที่สำคัญผ่านหน่วยงาน NASA’s Orbital Debris Program Office (ODPO) และ ESA’s Space Debris Office (SDO) อีกด้วย (ESA, 2563)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ หรือ NASA ได้มีการรวบรวมข้อมูลจำนวนจรวดและเศษชิ้นส่วนบนห้วงอวกาศ ตั้งแต่อดีตจนถึงเดือนตุลาคม ปี 2562 และพบว่า ประเทศที่สร้างจำนวนขยะอวกาศมากที่สุดในโลก ได้แก่ ประเทศรัสเซีย รองลงมา คือ สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐประชาชนจีน ฝรั่งเศส อินเดีย และญี่ปุ่น ตามลำดับ (OECD, 2563) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 จำนวนขยะอวกาศที่สร้างโดยประเทศต่าง ๆ ข้อมูล ณ เดือนมกราคม 2563
(OECD, 2563)

ในขณะที่ปี 2563 พบว่า ภาพรวมกิจกรรมอวกาศทั่วโลก ประกอบด้วย มีการปล่อยจรวดในเชิงพาณิชย์ จำนวน 12 ครั้ง และการปล่อยจรวดที่ไม่ใช่เชิงพาณิชย์ จำนวน 73 ครั้ง ทั้งนี้ สรุปผลการนำส่งจรวดขึ้นสู่วงโคจร จำนวน 85 ครั้ง ประสบความสำเร็จกว่า 76 ครั้ง และมีข้อผิดพลาดทางเทคนิค จำนวน 9 ครั้ง นอกจากนี้ ยังมีดาวเทียมถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรกว่า 1,085 ดวง ประกอบด้วย ดาวเทียมเชิงพาณิชย์กว่า 971 ดวง รองลงมา เป็นดาวเทียมของหน่วยงานภาครัฐและพลเรือน จำนวน 41 ดวง องค์กรไม่แสวงหาผลกำไร 38 ดวง และดาวเทียมทางการทหารกว่า 35 ดวงทั่วโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สรุปภาพรวมกิจกรรมอวกาศทั่วโลก ปี 2563
(BRYCE Space and Technology, 2563)

โดยสรุปแล้ว โอกาสที่ขยะอวกาศจะพุ่งเข้ามาชนกับยานอวกาศและดาวเทียมนั้น มีสูงมากในปัจจุบัน จนเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและสร้างดาวเทียมไปจนถึงยานอวกาศ แต่การที่ดาวเทียมกับดาวเทียมจะชนกันเองนั้นเป็นเรื่องที่เหนือความคาดหมายและเกิดขึ้นได้น้อย เป็นเพราะดาวเทียมนั้นมีขนาดใหญ่พอที่จะทำการตรวจจับได้จากพื้นโลก แม้จะปลดระวางหรือหยุดทำงานไปแล้ว รวมถึงมีเส้นทางการโคจรที่สามารถคาดเดาได้ ทำให้เหตุผลจริง ๆ ที่ก่อให้เกิดการชนกันนั้น คือ การขาดการเตือนล่วงหน้าและข้อมูลตำแหน่งที่แม่นยำของดาวเทียมทั้งสอง (ณัฐนนท์ ดวงสูงเนิน, 2564)

2.1.2 ส่วนประกอบของอวกาศ

หากกล่าวถึง “พื้นที่อวกาศ” มิได้มีการกำหนดระดับความสูงที่ชัดเจนว่าเหนือพื้นผิวของโลกไปเป็นระยะทางเท่าไร อย่างไรก็ตาม เส้น Kármán line เป็นเส้นสมมติที่มีความสูงระดับ 100 กิโลเมตร หรือประมาณ 62 ไมล์ เหนือระดับน้ำทะเลถูกนำมาใช้เป็นจุดเริ่มต้นของพื้นที่อวกาศ และในทางปฏิบัติก็ได้มีการจัดเก็บรักษาข้อมูลการบินภายในเส้นดังกล่าว และเมื่อพ้นเส้นดังกล่าวไปแล้วบรรยากาศของโลกจะเบาบางลงกับทั้งเส้น Kármán line ซึ่งเป็นเส้นสมมติที่เข้าใจตรงกันในระหว่างคนทำงานโดยปริยายว่าเป็นเส้นแบ่งระหว่างอวกาศกับชั้นบรรยากาศของโลก และถือว่าเป็นเขตแดนสิ้นสุดของอำนาจอธิปไตยของรัฐในทางอากาศ ดังนั้น “พื้นที่อวกาศ” จึงเป็นพื้นที่ที่ไม่อยู่ภายใต้ความเป็นเจ้าของของประเทศหนึ่งประเทศใด โดยทุกประเทศสามารถเข้าถึงเพื่อใช้ประโยชน์อย่างสันติได้ และในการใช้ประโยชน์ร่วมกันอย่างสันติ (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การสำรวจพื้นที่อวกาศเป็นสิ่งท้าทายสำหรับความรู้ในทางวิทยาศาสตร์ของมนุษยชาติเสมอประหนึ่งกับการค้นพบโลกใหม่ที่ยังไม่รู้จัก เนื่องจาก “พื้นที่อวกาศ” มีสภาพแวดล้อมที่เป็นสุญญากาศ ไม่มีแรงโน้มถ่วง มนุษย์เข้าถึงวงโคจรของโลกที่อยู่ในพื้นที่อวกาศและกลับมายังโลกได้สำเร็จครั้งแรกใน ปี 2504 โดยนาวาอากาศเอก ยูรี กาการิน (Yuri Alekseyevich Gagarin) นักบินอวกาศชาวโซเวียต ซึ่งเดินทางด้วยยานอวกาศวอสตอค 3 เคเอ-3 (the Vostok 3KA-3) ซึ่งถือเป็นยานอวกาศ Vostok รุ่นที่ 19 และไม่นานต่อมามนุษย์ก็ได้สำรวจดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ที่อยู่ในระบบสุริยะจักรวาลเดียวกันกับโลกด้วยการส่งยานอวกาศไร้คนขับ (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563)

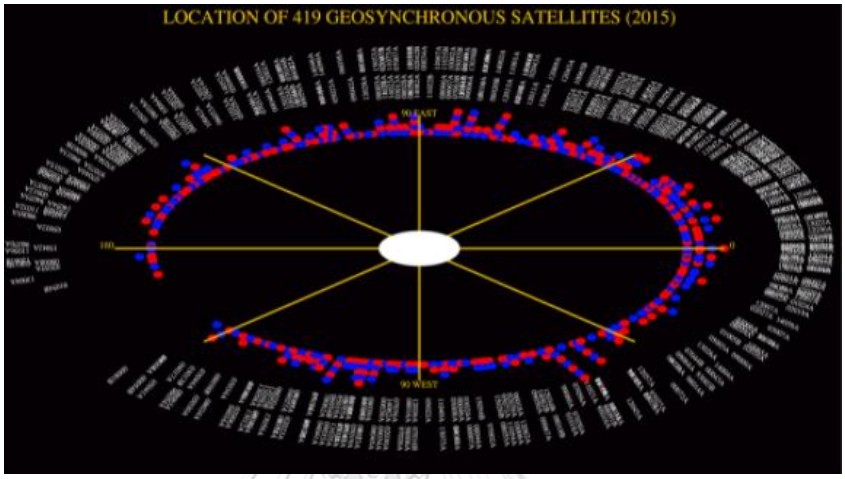
ในพื้นที่อวกาศจึงเป็นพื้นที่ที่ไม่อยู่ภายใต้ความเป็นเจ้าของของประเทศหนึ่งประเทศใด โดยทุกประเทศสามารถเข้าถึงเพื่อใช้ประโยชน์อย่างสันติได้ และในการใช้ประโยชน์ร่วมกันอย่างสันติทางสหประชาชาติก็ได้จัดทำกฎหมายระหว่างประเทศขึ้นมาชุดหนึ่งจำนวน 5 ฉบับเพื่อการใช้ประโยชน์ร่วมกันของทุกประเทศ (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563) กล่าวคือ

1. The 1967 Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies หรือ the “Outer Space Treaty” (สนธิสัญญาว่าด้วยหลักเกณฑ์การดำเนินกิจกรรมของรัฐในการสำรวจและการใช้ประโยชน์จากอวกาศตอนนอก รวมทั้งดวงจันทร์และเทหวัตถุในท้องฟ้าอื่น ๆ)
2. The 1968 Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts, and the Return of Objects Launched into Outer Space หรือ Rescue Agreement (ข้อตกลงว่าด้วยการช่วยเหลือนักบินอวกาศ การส่งกลับนักบินอวกาศและวัตถุที่ถูกปล่อยสู่อวกาศตอนนอก ค.ศ. 1968 หรือ ปี 2511)
3. The Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects5 หรือ The Space Liability Convention หรือ Liability Convention (อนุสัญญาความรับผิดระหว่างประเทศต่อความเสียหายเนื่องจากวัตถุอวกาศ ค.ศ. 1972 หรือ ปี 2515)
4. The Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space (อนุสัญญาการจดทะเบียนวัตถุที่ถูกปล่อยสู่อวกาศ)
5. Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies (ข้อตกลงควบคุมกิจกรรมของรัฐบนดวงจันทร์และเทหวัตถุในท้องฟ้าอื่นๆ)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าอวกาศจะเป็นพื้นที่ของมวลมนุษยชาติ แต่สหประชาชาติจำเป็นต้องมีการจัดระเบียบกำกับดูแลกิจการอวกาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดส่งวัตถุหรือดาวเทียมขึ้นสู่ห้วงอวกาศ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ 1. ความเสียหายจากวัตถุอวกาศ (physical damage) ที่อาจเกิดจากการชนกันเองหรือตกลงมาสู่พื้นดินของวัตถุอวกาศ 2. การรบกวนจากคลื่นความถี่ (spectrum interference) ที่อาจเกิดจากคลื่นความถี่ที่ใช้ในวัตถุอากาศและ/หรือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคพื้นดินรบกวนกัน จึงต้องมีการกำกับดูแลคลื่นความถี่และสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดโดยเฉพาะวงโคจรดาวเทียมประจำที่ที่ดาวเทียมต้องอยู่สูงคงที่จากพื้นโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตร ซึ่งปัจจุบันมีดาวเทียมอยู่ในวงโคจร (slot) จำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ธนพันธุ์ หร่ายเจริญ, 2562)



รูปที่ 2.5 การระบุตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า
(M. H. Denton, 2559)

“ดาวเทียม” หรือดาวที่มนุษย์ทำเสมือนจริง ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อลอกเลียนแบบดวงดาวจริงบนท้องฟ้าที่ธรรมชาติสร้างสรรค์ มีหลักการในเคลื่อนที่รอบโลก คือ การส่งวัตถุหรือดาวเทียมนั้นด้วยความเร็วที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดแรงที่ส่งให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่หนีจุดศูนย์กลางของโลกเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลกพอดี ดังนั้น ในการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรได้ต้องทราบขนาดมวลของดาวเทียม ความสูง ระยะห่างจากโลก และความเร็วที่ต้องโคจรรอบโลก เพื่อที่จะได้คำนวณความเร่งที่ใช้ในการส่งดาวเทียมให้ถูกต้อง ดาวเทียมจึงจะสามารถโคจรรอบโลกได้เช่นเดียวกับที่ดวงจันทร์โคจรรอบโลก (ธนพันธุ์ หร่ายเจริญ, 2562) โดยดาวเทียมจะมีส่วนประกอบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ประกอบด้วย 5 ระบบ ดังนี้

1. ระบบนำร่อง เป็นระบบคอมพิวเตอร์และไจโรสโคป มีหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของดาวเทียมโดยการเปรียบเทียบกับตำแหน่งของดาวฤกษ์ สัญญาณวิทยุจากสถานีบนโลกหรือสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

2. ระบบควบคุมและสื่อสาร ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ที่เก็บรวมรวมข้อมูลและประมวลผลคำสั่งต่าง ๆ ที่ได้รับจากส่วนควบคุมบนโลก โดยมีอุปกรณ์วิทยุและเสาอากาศ เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล
3. ระบบเซ็นเซอร์และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อื่น ๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของภารกิจ เช่น ดาวเทียมสำรวจโลกจะติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับช่วงคลื่นต่าง ๆ ดาวเทียมปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จะติดตั้งห้องทดลอง ดาวเทียมทำแผนที่จะติดตั้งเรดาร์และกล้องถ่ายภาพ ข้อมูลที่ได้จากระบบนี้จะถูกส่งกลับสู่โลกโดยใช้เสาอากาศส่งคลื่นวิทยุ
4. ระบบพลังงาน ทำหน้าที่ผลิตพลังงานและกักเก็บไว้เพื่อแจกจ่ายไปยังระบบไฟฟ้าของดาวเทียม โดยมีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (solar cells) ไว้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าแต่ดาวเทียมขนาดใหญ่อาจมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์
5. ระบบเครื่องยนต์ ดาวเทียมขนาดใหญ่ที่มีอายุใช้งานยาวจะมีเครื่องยนต์ซึ่งทำงานคล้ายกับเครื่องอัดอากาศและปล่อยออกทางปลายท่อ มีหน้าที่สร้างแรงขับดันเพื่อรักษาระดับความสูงของวงโคจร เนื่องจากที่ระดับวงโคจรในอวกาศยังคงมีโมเลกุลอยู่อย่างเบาบาง แต่ดาวเทียมโคจรด้วยความเร็วสูง โมเลกุลอากาศสามารถสร้างแรงเสียดทานให้ดาวเทียมเคลื่อนที่ช้าลงและเคลื่อนที่ต่ำลง หากไม่รักษาระยะสูงไว้ ในที่สุดดาวเทียมก็จะตกลงสู่พื้นโลก (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์)

สำหรับ “การนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศ” มีหลักการที่ดาวเทียมโคจรรอบโลกได้มาจากการกระทำของแรง 2 แรงที่สมดุลกันพอดี ในขณะที่ดาวเทียมเคลื่อนที่เป็นทางโค้ง จะมีแรงสู่ศูนย์กลาง (centripetal force) และแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงสู่ศูนย์กลาง เป็นแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างโลกกับดาวเทียมตามกฎแห่งแรงโน้มถ่วงของนิวตันที่กล่าวไว้ว่า “แรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่มีมวลสาร 2 ชิ้นจะแปรผกผันโดยตรงกับผลคูณของมวลทั้งสองและแปรผกผันกลับกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง” ในขณะที่แรงหนีศูนย์กลาง เกิดจากวัตถุเคลื่อนที่เป็นทางโค้งหรือเป็นวงกลม ถ้าหากดาวเทียมโคจรอยู่ห่างจากโลกมาก ๆ ความเร็วของดาวเทียมก็จะลดลงด้วย ความเร็วที่ต้องการเพื่อให้ดาวเทียมขึ้นไปโคจรตามระยะห่างที่ต้องการนั้น เรียกว่า “ความเร็วตามวงทางโคจร” (orbital velocity) (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์) และดาวเทียมจะต้องเผชิญกับแรง

ทางกล (mechanical load) อย่างมหาศาลนับตั้งแต่ที่จรวดลำเลียง (launch vehicle) จุดระเบิดเชื้อเพลิงทะยานขึ้นสู่ท้องฟ้าจนกระทั่งการแยกตัวของดาวเทียมออกจากจรวดขนส่ง ตัวจรวดจะต้องเผชิญทั้งแรงลมปะทะ แรงสั่นสะเทือนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์จรวด แรงเค้นจากความเร่ง หรือแม้แต่แรงระเบิดจากการแยกตัวของท่อนจรวดเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ไปจนหมดแล้ว ซึ่งแรงทั้งหมดนี้จะถูกส่งผ่านไปยังดาวเทียมที่ติดตั้งอยู่ภายในส่วนหัวจรวด (payload fairing) ซึ่งสามารถจำแนกแรงออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แรงกระทำแบบคงที่ (quasi-static load) เช่น แรงโน้มถ่วง (gravitational force) อันเนื่องมาจากอัตราเร่งของจรวดที่อาจสูงได้ถึง 4-5 เท่าของความเร่งโน้มถ่วง (gravitational acceleration) แรงกระทำแบบแปรผัน (dynamic load) เช่น แรงสั่นสะเทือนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์จรวด และแรงลมปะทะตัวจรวดขณะเคลื่อนผ่านชั้นบรรยากาศ และแรงกระทำแบบเฉียบพลัน (shock load) เช่น การจุดระเบิดสลักยึดท่อนจรวดในระหว่างการแยกตัว (stage separation) เป็นต้น (ปณชัย สันทนานุการ, 2563)

“กิจการอวกาศยุคใหม่ (New Space)” ในอดีตที่ผ่านมากิจการอวกาศเป็นการถูกผูกขาดไว้สำหรับภาครัฐและความมั่นคงเท่านั้น โดยเฉพาะเมื่อพูดถึงการพัฒนาด้านอวกาศในสหรัฐอเมริกา หน่วยงานที่ชื่อ National Aeronautics and Space Administration หรือ NASA จะถูกนึกถึงเป็นอันดับแรก แต่ในปี 2553 ประธานาธิบดีโอบามาได้ประกาศ “นโยบายอวกาศแห่งชาติที่เปลี่ยนเป้าหมายจากเดิมคือการส่งมนุษย์ไปที่ดวงจันทร์และกลับมายังโลกได้ ไปยังเป้าหมายใหม่คือดาวอังคาร” แต่ก็เปิดโอกาสว่าเป้าหมายนี้ทาง NASA เองก็ไม่สามารถทำได้โดยการตั้งงบประมาณโดยลำพัง จึงเป็นที่มาของการเปิดโอกาสในการสร้างกิจการอวกาศเชิงพาณิชย์ (commercial space) ทำให้เจ้าของธุรกิจที่ประสบความสำเร็จด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ให้ความสนใจ เช่น

1. บริษัท Virgin โดย Richard Branson ได้มีการลงทุนตั้งบริษัท Virgin Garlactic เพื่อสร้างยานอวกาศเพื่อสร้างการเดินทางไปกลับระหว่างอวกาศกับโลก
2. บริษัท Oneweb ที่ได้เงินทุนจำนวนหนึ่งพันล้านเหรียญจากกลุ่มทุน Softbank แห่งญี่ปุ่น เพื่อสร้างดาวเทียมนับพันดวงเพื่อให้บริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง
3. บริษัท Tesla โดย Elon Musk ได้สร้างบริษัท SpaceX ขึ้นมาเพื่อดำเนินการกิจการอวกาศ

4. บริษัท Amazon โดย Jeff Brazo ลงทุนในโครงการ Kuiper ที่จะสร้างดาวเทียมมากกว่าสามพันดวงเพื่อให้บริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง เป็นต้น (น้ำฝน บำรุงศิลป์, 2563)

ในกิจการอวกาศยุคใหม่มีธุรกิจต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย เช่น Human Spacecraft, Space Mining, Space Tourism, และ Satellite ที่ไม่ได้มีแต่เพียงดาวเทียมสื่อสารเท่านั้น (น้ำฝน บำรุงศิลป์, 2563) หนึ่งในแนวโน้มของกิจการอวกาศยุคใหม่ คือ “ธุรกิจการนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศ” ด้วยการแข่งขันด้านอวกาศยุคใหม่ทำให้บริษัทเอกชนหลายบริษัททั่วโลกพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศของตัวเองและเมื่ออยู่ในรูปแบบของบริษัทเอกชนมักจะสามารถขับเคลื่อนการพัฒนาได้รวดเร็ว ตัวอย่างบริษัทเอกชนด้านอวกาศ เช่น

1. บริษัท SpaceX ประเทศสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งโดยอีลอน มัสก์ เมื่อปี 2545 ทำธุรกิจด้านขนส่งอวกาศ ปัจจุบันให้บริการขนส่งดาวเทียมที่ใช้ต้นทุนการขนส่งต่ำมากที่สุดในโลก บริษัทมีเทคโนโลยีจรวดที่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ เช่น Falcon 9, Falcon Heavy และกำลังพัฒนาจรวดทรงพลังมากที่สุดในโลก BFR ปัจจุบันบริษัท SpaceX ถือว่ามีเทคโนโลยีจรวดที่ทันสมัยมากที่สุด (Peerapat Chuejeen, 2561) สำหรับอัตราค่าบริการบริษัท SpaceX คิดค่าบริการส่งดาวเทียมสู่วงโคจรต่ำ ในราคา 1 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อดวง (ประมาณ 29.9 ล้านบาท) สำหรับดาวเทียมขนาดเล็กที่มีน้ำหนักไม่เกิน 199 กิโลกรัม และคิดเพิ่มกิโลกรัมละ 5,000 ดอลลาร์สหรัฐฯ (149,000 บาท) โดยมีการปล่อยจรวดขนส่งทุก ๆ 4 เดือนหรือบ่อยกว่านั้น สำหรับในปี 2564 ภารกิจ "ทรานสปอร์เตอร์-1" (Transporter-1) สามารถบรรทุกดาวเทียมขนาดเล็ก 143 ดวงสู่วงโคจรระดับต่ำ โดยเป็นการสร้างสถิติโลก “ขนส่งดาวเทียมจำนวนมากที่สุดต่อเที่ยว” ในจำนวนนี้เป็นของลูกค้าที่เป็นทั้งบริษัทเอกชนและรัฐบาล จำนวน 133 ดวง และดาวเทียมของ SpaceX จำนวน 10 ดวงที่จะไปเชื่อมต่อกับโครงข่ายดาวเทียมสื่อสาร “Starlink” (ไทยรัฐออนไลน์, 2564)
2. บริษัท BLUE ORIGIN ประเทศสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งโดยเจฟฟ์ เบซอส มหาเศรษฐีเจ้าของ Amazon.com บริษัททำธุรกิจด้านการขนส่งอวกาศและการท่องเที่ยวอวกาศ ปัจจุบันกำลังพัฒนาจรวด 2 รุ่น ได้แก่ จรวดขนาดเล็ก New Shepard ซึ่งจรวดรุ่นนี้ถูกออกให้ขนส่งนักท่องเที่ยวขึ้นสู่อวกาศ และจรวดขนาดใหญ่ New Glenn สามารถขนส่งดาวเทียมหรือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยานอวกาศขึ้นสู่วงโคจรของโลก เป็นต้น (Peerapat Chuejeen, 2561) อย่างไรก็ตาม บริษัทเอกชนก็ยังต้องการแรงสนับสนุนจากรัฐบาลในแต่ละประเทศ

ในการนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศจะต้องมี “การอนุญาตให้ใช้สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมโดยระบบการอนุญาตของประเทศไทย” สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ออกประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม พ.ศ.2563 สอดคล้องกับข้อบังคับวิทยุของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ประเทศชาติและประชาชนตามแผนการบริหารสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม ได้นิยามถึงสิทธิการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมเป็น 2 ประเภท ได้แก่

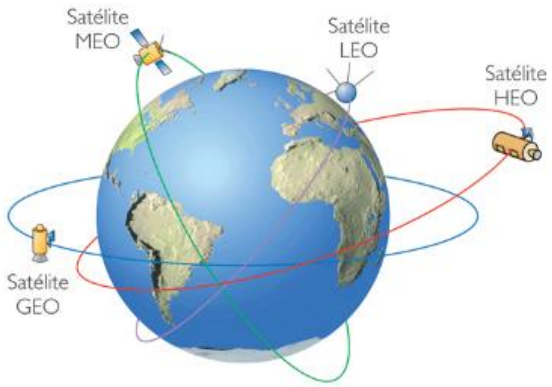
1. สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมขั้นต้น หมายความว่า สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมที่เกิดขึ้นเมื่อประเทศไทยได้แจ้งขอใช้ข่ายงานดาวเทียมต่อสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) และอยู่ในขั้นตอนการจัดพิมพ์ข้อมูลล่วงหน้าหรือขั้นตอนการประสานงานคลื่นความถี่ แต่ยังไม่ได้รับการแจ้งจดทะเบียน และบันทึกไว้ในทะเบียนความถี่หลักระหว่าง ITU
2. สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมขั้นสมบูรณ์ หมายความว่า สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมที่ประเทศไทยได้รับเมื่อข่ายงานดาวเทียมได้รับการแจ้งจดทะเบียนและบันทึกไว้ในทะเบียนความถี่หลักระหว่างประเทศแห่ง ITU (กรุงเทพธุรกิจ, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับผู้ที่ประสงค์จะใช้ “สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมเพื่อใช้ในการให้บริการเชิงพาณิชย์” จะต้องได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมขั้นสมบูรณ์และใบอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคมแบบที่สาม ตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบกิจการโทรคมนาคมด้วย โดยผู้ขอรับอนุญาตเพื่อใช้ในการให้บริการเชิงพาณิชย์จะต้องมีคุณสมบัติ (กรุงเทพธุรกิจ, 2564) ดังนี้ เป็นบริษัทจำกัดหรือบริษัทมหาชนจำกัดที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมายไทย มีสถานประกอบการในประเทศไทย ต้องมิใช่เป็นคนต่างด้าวตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบธุรกิจของคนต่างด้าว โดยมีอัตราค่าธรรมเนียมการอนุญาตให้ใช้สิทธิ 2 ล้านบาทต่อหนึ่งสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม (กรุงเทพธุรกิจ, 2564)

สำหรับการอนุญาตให้ใช้ “สิทธิการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมตามแผนและสิทธิการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมสำหรับข่ายงานดาวเทียมที่มีอยู่เดิมที่ไม่มีการใช้งานตามสัญญา” จะต้องดำเนินกิจการดาวเทียมสื่อสารภายในประเทศ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ กสทช. จะประกาศกำหนดต่อไป โดยผู้ขอรับอนุญาตเพื่อใช้ในภารกิจของหน่วยงานหรือเพื่อใช้งานเฉพาะกิจ ไม่ใช้เพื่อการให้บริการเชิงพาณิชย์ ต้องมีคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนี้ เป็นส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ เป็นนิติบุคคลที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมายไทย และต้องมิใช่เป็นคนต่างด้าวตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบธุรกิจของคนต่างด้าว (ได้รับการยกเว้นค่าธรรมเนียมการอนุญาตให้ใช้สิทธิ) ทั้งนี้ ระยะเวลาการอนุญาตให้ใช้สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมจะแบ่งตามประเภทสิทธิที่ได้รับอนุญาต กล่าวคือ สิทธิขั้นสมบูรณ์จะมีระยะเวลาการอนุญาต 15 ปี นับแต่วันที่ได้รับสิทธิ และสำหรับสิทธิขั้นต้นจะมีระยะเวลาการอนุญาตนับแต่วันที่ได้รับสิทธิไปจนถึงวันที่จะได้รับสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมขั้นสมบูรณ์ (กรุงเทพธุรกิจ, 2564)

“วงโคจรดาวเทียม” จะมีคุณสมบัติในการใช้งานดาวเทียมที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าเป็นไปเพื่อวัตถุประสงค์ใด อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย อาทิ ความพร้อมในการใช้งานของวงโคจรดาวเทียม ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศ มุมองศาของจานรับสัญญาณดาวเทียมจากสถานีภาคพื้นดิน ค่าใช้จ่ายในการจัดส่งดาวเทียม และอายุในการใช้งานของดาวเทียม เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้น นำมาซึ่งการเลือกวงโคจรที่มีความเหมาะสมในการใช้งาน และคุณสมบัติของดาวเทียมในแต่ละวงโคจรก็แตกต่างกันตามไปด้วย ซึ่งวงโคจรดาวเทียมแต่ละประเภทมีรายละเอียดในแต่ละวงโคจร (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงโคจรประเภทต่าง ๆ
(ธนพันธุ์ หร่ายเจริญ, 2562)

วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรในระยะต่ำ ซึ่งอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 200-1,200 กิโลเมตรเท่านั้น แต่เนื่องด้วยวงโคจรอยู่ใกล้พื้นผิวโลกมาก การใช้งานจึงเหมาะสมกับการถ่ายภาพที่มีรายละเอียดสูง และมักใช้ในการติดตามผลอย่างใกล้ชิด เช่น พื้นที่ความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้ เป็นต้น แต่ข้อเสียของดาวเทียมประเภทนี้มักจะไม่อาจครอบคลุมพื้นที่ได้นาน เนื่องจาก ดาวเทียมต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก ดังนั้น หากต้องการใช้งานดาวเทียมที่มีวงโคจรระดับนี้และให้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด จึงต้องใช้ดาวเทียมจำนวนมากเพื่อให้ครอบคลุมการให้บริการทั่วโลกได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้อายุการใช้งานของดาวเทียมในวงโคจรนี้สั้นมาก และมักมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในการสร้างการปรับสัญญาณและการใช้งาน ดังนั้น ดาวเทียมวงโคจรต่ำ จึงนิยมใช้วงโคจรขั้วโลก (polar orbit) หรือใกล้ขั้วโลก (near polar orbit) เป็นหลัก (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563)

วงโคจรรระดับปานกลาง (Medium Earth Orbit: MEO) เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรในระยะปานกลาง กล่าวคืออยู่ที่ระยะความสูงตั้งแต่ 1,200 กิโลเมตร จนถึง 35,790 กิโลเมตร จากพื้นโลก แต่หากต้องการสัญญาณให้ครอบคลุมทั้งโลกจะต้องใช้ดาวเทียมหลายดวง (ประมาณ 10 ถึง 15 ดวง) เพื่อทำงานร่วมกันเป็นเครือข่าย และมีทิศทางของวงโคจรรอบโลกทำมุมเฉียงหลาย ๆ ทิศทางโดยปกติแล้วอายุการใช้งานดาวเทียมในวงโคจรระยะปานกลางจะมีอายุการใช้งานสั้นกว่าดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรประจำที่ GEO และต้องการเสาอากาศสถานีภาคพื้นดินที่มีราคาแพงและซับซ้อนมากขึ้นสำหรับการติดตามดาวเทียม ซึ่งโดยส่วนใหญ่ของดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรนี้จะถูกนำมาใช้งานทางการติดตามยานพาหนะในเทคโนโลยี GPS โดยจะส่งสัญญาณวิทยุออกมาพร้อม ๆ กัน ให้เครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลกเปรียบเทียบสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง เพื่อคำนวณหาตำแหน่งพิกัดที่ตั้งของเครื่องรับ (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563)

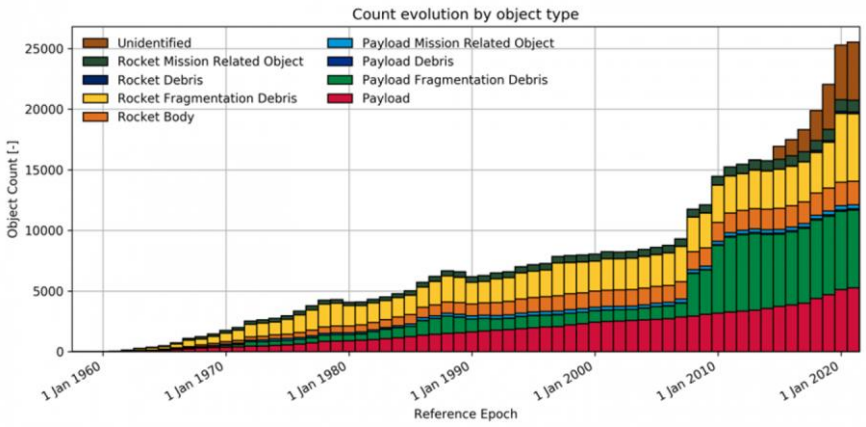
วงโคจรประจำที่ (Geo-Stationary Earth Orbit: GEO) เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรอยู่ในระนาบของเส้นศูนย์สูตรของโลก (equatorial orbit) ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตร ซึ่งดาวเทียมที่โคจรในวงโคจรนี้จะหมุนรอบโลกด้วยระยะเวลาเท่ากับโลกหมุนรอบตัวเอง (รอบละ 23 ชั่วโมง และ 56 นาที) ซึ่งเรียกว่า Geosynchronous จึงทำให้ดูเหมือนลอยนิ่งอยู่เหนือพื้นผิวโลกตำแหน่งเดิมอยู่ตลอดเวลา ซึ่งหากดูจากโลกจะเหมือนกับไม่มีการเคลื่อนไหวจึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “ดาวเทียมค้างฟ้า” อีกทั้ง ยังใช้ดาวเทียมเพียงไม่กี่ดวงเท่านั้นก็

สามารถให้บริการได้ความครอบคลุมทั่วโลกซึ่งส่วนใหญ่ของดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรนี้จะถูกนำมาใช้งานทางด้านอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียมสื่อสาร (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563)

วงโคจรระยะสูง (High Earth Orbit: HEO) วงโคจรรูปวงรีมาก (Highly Elliptical Orbit หรือ HEO) หรือเรียกอีกอย่างว่า วงโคจรรูปวงรีซึ่งดาวเทียมที่มีเส้นการเดินทางตามวงโคจรนี้ จะมีจุดใกล้โลกที่สุด (perigee) สูงจากพื้นโลกน้อยกว่า 3,000 กิโลเมตร และมีจุดไกลโลกที่สุด (apogee) สูงจากพื้นโลกมากกว่า 30,000 กิโลเมตร. ซึ่งดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรนี้ในปัจจุบัน ได้แก่ ดาวเทียมสื่อสารของรัสเซีย ชื่อ Molniya เป็นต้น วงโคจรรูปวงรีเป็นวงโคจรดาวเทียมที่มีความเร็วในวงโคจรไม่คงที่ กล่าวคือ เมื่ออยู่ใกล้โลกดาวเทียมจะเคลื่อนที่ใกล้โลกมากและเคลื่อนที่ช้าลงเมื่อออกห่างจากโลก ซึ่งลักษณะเฉพาะของวงโคจรดาวเทียมนี้ ถูกออกแบบสำหรับดาวเทียมที่ปฏิบัติภารกิจเฉพาะ เช่น การปฏิบัติงานทางด้านวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันวงโคจรรูปวงรีมากนี้ ไม่ได้รับความนิยมในการใช้งานการเลือกใช้ประเภทวงโคจรว่าจะเป็นวงโคจรประเภท GEO วงโคจรประเภท MEO หรือวงโคจรประเภท LEO หรือวงโคจรประเภท HEO นั้น ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการใช้งานดาวเทียม (ภูมินทร์ บุตรอินทร์, 2563)

ทั้งนี้ จากการรวบรวมประเภทของวัตถุอวกาศที่พบจากอดีตถึงปัจจุบัน ของ ESA จะเห็นได้ชัดว่า ในปี 2563 วัตถุอวกาศประเภทไม่สามารถระบุได้ (unidentified) มีจำนวนมากที่สุดในห้วงอวกาศ รองลงมาเป็น วัตถุอวกาศประเภทจรวดนำส่ง (rocket mission related object) (Paweł Bernat, 2563) ดังแสดงในรูปที่ 2.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.7 จำนวนวัตถุอวกาศประเภทต่าง ๆ ที่พบจากอดีตถึงปัจจุบัน
(Paweł Bernat, 2563)

นอกจากนั้น ยังระบุว่าที่ความสูงจากพื้นโลกในระยะ 2,000 กิโลเมตร ตรวจพบว่ามีอัตราส่วนของจำนวนขยะอวกาศที่มากกว่าเศษหินอยู่จำนวนมาก โดยส่วนใหญ่จะเป็นฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จรวด (solid rocket motors) ซึ่งลักษณะของเศษซากอวกาศเหล่านี้ จะมีรูปร่างคล้าย ๆ กับเกล็ดสี รวมไปถึงเศษน้ำแข็งที่มาจากสารหล่อเย็นของดาวเทียมซึ่งใช้แหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น (Paweł Bernat, 2563)

มีการคาดการณ์ว่า ในปัจจุบันมีขยะอวกาศขนาดเล็ก ซึ่งไม่สามารถตรวจจับได้จำนวนมากกว่า 100,000,000,000 ชิ้น ล่องลอยอยู่ในวงโคจรรอบโลก และมีขยะอวกาศที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 เซนติเมตร ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยกล้องโทรทรรศน์บนพื้นโลก ประมาณ 47,000 ชิ้น วัตถุเหล่านี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า 20,000 กิโลเมตร/ชั่วโมง เมื่อปะทะกับสิ่งใดก็จะก่อให้เกิดพลังงานมหาศาล ยกตัวอย่าง ขยะอวกาศขนาด 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 7.5 กิโลเมตรต่อวินาที จะก่อให้เกิดพลังงานเทียบเท่ารถบัสขนาด 16 ตัน เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 216 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังนั้น เมื่อมันปะทะเข้ากับดาวเทียม หรือสถานีอวกาศ ก็จะเกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวง (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์) อย่างไรก็ตาม มีรายงานความเสียหายจากอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมและขยะอวกาศในวงโคจรต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายงานความเสียหายจากอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมและขยะอวกาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

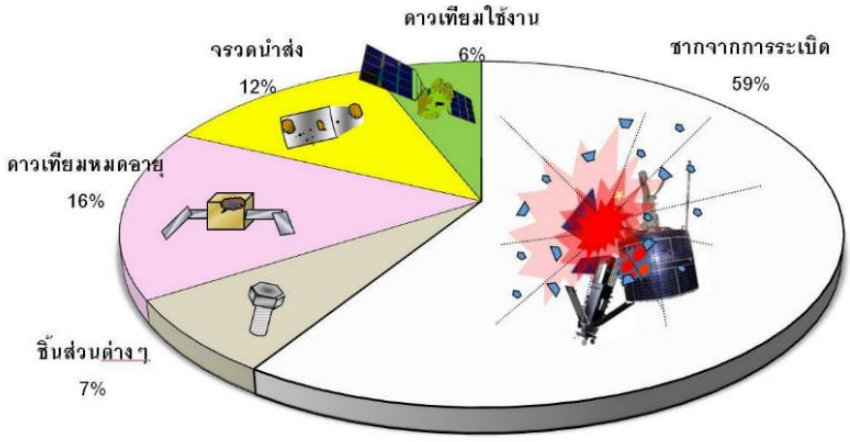
Satellite/event	Country of operator	Altitude	Anomaly date	Details
SUNSAT	South Africa	400-838 km	19/01/2001	Irreversible multi-point physical failure
JASON-1	United States / France	1 336 km	03/2002	Impulse of 0.365mm/s from GPS residuals; hit left solar array from behind; lost 10% of array struck; orbit change of 30cm
Cosmos 539	Russia	1 340-1 380 km	21/04/2002	Decrease in period of 1 sec. with a 20cm x 50cm object created
JASON-1	United States/France	1 336 km	09/2005	Impulse of 0.182mm/s from GPS residuals; orbit change of 10cm
EOS-Terra	United States	705 km	13/10/2009	One battery cell in hexbay unit and heater failed simultaneously with attitude disturbance; 3mm impactor suggested
Aura	United States	685 km	12/03/2010	Panel #11 lost 50% of power and had 875 asec angular disturbance
Pegaso	Ecuador	650-654 km	22/05/2013	Close pass to rocket body but no hit
Iridium-47	United States	785-795 km	07/06/2014	Ten high velocity (80m/s) debris produced hinting at impact
Iridum-91	United States	785-795 km	30/11/2014	Four low velocity debris produced hinting on-board anomalous event
WorldView-2	United States	770 km	19/07/2016	Nine pieces detected, but WorldView says satellite is still working
Sentinel-1A	Europe	693 km	23/08/2016	6–8 pieces produced (6 catalogued) and visual verification of solar array damage; impactor of 1 cm and 0.2 gr at 11 km/s

(OECD, 2563)

2.1.3 ผลกระทบจากการชนกันระหว่างดาวเทียมและขยะอวกาศ

ในปัจจุบัน มีการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรในห้วงอวกาศมากกว่า 5,000 ดวง โดยที่ดาวเทียมส่วนใหญ่มีอายุใช้งานไม่เกิน 15 ปี อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน พบว่ามีแนวโน้มของดาวเทียมสื่อสารเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะกลุ่มดาวเทียมขนาดเล็ก ถูกส่งขึ้นไปมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นดาวเทียมเหล่านี้ เป็นดาวเทียมในกลุ่มวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ต้องใช้ความเร็วในการโคจรสูงมาก เพื่อจะเอาชนะแรงโน้มถ่วงโลก ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มขึ้น

จากการรวบรวมข้อมูลของ ดร.Shinichi Nakamura พบว่าในวงโคจรรอบโลกมีดาวเทียมที่อยู่ระหว่างปฏิบัติการได้อยู่เพียงร้อยละ 6 ของจำนวนวัตถุในอวกาศทั้งหมด นอกนั้นส่วนมากเป็นเศษซากขยะอวกาศ ประกอบด้วย ดาวเทียมที่ปลดประจำการหรือหมดอายุแล้ว ร้อยละ 16 ท่อนจรวดนำส่ง ร้อยละ 12 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ร้อยละ 7 และเศษซากดาวเทียม ซึ่งเกิดจากการระเบิดหรือชนกันเอง ร้อยละ 59 ซึ่งถือว่าดาวเทียมที่อยู่ระหว่างปฏิบัติการ มีความเสี่ยงต่อภัยคุกคามและอันตรายจากการชนของวัตถุอวกาศอื่น ๆ ในห้วงอวกาศอย่างมาก (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์) ดังแสดงในรูปที่ 2.8

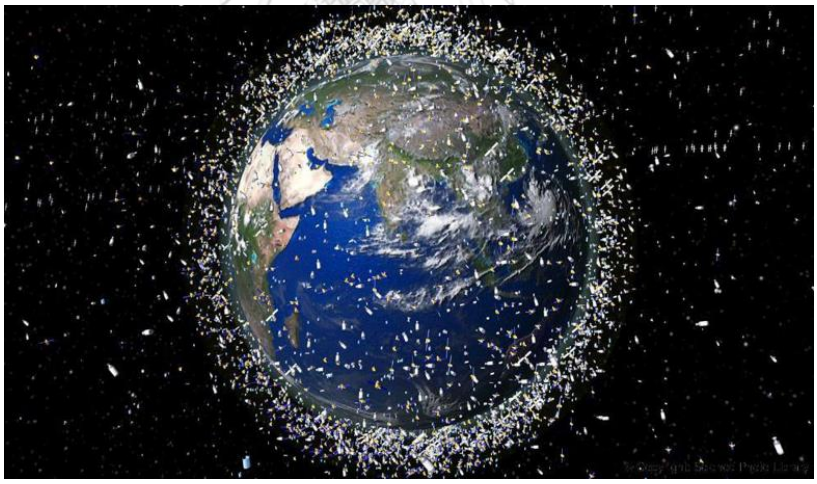


รูปที่ 2.8 สัดส่วนของวัตถุที่โคจรอยู่ในห้วงอวกาศ
(ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ อ้างถึง Dr.Shinichi Nakamura (JAXA))

นอกจากนี้ ได้เคยมีการบันทึกถึงเหตุการณ์ที่สร้างผลกระทบอย่างใหญ่ให้แก่มวลมนุษยชาติเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2550 เมื่อระบบต่อต้านดาวเทียมของสาธารณรัฐประชนจีน ได้ทำลายดาวเทียมพยากรณ์อากาศ “Fengyun 1C” ด้วยการยิงระเบิดขีปนาวุธจากภาคพื้นดิน ทำ

ให้เกิดขยะอวกาศจากเศษซากของดาวเทียมที่แตกออกเป็นเสี่ยง ๆ จำนวน 3,442 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ของขยะในอวกาศทั้งหมด นับเป็นเหตุการณ์ที่สร้างเศษซากขยะอวกาศครั้งเลวร้ายที่สุดในประวัติศาสตร์ 50 ปี ของการปฏิบัติงานในอวกาศของมนุษยชาติ (ชิดชนก วิมุกตานนท์, 2563)

ผลกระทบจากการที่ดาวเทียมชนกับขยะอวกาศ ก็จะส่งผลให้ดาวเทียมไม่สามารถใช้ได้ หากเกิดความเสียหายมาก มีโอกาสแตกออกกลายเป็นขยะอวกาศชิ้นเล็ก ๆ อย่างมหาศาล ในระยะแรก พบว่า เศษขยะอวกาศเล็ก ๆ เหล่านี้ จะลอยไปอยู่ในวงโคจรของมันเอง และจะค่อย ๆ กระจายออกเป็นวงกว้างขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป จะมีลักษณะคล้ายกับเมฆล่องลอยอยู่ในห้วงอวกาศ หากมีการส่งดาวเทียมมาในวงโคจรเดิม ก็จะไม่สามารถส่งได้ ทำให้วงโคจรนี้และวงโคจรใกล้เคียงใช้งานไม่ได้ ยิ่งไปกว่านั้น หากขยะอวกาศมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นถึงจุดหนึ่ง ก็สามารถที่จะชนกันเองแล้วเกิดการแตกออกเป็นขยะอวกาศเพิ่มขึ้นมาอีกเรื่อย ๆ (วิภู รุโจปการ, 2557) เรียกว่า “วิกฤตการณ์ Kessler (kessler syndrome)” ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 จำนวนวัตถุอวกาศรอบที่โคจรอยู่รอบโลก
(ESA, 2564)

“วิกฤตการณ์ Kessler (kessler syndrome)” ก่อให้เกิดผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจาก ในอวกาศจะเกิดการสูญเสียพื้นที่วงโคจรบางส่วน ส่งกระทบเป็นวงกว้างอย่างมีนัยสำคัญ (OECD, 2563) ดังนี้

1) ส่งผลต่อการดำเนินงานหรือการทำหน้าที่บางอย่างในดาวเทียม ทำให้ไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้
2) สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน
3) ส่งผลต่อการศึกษาวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์ ระบบโลก และภูมิอากาศหยุดชะงัก
4) สร้างความแออัดและเพิ่มความเสี่ยงให้แก่วงโคจรอื่น ๆ
5) ส่งผลต่อแนวโน้มการเติบโตของภาคเศรษฐกิจและการลงทุนชะลอตัว
6) ส่งผลกระทบเชิงลบต่อพื้นที่ห่างไกลความเจริญและประเทศรายได้ต่ำ

อย่างไรก็ตาม จากการประเมินสถานการณ์สภาพแวดล้อมทางอวกาศของ ESA พบว่า “ขยะอวกาศ” จะก่อให้เกิดภัยคุกคามความมั่นคงทางอวกาศและผลกระทบใน 3 รูปแบบ (Paweł Bernat, 2563) ประกอบด้วย

1) กระทบต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์ทุกคนบนโลก
2) กระทบต่อวัตถุอวกาศที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติการ รวมถึงนักบินอวกาศในการปฏิบัติภารกิจนอกยานอวกาศ
3) กระทบต่อการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรในอนาคต

ดังนั้น จะเห็นได้ชัดว่า ผลกระทบจากขยะอวกาศที่มีต่อมนุษย์และโลก จะเป็นเรื่องของการส่งดาวเทียมสื่อสาร การตรวจอากาศ การสำรวจทรัพยากร ซึ่งปัจจุบันมีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนคลื่นของสัญญาณดาวเทียมหรือสัญญาณวิทยุซึ่งจะส่งผลต่อการติดต่อสื่อสาร การถ่ายทอดสัญญาณจากดาวเทียมได้ (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562) ในขณะที่ปัญหาขยะอวกาศอาจส่งผลโดยตรงกับคนบนพื้นโลกได้ ในกรณีที่ขยะอวกาศเหล่านั้นตกกลับมาบนโลก คล้ายกับสะเก็ดดาวที่ตกลงมายังโลกและลุกไหม้ เพราะการเสียดสีกับบรรยากาศโลก และเห็นเป็น “ปรากฏการณ์ดาวตก” แต่หากเผาไหม้ไม่หมดก็จะตกลงมาถึงผิวโลกกลายเป็น “อุกกาบาต” ส่วนมากขยะอวกาศขนาดเล็ก จะเผาไหม้หมดไปในบรรยากาศโลกเหมือนดาวตก ชิ้นใหญ่ ๆ ที่ตกลงมาถึงผิวโลกก็มักจะตกลงน้ำ เพราะผิวโลกกว่าร้อยละ 71 เป็นมหาสมุทร หนอง บึง ฯลฯ (วิภู รุโจปการ, 2557) กรณีที่ขยะอวกาศตกลงมาบนแผ่นดิน ก็มีโอกาสเกิดขึ้นเช่นกัน แต่ความเสี่ยงมีน้อยกว่ามหาสมุทร และเคยพบว่า อุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมสื่อสารที่อยู่ระหว่างปฏิบัติภารกิจของสหรัฐอเมริกา “Iridium-33” และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดาวเทียมสื่อสารหมดอายุการใช้งานของรัสเซีย “Kosmos-2251” มีเศษส่วนตกลงมายังพื้นผิวโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 ถังพลังงานเชื้อเพลิงจากดาวเทียม Iridium-33 ตกลงสู่โลกที่รัฐแคลิฟอร์เนีย (Julissa Zavala, 2558)

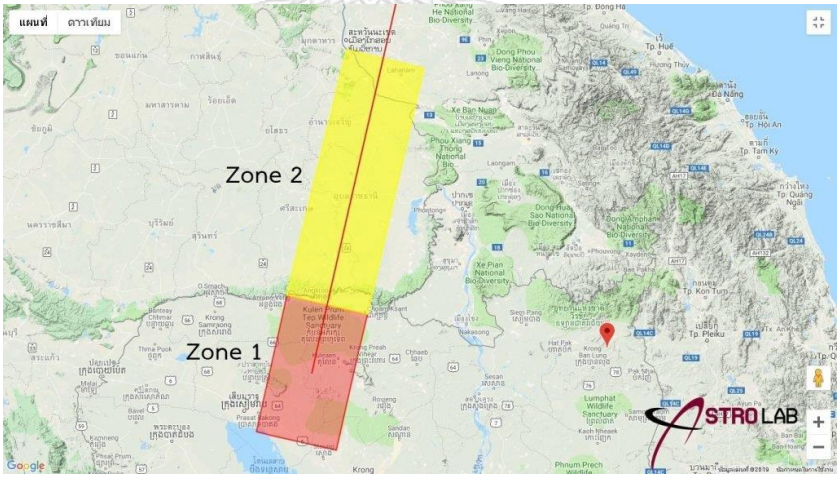
ส่วนอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมสื่อสารที่อยู่ระหว่างปฏิบัติภารกิจของสหรัฐอเมริกา “Iridium-33” และดาวเทียมสื่อสารหมดอายุการใช้งานของรัสเซีย “Kosmos-2251” จนทำให้มีขยะอวกาศเกิดขึ้นจำนวนมากครั้งหนึ่งของประวัติศาสตร์นั้น ส่งผลให้นักบินอวกาศที่ประจำอยู่บนสถานีอวกาศที่โคจรอยู่รอบ ๆ ในเวลานั้น ต้องหลบขยะอวกาศถึง 2 รอบ ทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงและต้องยุติภารกิจทันที และ Space Debris Office ได้เปิดเผยข้อมูลว่า “ในช่วงปี 2552 ถึง 2559 ยานสำรวจอวกาศของ ESA ต้องหลบหลีกขยะอวกาศเฉลี่ยจำนวน 1.8 รอบต่อปี” (ESA, 2563) จำนวนเศษซากขยะอวกาศที่มากมายนี้ ที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อยานอวกาศดาวเทียมปฏิบัติการ หรือสถานีอวกาศภายในวงโคจรรอบโลก ที่อาจได้รับความเสียหายจากการขัด สี หรือชนเข้ากับเศษซากขยะพวกนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่เปราะบางอย่างแผงโซลาร์เซลล์ หรือกระจกเลนส์ของกล้องโทรทรรศน์อวกาศที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันอย่าง วิปเปิ้ล ชีลด์ (whipple shield) (SCIWAYS, 2561)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในขณะที่ประเทศไทยนั้น พบว่า มีเหตุการณ์เสี่ยงภัยเกี่ยวกับวัตถุอวกาศอยู่บ่อยครั้ง ตัวอย่างเช่น เมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2560 สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน): สทอภ. หรือจิสด้า (GISTDA) เข้าตรวจสอบวัตถุปริศนาที่ระเบิดกลางอากาศที่ชายแดนไทย-ลาว เสียงดัง ได้ยินเป็นบริเวณกว้างหลายอำเภอของจังหวัดอุบลราชธานี จนกระทั่งรุ่งเช้าพบเศษโลหะเนื้อดีกระจายเกลื่อนพื้นที่ 4 หมู่บ้านของตำบลนาโพธิ์กลาง อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี ทั้งนี้ ได้เข้าตรวจสอบวัตถุที่พบ คาดว่าจะเป็นชิ้นส่วนของจรวดที่ใช้ส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรในชั้นอวกาศ โดยเป็นส่วนของตัวจรวดและถังบรรจุเชื้อเพลิง สำหรับการตกของจรวดลูกนี้ คาดว่ายังไม่ออกไปนอกโลก แต่อยู่ในระดับความสูงไม่น้อยกว่า 100 กิโลเมตร เมื่อตัวจรวดตกกลับลงมาด้วยความเร็ว จะเกิดแรงเสียดทานกับอากาศ ทำให้เกิดไฟลุกไหม้ และเกิดเสียงจากแรงกระแทกในรูปแบบของโซนิกบูม ทำให้เกิดเสียงดังตามที่ชาวบ้านได้ยิน ไม่ใช่เกิดจากการระเบิดบนท้องฟ้า แต่เกิดจากแรงกระแทกของวัตถุกับอากาศ ก่อนแตกกระจายออกเป็นชิ้น ๆ (กรุงเทพธุรกิจ, 2560) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 วัตถุปริศนาที่ระเบิดกลางอากาศที่ชายแดนไทย-ลาว
(ไทยรัฐออนไลน์, 2560)

นอกจากนี้ ในปี 2562 เป็นเหตุการณ์เสี่ยงภัยเกี่ยวกับการตกของวัตถุอวกาศ “ดร.สิทธิพร ชาญนำสิน คณะทำงานและเลขานุการคณะทำงานเฝ้าระวังและเผชิญเหตุวัตถุอวกาศ ภายใต้ สทอภ. ระบุว่า ให้การแจ้งเตือนประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย ได้แก่ จังหวัดอำนาจเจริญ ศรีสะเกษ และอุบลราชธานี เพื่อเฝ้าระวังความเสี่ยงที่ชิ้นส่วนจรวดจะตกกลับมายังโลก เนื่องจากได้รับข้อมูลออกประกาศนักบิน (Notice to Airmen: NOTAM) จากหน่วยงานการบินพลเรือนของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนว่าจะมีการดำเนินกิจกรรมการบินอวกาศ ในวันที่ 12 กันยายน 2562 ช่วงเวลา 10.20 - 10.56 น. (ตามเวลาในประเทศไทย) ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลการติดตามการแจ้งเตือนของสาธารณรัฐประชาชนจีนในหลายครั้งที่ผ่านมา มีโอกาสที่จะเป็นการยิงจรวดส่งดาวเทียมจากศูนย์นำส่งดาวเทียมไท่หยวน (Taiyuan Satellite Launch Center) ที่อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบอยู่ในจังหวัดอุดรมีชัย และจังหวัดเสียมราฐของราชอาณาจักรกัมพูชา (Zone 1: พื้นที่สีแดง) โดยเส้นทางจรวดดังกล่าวจะพาดผ่านประเทศไทย ในจังหวัดอำนาจเจริญ จังหวัดศรีสะเกษ และจังหวัดอุบลราชธานี (Zone 2: พื้นที่สีเหลือง) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เส้นทางจรวดดังกล่าวจะพาดผ่านประเทศไทย
(สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562)

ทั้งนี้ จะเห็นได้ชัดว่า ขยะอวกาศส่งผลกระทบด้านสังคมต่อชีวิตและทรัพย์สินดังที่กล่าวแล้วข้างต้น นอกจากนี้ ยังส่งผลกระทบด้านเศรษฐกิจ ในส่วนของการสูญเสียต้นทุนในการสร้างดาวเทียมที่มีมูลค่าสูง ในอดีตดาวเทียมแต่ละดวงมีราคาไม่ต่ำกว่า 10,000 ล้านบาท ยกตัวอย่าง เช่น

1) ดาวเทียมตรวจจับพายุเฮอริเคน มีมูลค่าประมาณ 10,150 ล้านบาท ดาวเทียมเตือนขีปนาวุธของทางทหาร มีมูลค่าประมาณ 24,000 ล้านบาท (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น, 2558)
2) ดาวเทียมธีออส-2 หรือดาวเทียมไทยโชต เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของประเทศไทย มีมูลค่าประมาณ 6,900 ล้านบาท เป็นดาวเทียม 2 ดวง คือ ดาวเทียมดวงใหญ่ที่จะผลิตในฝรั่งเศส และดาวเทียมดวงเล็กที่ไทยจะพัฒนาเองในประเทศ โดยได้รับถ่ายทอดเทคโนโลยีจากบริษัท Airbus Defence and Space SAS จำกัด เครือแอร์บัสกรุ๊ป (กรุงเทพธุรกิจ, 2561)

ในขณะที่การส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศก็มีราคาสูงเช่นกัน การส่งดาวเทียมแต่ละครั้งจะมีต้นทุนในการปล่อยอยู่ระหว่าง 2,000 ถึง 14,000 ล้านบาท ถ้าใช้กระสวยอากาศในการส่งดาวเทียมก็จะมีราคาต้นทุนการส่งประมาณ 17,500 ล้านบาท (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น, 2558) จึงต้องเตรียมการและวางแผนอุปกรณ์และวงโคจรอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดได้ หรือเกิดอุบัติเหตุการชนของขยะอวกาศที่ทำให้ดาวเทียมมีความเสียหายไม่สามารถภารกิจต่อได้ แม้จะสามารถประเมินมูลค่าทางตรงจากมูลค่าต้นทุนได้ แต่ไม่อาจประเมินมูลค่าทางอ้อมและค่าสูญเสียโอกาสของประเทศชาติต่อดาวเทียม 1 ดวงได้เลย

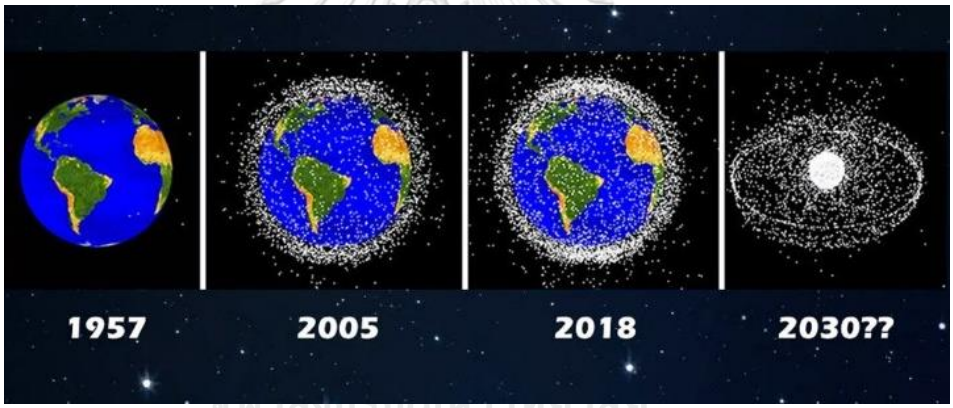
อย่างไรก็ตาม จากรายงานของ The Organization for Economic Co-operation and Development หรือ OECD ระบุว่า แนวโน้มของขยะอวกาศมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากเกิดอุบัติเหตุการชนของดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าหรือวงโคจรประจำที่ (Geostationary Orbit: GEO) จะสร้างความเสียหายประมาณ ร้อยละ 5-10 ของค่าใช้จ่ายรวมในภารกิจทั้งหมด ซึ่งอาจมีมูลค่าหลายร้อยล้านดอลล่าร์ ในขณะที่อุบัติเหตุการชนของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Earth Orbit: LEO) จะสร้างความเสียหายเช่นกัน แต่จะมีมูลค่ามากกว่า ร้อยละ 5-10 ของค่าใช้จ่ายรวมในภารกิจทั้งหมด (OECD, 2563)

2.1.4 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของดาวเทียมและขยะอวกาศ

จากการคาดการณ์ของ ESA พบว่า ขยะอวกาศ ส่วนมากเกิดจากอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียม มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยจำนวนของการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรที่มากขึ้น อันเนื่องมาจาก ต้นทุนของการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีต้นทุนที่ต่ำลง ดังนั้น จำนวนวัตถุอวกาศจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณและไม่อาจหยุดยั้งปรากฏการณ์เหล่านี้ได้ในอนาคต (ESA, 2563) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ทั้งนี้ มีการเปรียบเทียบประเทศที่มีดาวเทียมทั่วโลก ในปี 1996 (พ.ศ. 2539) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และปี 2020 (พ.ศ. 2563) ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.13 วิวัฒนาการของวัตถุอวกาศที่โคจรอยู่ในห้วงอวกาศ
(KELLI KENNEDY, 2562)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.14 ประเทศที่มีดาวเทียม (สีส้ม) และฐานปล่อยจรวด (สีส้มเข้ม) ในปี 2539 (UCSUSA, 2564)

รูปที่ 2.15 ประเทศที่มีดาวเทียม (สีส้ม) และฐานปล่อยจรวด (สีส้มเข้ม) ในปี 2563 (UCSUSA, 2564)

มีการใช้งานวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าในปัจจุบันมีกลุ่มดาวเทียม Starlink ของ SpaceX กลุ่มดาวเทียม OneWeb ซึ่งเป็นกลุ่มดาวเทียมสื่อสารเป็นจุดเปลี่ยนที่สำคัญอย่างแท้จริง ทำให้จำนวนดาวเทียมที่พร้อมปฏิบัติในอนาคตมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากกว่า 2-3 เท่าในอีก 5 ปีข้างหน้า หรือเพิ่มขึ้นอีกประมาณหลายหมื่นดวงในปี 2030 จากในปัจจุบันมีประมาณ 3,000 ดวง ทำให้ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีความหนาแน่นและแออัด และหากมีการตั้งถามคงไม่ใช่คำถามว่า “ดาวเทียมมีความเสี่ยงจะชนหรือไม่ แต่ควรจะเป็นดาวเทียมจะมีการชนเมื่อใดมากกว่า” ซึ่งนับเป็นประเด็น

ความท้าทายและเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องให้ความสำคัญที่นับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนขยะอวกาศ (Marit Undseth, 2564) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประมาณการจำนวนดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ

	Upper LEO (>600 km)		Lower LEO (<600 km)	
	Small (<100 kg)	Big (>100 kg)	Small (<100 kg)	Big (>100 kg)
Starlink	0	0	0	299
Active payloads (excluding Starlink)	229	465	731	243
Special cases	2	3	0	0
Dead payloads	667	887	60	58
Rocket stages	62	734	16	78
Inert parts	899	24	124	10
Debris (general)	5041	2	62	0
Debris (2009 collision)	1382	0	3	0
Debris (2007 test)	2801	0	2	0
Total	11083	2115	998	688

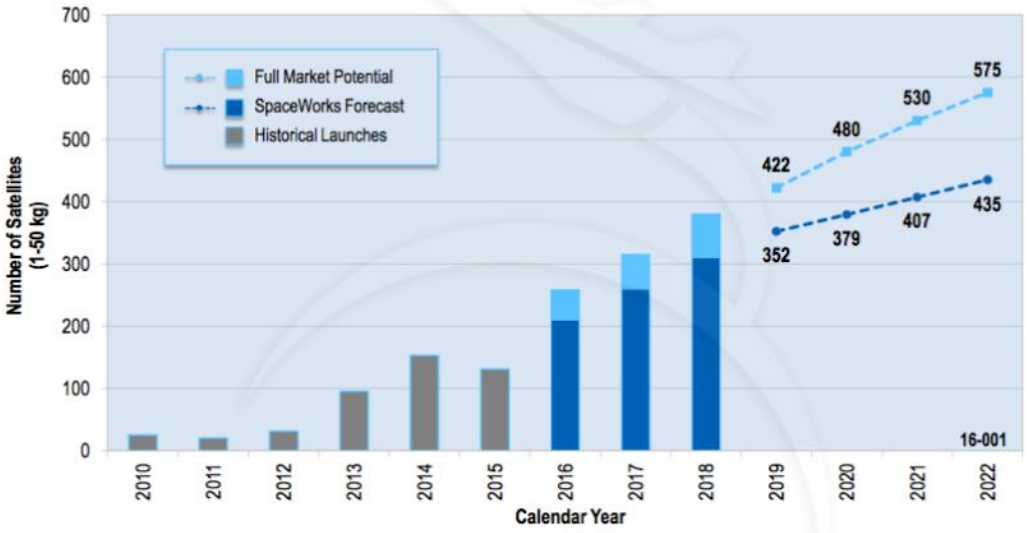
(Jonathan C. McDowell, 2563)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยแนวโน้มในปัจจุบัน “ดาวเทียมขนาดจิ๋ว หรือ CubeSat” ดวงแรกได้รับการปล่อยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศของโลก ปี 2546 ดาวเทียมประเภทนี้อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ หรือ Low Earth Orbit: LEO ซึ่งอยู่สูงจากพื้นโลก 2,000 กิโลเมตร หรือประมาณ 1,200 ไมล์ มีจุดเด่นในเรื่องของต้นทุนในการออกแบบและสร้างที่ต่ำ ทำให้ดาวเทียมขนาดจิ๋วเหล่านี้ ได้รับความนิยมในการสร้างและจัดส่งเพื่อใช้งานในหลากหลายวัตถุประสงค์เพิ่มมากขึ้น (ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, 2563) ดังแสดงในรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบขนาดของ CubeSat เมื่อเทียบกับดาวเทียมขนาดใหญ่ที่ใช้งานกันทั่วไป
(ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, 2563)

นอกจากนี้ ยังมีแนวโน้มของดาวเทียมขนาดเล็ก (small satellite) ที่มีจุดประสงค์ของการสร้างดาวเทียมขนาดเล็ก คือ เพื่อพัฒนาและใช้งานในภารกิจต่าง ๆ แทนที่ดาวเทียมขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้เวลาและงบประมาณในการสร้างอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ชัดว่ามีแนวโนมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และสืบเนื่องจากความสามารถของจรวดที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นและมีการนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ ทำให้เทคโนโลยีการนำส่งดาวเทียมขึ้นไปในอวกาศเป็นเรื่องที่ง่ายและถูกลงอย่างมาก โดยสามารถสรุปประเภท ขนาดมวล ระดับความสูงของวงโคจร อายุของดาวเทียม ค่าใช้จ่าย และกำลังการใช้งาน



รูปที่ 2.17 แนวโน้มการส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำ
(Shahin Farshchi, 2559)

อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ชัดว่า จะมีการส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่วงโคจรเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กเป็นสิ่งที่ทั่วโลกให้ความสนใจและจะมีการใช้งานมากขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลานี้เป็นต้นไป โดยจะเข้ามามีบทบาทในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เนื่องจาก ราคาถูกและสามารถส่งขึ้นได้เรื่อย ๆ ถ้าเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพราะว่าอายุการใช้งานของดาวเทียมขนาดเล็กมีอายุประมาณ 5 ปี ขึ้นอยู่กับขนาดและภารกิจของดาวเทียม ดังนั้น จึงตอบโจทย์เทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ข้อดีของการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก คือ 1. มีความซับซ้อนน้อยกว่าดาวเทียมขนาดใหญ่ 2. ใช้งบประมาณต่ำกว่าการสร้างดาวเทียมขนาดใหญ่ 3. ใช้เวลาสร้างน้อยกว่าดาวเทียมขนาดใหญ่ ข้อเสียของการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก คือ 1. อายุใช้งานสั้น 2. เพิ่มขยะอวกาศ 3. น้ำหนักน้อยทำให้ควบคุมการเคลื่อนที่และเสถียรภาพได้ยาก (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560)

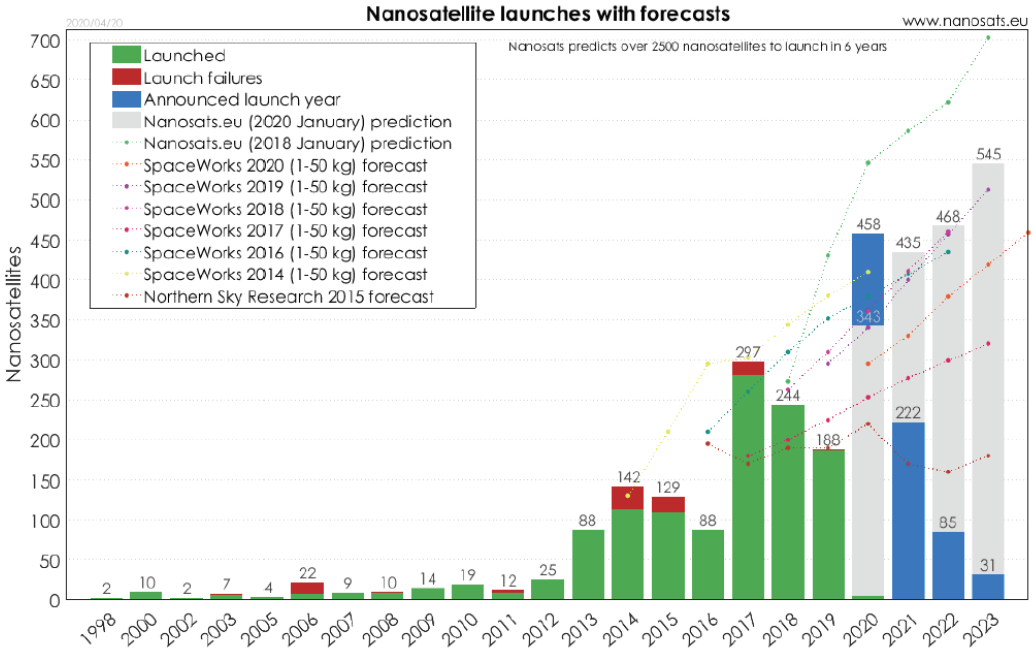
ตารางที่ 2.3 การจำแนกดาวเทียมขนาดเล็ก

	Type	Mass (kg)	Cost (US $)	Time to Build	Antenna Gain	Power Consumption
	Conventional	>1000	0.1-2 B	>5 years	Very high	~ 1000 W
	Medium	500-1000	50-100 M	4 years	Very high	~ 800 W
Small Satellites	Mini	100-500	10-50 M	3 years	High	53.2W
	Micro	10-100	2-10 M	~ 1 year	Medium	35 W
	Nano	1-10	0.2-2 M	~ 1 year	Medium	7 W
	Pico	1-1.3	20-200 K	<1 year	Low	2 W
	Femto	<0.1	0.1-20 K	<1 year	Low	6 mW

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(FAISEL EM TUBBAL, 2558)

จากรายงานจากบริษัทวิจัย Morgan Stanley Aaron Pressman ระบุว่า ธุรกิจทางอวกาศทั่วโลก จะมีมูลค่าสูงถึง 22 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2567 และจะเพิ่มเป็น 41 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2569 ซึ่งเกิดจากการก้าวเข้ามาเป็นผู้เล่นทางธุรกิจของบริษัทยักษ์ใหญ่ระดับโลก เช่น SpaceX OneWeb Google และ Facebook เป็นต้น โดยมีการคาดการณ์แนวโน้มของดาวเทียมขนาดจิ๋ว ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, 2563)



รูปที่ 2.18 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของดาวเทียม CubeSat ที่ได้รับการส่งขึ้นสู่วงโคจร
(ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, 2563)

แนวโน้มกิจกรรมด้านอวกาศและดาวเทียมที่สำคัญของโลก

โดยปัจจุบัน เทคโนโลยีกิจการอวกาศมีแนวโน้มการสร้างดาวเทียมขนาดที่เล็กลง และมีแนวโน้มการนำส่งขึ้นสู่วงโคจรครั้งละจำนวนมากหลายร้อยหลายพันดวง ในลักษณะ “กลุ่มดาวเทียม” (constellation) ที่ตำแหน่งวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ที่ระดับความสูงไม่เกิน 2,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก ดาวเทียมแต่ละดวง สามารถติดต่อสื่อสารปฏิบัติงานร่วมกันในลักษณะเครือข่าย (network) สามารถออกแบบกลุ่มดาวเทียมให้มีขีดความสามารถเป็นได้ทั้งดาวเทียมสื่อสารและดาวเทียมถ่ายภาพ ปัจจุบัน แผนพัฒนากลุ่มดาวเทียมลักษณะดังกล่าว จำกัดอยู่ในกลุ่มชาติมหาอำนาจ และบริษัทด้านกิจการอวกาศชั้นนำระดับโลก เช่น บริษัท SpaceX, บริษัท Boeing, บริษัท WorldVu หรือ OneWeb, บริษัท Kepler Communications, บริษัท Telesat Canada, บริษัท Theia Holdings A, Inc. เนื่องจาก ต้องใช้เทคโนโลยีขีดความสามารถของบุคลากร และค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการดำเนินงาน (วัฐพล เมฆดี, 2562) ตัวอย่างเช่น

โครงการ “Starlink” โดยบริษัท SpaceX มีแผนนำส่งกลุ่มดาวเทียมตาม “โครงการ Starlink” มีเป้าหมาย นำส่งดาวเทียมทั้งสิ้น จำนวน 12,000 ดวง ขึ้นสู่วงโคจร ที่ระดับความสูง 550 กิโลเมตรจากพื้นโลกตามการกล่าวถึงของบริษัท กลุ่มดาวเทียมจะมีขีดความสามารถให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกที่อุปกรณ์ การสื่อสารสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นได้โดยตรงผ่าน ดาวเทียม (Machine to Machine: M2M) ด้วยค่าบริการที่ถูกกว่าการใช้บริการอินเทอร์เน็ตรูปแบบเดิม ซึ่งอาจจะมีผลกระทบทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตจากการใช้บริการจากผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในประเทศ เป็นการใช้บริการจากผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตที่เป็นบริษัทขนาดใหญ่ในต่างประเทศ ทำให้การรับส่งข้อมูลอยู่บนเครือข่ายต่างประเทศโดยตรง อาจทำให้ภาครัฐ ไม่สามารถกำกับดูแลข้อมูลที่รับส่งอยู่บนเครือข่ายได้อย่างเบ็ดเสร็จเหมือนเครือข่ายที่อยู่ภายในประเทศ (วัฐพล เมฆดี, 2562)

โครงการ “Project Kuiper” ของ Amazon ได้ประกาศโปรเจคเพื่อพัฒนากลุ่มดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) โดย Amazon ได้รับการอนุมัติจาก Federal Communications Commission (FCC) ของสหรัฐอเมริกาให้มีการปล่อยดาวเทียมมากกว่า 3,236 ดวงเข้าสู่วงโคจร โดยมีเป้าหมายในการให้บริการอินเทอร์เน็ตครอบคลุมทั่วโลก มีการเตรียมงบประมาณในโครงการดังกล่าวไว้กว่า 10,000 ล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐฯ หรือประมาณ 3.1 แสนล้านบาท ในการสร้างศูนย์วิจัยในเมืองเรดมอนด์ มลรัฐวอชิงตัน โดยศูนย์ฯ ดังกล่าวจะใช้ในการออกแบบและทดสอบดาวเทียม โดยคาดว่าดาวเทียมจำนวนครึ่งหนึ่งจะถูกส่งไปอยู่ในวงโคจรโลกภายในเดือนกรกฎาคม 2569 (Amazon, 2563)

โครงการ “OneWeb” ผลิตโดย OneWeb Satellites ซึ่งเป็นบริษัทร่วมทุนระหว่าง OneWeb กับ Airbus Defence and Space การปล่อยดาวเทียมนี้ ถือเป็นจุดเริ่มต้นของโครงการปล่อยดาวเทียมที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์ และเป็นการเปลี่ยนหลักการที่ประสบความสำเร็จไปสู่การใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ โครงการปล่อยดาวเทียมรายเดือนของ OneWeb ปล่อยดาวเทียมมากกว่า 30 ดวงต่อจรวดหนึ่งลำ และจะทำให้กลุ่มดาวเทียมของบริษัทมีจำนวนมากกว่า 650 ดวง โดยจะทดลองให้บริการลูกค้าในปี 2563 ก่อนที่จะให้บริการเชิงพาณิชย์ทั่วโลกอย่างเต็มตัวในปี 2564 เครือข่ายของ OneWeb สามารถรับส่งข้อมูลจำนวนมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มีความหน่วงต่ำ มีสัญญาณครอบคลุมทั่วโลกอย่างแท้จริง ตั้งแต่ขั้วโลกเหนือไปจนถึงขั้วโลกใต้ และมีเครื่องปลายทางที่รองรับตลาดหลายประเภท (OneWeb, 2562a)

รูปที่ 2.19 ดาวเทียม OneWeb
(OneWeb, 2562b)

“บริษัท Theia Holdings A, Inc.” มีแผนนำส่งกลุ่มดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรที่ระดับความสูง 800 กิโลเมตร จากพื้นโลก จำนวน 120 ดวง (ใช้งาน 112 ดวง สำรอง 8 ดวง) ตามการกล่าวถึงของบริษัท กลุ่มดาวเทียมจะมีขีดความสามารถถ่ายภาพความละเอียดสูงครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกตลอด 24 ชั่วโมง สามารถประมวลผลข้อมูลบนกลุ่ม ดาวเทียมเป็นข้อมูลพร้อมใช้ก่อนส่งข้อมูลกลับมายังสถานีภาคพื้น (วัฐพล เมฆดี, 2562)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แนวโน้มกิจกรรมด้านอวกาศและดาวเทียมที่สำคัญของภูมิภาคเอเชีย

ปัจจุบันในหลาย ๆ ประเทศได้ตระหนักถึงความสำคัญของก้าวเล็ก ๆ สู่อวกาศนี้ โดยได้มีการเริ่มต้นส่งนักศึกษาและนักวิจัยไปเข้าร่วมโครงการดาวเทียมต่าง ๆ ในต่างประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์ที่นำความรู้และประสบการณ์กลับมาสร้างดาวเทียมภายในประเทศ ตัวอย่างหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากจากประเทศเพื่อนบ้านในเอเชียของประเทศไทย เช่น ประเทศเวียดนาม มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ มองโกเลีย เนปาล และภูฏาน คือ โครงการดาวเทียม BIRDS ของ Kyushu Institute of Technology (KRUTECH) ประเทศญี่ปุ่น ในปัจจุบันมีการส่งดาวเทียมขึ้นโคจรแล้วถึง 11 ดวง และจะส่งขึ้นอีก 3 ดวงเร็ว ๆ นี้ ซึ่งบางดวงถือเป็นดาวเทียมดวงแรกของ

ประเทศ เช่น ประเทศกานะ ไนจีเรีย มองโกเลีย บังคลาเทศ เนปาล และภูฏาน (อภิวัฒน์ จิรวัฒนผล, 2564) ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ดาวเทียมเพื่อการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์โครงการดาวเทียม BIRDS

โครงการ	ประเทศ	ชื่อดาวเทียม	ปีส่งขึ้นโคจร
BIRDS-1	ญี่ปุ่น	TOKI	2017
	กานา	GhanaSat-1	
	มองโกเลีย	Mazaalai	
	ไนจีเรีย	NigeriaEduSat-1	
	บังคลาเทศ	BRAC Onnesha	
BIRDS-2	ภูฏาน	BHUTAN-1	2018
	มาเลเซีย	UiTMSAT-1	
	ฟิลิปปินส์	MAYA-1	
BIRDS-3	เนปาล	NepaliSat-1	2019
	ญี่ปุ่น	Uguisu	
	ศรีลังกา	Ravaana-1	
BIRDS-4	ฟิลิปปินส์	MAYA-2	จะส่งขึ้นภายในปี 2021
	ญี่ปุ่น	Tsuru	
	ปารากวัย	GuaraniSat-1	

(อภิวัฒน์ จิรวัฒนผล, 2564)

นอกจากดาวเทียมเพื่อการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์แล้ว ยังมีดาวเทียมในเชิงพาณิชย์อื่น ๆ อีกด้วย ประกอบด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

“โครงการดาวเทียมของเวียดนาม” เริ่มประสบความสำเร็จ จากการสร้าง ดาวเทียม “PicoDragon” ดาวเทียมดวงแรกที่“เมดอินเวียดนาม” คือวิจัยและผลิตโดยวิศวกรเวียดนาม หนักเพียง 1 กิโลกรัม มีขนาด 10x10x11.35 เซนติเมตร และปล่อยขึ้นไปยังอวกาศตั้งแต่ปี 2556 ซึ่งมีความสามารถในการถ่ายภาพมายังโลกและดำเนินการทดลองการสื่อสารโดยใช้อุปกรณ์วิทยุ ปลายปี 2561 นี้ ดาวเทียมที่ 36 วิศวกรชาวเวียดนามซึ่งไปศึกษาที่ญี่ปุ่นสร้าง ชื่อ “ไมโครดรากอน (Micro Dragon)” จะถูกใช้สำรวจโลกหลังจากได้รับการติดตั้งกับจรวด Epsilon ของญี่ปุ่น ดาวเทียมดวงนี้มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม มีขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ภารกิจหลักคือดูความเปลี่ยนแปลงของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งเวียดนาม คุณภาพน้ำเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในอนาคตเวียดนามยังวางแผนจะสร้างดาวเทียม LOTUSat-1 และ LOTUSat-2 ด้วยเทคโนโลยีเรดาร์ขั้นสูงซึ่งหนักถึง 600 กิโลกรัม และน่าจะใช้งบประมาณสำหรับโครงการ

ถึง 600 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ โดยมุ่งเน้นภารกิจสำรวจการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรวมไปถึงการเตือนภัยธรรมชาติ ทางการเวียดนามวางแผนพัฒนาในรอบ 5 ปี (ระหว่างปี 2560-2565) เน้นที่การพัฒนาการผลิตดาวเทียมด้วยหวังว่าจะได้เป็นผู้นำเทคโนโลยีดาวเทียมของอาเซียน อย่างไรก็ตามเวียดนามยังมีข้อจำกัดทั้งคุณภาพและจำนวนผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้น นอกจากรัฐบาลจะส่งนักศึกษาและนักวิจัยเพื่อไปศึกษาต่อเกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศในต่างประเทศ ยังได้สร้างหลักสูตรเพื่อผลิตบุคลากรจากมหาวิทยาลัยในเวียดนามด้วย ตอนนี้ เวียดนามจึงเป็นประเทศที่ไม่เพียงแต่น่าจับตามองทางเศรษฐกิจ แต่ยังรวมถึงความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีอวกาศที่มากที่สุดแห่งหนึ่งในอาเซียน (มรกตวงศ์ ภูมิพลับ, 2561)

“โครงการดาวเทียมของมาเลเซีย” เป็นอีกประเทศในอาเซียนที่มีการจัดสร้างดาวเทียมทั้งดวงภายในประเทศเอง ชื่อว่า “InnoSat-2” ซึ่งเป็นดาวเทียมคิวแซตขนาด 3U จัดสร้างโดยบริษัท Astronautic Technology (M) Sdn. Bhd. และถูกส่งโคจรรอบโลกในปี 2561 ถือว่าเป็นก้าวเล็ก ๆ ที่สำคัญอีกก้าวหนึ่งของประเทศมาเลเซีย (อภิวัฒน์ จิรวัฒนผล, 2564) นอกจากนี้มาเลเซียยังเป็นเจ้าของดาวเทียมอีก 3 ดวง ได้แก่ ดาวเทียม TiungSAT-1 ขนาดไมโครแซทและกลุ่มดาวเทียม MEASAT ซึ่งเป็นดาวเทียมสื่อสารวงโคจรค้างฟ้า และดาวเทียม RazakSAT ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจโลก ปล่อยเข้าสู่วงโคจรเมื่อปี 2552 ทั้งนี้ มีแผนการในอนาคตจะก้าวเข้าสู่การเป็นผู้เล่นรายใหญ่ในอุตสาหกรรมอวกาศภายในปี 2573 โดยการพัฒนาดาวเทียมด้านการบริการจะส่งผลกระทบในเชิงบวกต่อเศรษฐกิจของประเทศ แต่เนื่องจากธุรกิจนี้มีต้นทุนสูงจึงเปิดโอกาสให้เอกชนเข้ามาร่วมพัฒนาได้อย่างเต็มที่เช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาค (Deyana Goh, 2560)

“โครงการดาวเทียมของสิงคโปร์” ถือว่าเป็นประเทศในอาเซียนที่มีความโดดเด่นในด้านอวกาศมากที่สุด และเป็นประเทศแรกในอาเซียนที่ได้ออกแบบและจัดสร้างดาวเทียมทั้งดวงภายในประเทศเอง ชื่อว่า “X-Sat” โดย Nanyang Technological University หรือ NTU ซึ่งถูกส่งในปี 2554 มีน้ำหนัก 105 กิโลกรัม ปัจจุบัน NTU ได้สร้างและจัดส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศไปแล้วทั้งหมด 9 ดวง (อภิวัฒน์ จิรวัฒนผล, 2564) โดยในปี 2558 สิงคโปร์ได้เปิดตัวดาวเทียมที่สร้างขึ้นในสิงคโปร์ โดยได้มีการปล่อยดาวเทียมออกจากฐานปล่อยยานอวกาศขององค์การวิจัยอวกาศของอินเดียซึ่งตั้งอยู่ในรัฐ Andhra Pradesh ในประเทศอินเดีย จำนวน 6 ดวง มีรูปทรง

และขนาดที่แตกต่างกัน โดยดาวเทียมอันดับแรกชื่อ Teleos-1 มีน้ำหนัก 400 กิโลกรัม สร้างขึ้นโดยบริษัท ST Electronics (ระบบดาวเทียม) ซึ่งร่วมทุนกับ NTU และ NTU ยังสร้างดาวเทียมร่วมโดยสารที่เรียกว่า VELOX-CI มีน้ำหนัก 123 กิโลกรัม เพื่อการตรวจสอบสภาพภูมิอากาศและระบบนำทาง และดาวเทียม VELOX-II ซึ่งมีขนาดเล็กมากและมีน้ำหนักหนักเพียง 12 กิโลกรัม นอกจากนี้ ดาวเทียมของมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (National University of Singapore: NUS) ชื่อ Galassia and Kent Ridge 1 ที่มีน้ำหนัก 2 กิโลกรัม และ 77.2 กิโลกรัม ตามลำดับ และดาวเทียมที่ 6 ชื่อ Athenoxat-1 ที่สร้างขึ้นโดยบริษัทเทคโนโลยีอวกาศ Microspace Rapid ณ ห้องปฏิบัติการในสิงคโปร์ สำหรับดาวเทียม Teleos-1 ถือว่าเป็นดาวเทียมเชิงพาณิชย์แรกของสิงคโปร์ และเป็นการเปิดประตูสำหรับบริษัท ST Electronics ให้กลายเป็นผู้เล่นรายใหม่ที่สำคัญของอุตสาหกรรมอวกาศระดับโลก ที่จะนำเสนอภาพถ่ายดาวเทียมและบริการที่มีมูลค่าเพิ่มกับลูกค้าทั่วโลก (สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ ณ กรุงสิงคโปร์, 2558)

“โครงการดาวเทียมของฟิลิปปินส์” ในปัจจุบัน ฟิลิปปินส์ มีดาวเทียม 3 ดวงอยู่ในวงโคจรภายใต้ร่วมมือของรัฐบาลกับกลุ่มมหาวิทยาลัยญี่ปุ่น พร้อมทั้งตั้งเป้าที่จะส่งดาวเทียมขึ้นไปอยู่ในวงโคจรอีก 4 หรือ 5 ดวง ในระยะ 2-3 ปีข้างหน้า ทั้งนี้ การดำเนินงานด้านอวกาศภายในประเทศ พบว่ามีข้อจำกัดหลายประการ อาทิ มีผู้เชี่ยวชาญด้านอวกาศในประเทศจำนวนน้อยมาก ทำให้ไม่มีศักยภาพที่จะพัฒนาดาวเทียมอย่างเต็มกำลัง ไม่มีหน่วยงานรวมด้านอวกาศรวมถึงยุทธศาสตร์การขับเคลื่อนในแนวทางเดียวกัน นอกจากนี้ แม้จะมีการจัดสรรวงโคจรแต่พบว่าไม่มีดาวเทียมของฟิลิปปินส์อยู่ในนั้น และที่สำคัญฟิลิปปินส์ยังไม่มีการเข้าถึงอวกาศได้โดยตรง เช่น การมีท่าอวกาศยาน เป็นต้น (Rogel Mari Sese, 2558)

“โครงการอวกาศของประเทศอินโดนีเซีย” มีหน่วยงานด้านอวกาศของประเทศ National Institute of Aeronautics and Space หรือภาษาท้องถิ่นเรียกว่า Indonesian: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional: LAPAN ซึ่งเป็นหน่วยงานของภาครัฐก่อตั้งเมื่อปี 2506 มีภารกิจด้านการพัฒนาและวิจัยเทคโนโลยีการบินและอวกาศสำหรับพลเรือนและทหาร ต่อมา มีการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก ดาวเทียมวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และดาวเทียมสื่อสารโทรคมนาคม ปัจจุบัน ‘ลาปัน’ มีการพัฒนาดาวเทียม ประกอบด้วย Palapa A1, Palapa

A2, LAPAN-A1 (LAPAN-Tubsat), LAPAN-A2 (LAPAN-ORARI), LAPAN-A3 (LAPAN-IPB) ดังแสดงในรูปที่ 2.20

LAPAN-TUBSAT LAPAN-A2/ORARI LAPAN-A3/IPB

Mission / Parameter	Video surveillance	Earth Surveillance, NE Maritime Monitoring, Amateur Communications	Imager Remote Sensing Experiment, Global Maritime Monitoring, Science Experiment
Payload	Sonny Color Video Camera Kappa Color Video Camera	4M Pixel Digital Camera AIS, Analog Camera, APRS	4 Band Push broom Imager, 4M Pixel Digital Camera
Spectral Resolution	RGB Kappa PAL, Color Camera (CCD 700X700 pixel)	RGB Digital Visible Camera (CCD 2048 x 2048 Pixel)	Band 1: 450 – 520 nm Band 2: 520 – 600 nm Band 3: 630 – 690 nm Band 4: 760 – 900 nm
Spatial Resolution	5 m (3.5 km x3.5 km) 200 m (80 km x 80 km)	5 m (12 km x 12 km) 5 m (3.5 km x 3.5 km)	8 m (100 km Swath Width) 6 m (12 km x 12 km)
Orbit/Inclination	635 km/97.6 °(deg)	650 km / 8 °(deg)	650 km/97.6 °(deg)
Communication TX Payload TTC	 S Band UHF	 S Band UHF	 X Band UHF
Down Link Rate	5 Mbps	5 Mbps	105 Mbps
Total Weight	55 kg	78 kg	115 kg
Dimension	45 x 45 x 27 cm^2	50 x 47 x 38 cm^2	55 x 50 x 70 cm^2
Launch	January 10, 2007	September 27, 2015	June 22, 2016

รูปที่ 2.20 Microsatellite Development LAPAN

(LAPAN, ม.ป.ป.)

โดยในปี 2561 LAPAN เตรียมสร้างศูนย์อวกาศบริเวณชายฝั่งตอนเหนือเกาะปาปัวนิวกินีทางด้านทิศตะวันออกของประเทศ โดยศูนย์อวกาศแห่งนี้ มีขีดความสามารถในการพัฒนาจรวดและฐานปล่อยจรวดขนส่งอวกาศขึ้นสู่วงโคจรของโลก และการทดสอบจรวดครั้งแรกคาดว่าจะมีขึ้นในปี 2567 ในขณะที่ภาครัฐอินโดนีเซียต้องการให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตจรวดและดาวเทียมด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม อินโดนีเซียมีเกาะจำนวนกว่า 17,000 แห่ง จึงจำเป็นต้องใช้ดาวเทียมจำนวนมาก มาทำหน้าที่สอดส่องความเคลื่อนไหวของประเทศ (Intan Perwitasari, 2561)

แนวโน้มกิจกรรมด้านอวกาศและดาวเทียมที่สำคัญของประเทศไทย

ปัจจุบัน ประเทศไทยหรือประเทศอื่น ๆ ในกลุ่มภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศกำลังพัฒนาและมักมีความต้องการใช้งานดาวเทียมที่มีขีดความสามารถให้บริการเฉพาะพื้นที่ภายในประเทศหรือพื้นที่บางแห่งภายนอกประเทศที่เป็นพื้นที่สนใจ ดังนั้น แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมของประเทศ จึงควรอยู่บนพื้นฐานความต้องการที่แท้จริง และควรเป็นการลงทุนที่สมเหตุสมผล มีความคุ้มค่าในการดำเนินงาน (วัฐพล เมฆดี, 2562)

ประเทศไทยมีดาวเทียมทั้งหมด 10 ดวง ประกอบด้วย ดาวเทียมไทยคม 1–8 ดาวเทียมไทพัฒ และดาวเทียมไทยโชต (หรือดาวเทียมธีออส) ดาวเทียมของประเทศไทยดวงแรกคือ ไทยคม 1 ซึ่งถูกส่งขึ้นวงโคจรในวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2536 หรือเมื่อเกือบ 25 ปีที่แล้ว ดาวเทียมไทยคม 1–8 เป็นดาวเทียมสื่อสารที่ ประเทศไทยจัดซื้อมาเพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์เป็นหลัก ดาวเทียมไทพัฒเป็นดาวเทียมที่ออกแบบและจัดสร้างโดย บุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเซอร์เรย์ ประเทศอังกฤษ ถือว่าเป็นดาวเทียมไทย ดวงแรกที่มีทีมบุคลากรไทยเข้าไปร่วมการออกแบบและ จัดสร้าง ดาวเทียมไทพัฒถูกส่งขึ้นวงโคจรในวันที่ 10 กรกฎาคม 2541 ส่วนดาวเทียมไทยโชตเป็นดาวเทียม สำรวจทรัพยากรดวงแรกของไทย ถูกส่งขึ้นวงโคจรในวันที่ 1 ตุลาคม 2551 เป็นดาวเทียมอยู่ภายใต้การดำเนินงานของ สทอภ. (สุวัฒน์ กุลธนปรีดา, 2561)

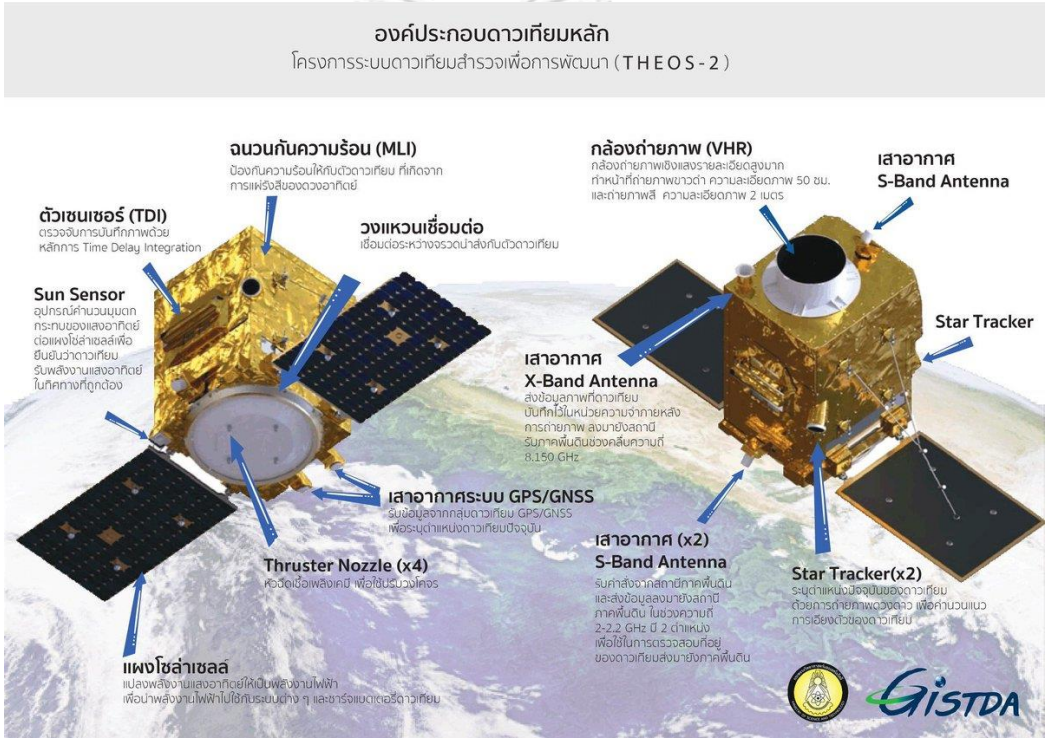
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

“ดาวเทียมไทยโชต หรือ THEOS-1” เป็นดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ซึ่งนับเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรเชิงปฏิบัติการดวงแรกของไทย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเป็นดาวเทียมหลักของระบบสำรวจโลก ระบบดาวเทียมนี้จะทำงานร่วมกับดาวเทียมของต่างประเทศอีกกว่า 20 ดวง ที่ไทยรับสัญญาณได้เองหรือมีสัญญากับเจ้าของดาวเทียมในการเข้าถึงข้อมูลภาพจากดาวเทียมเหล่านั้น ทั้งนี้ ประเทศไทยได้ใช้ประโยชน์ระบบดาวเทียมไทยโชต หรือ THEOS-1 และสร้างคุณค่าเพิ่มให้กับดาวเทียมไทยโชตมาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา โดยได้พัฒนาจากการผลิตและแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม เป็นการวิเคราะห์และประยุกต์ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศ และเข้าไปมีบทบาทในการตอบสนองนโยบายด้านต่างๆ เช่น การประยุกต์ใช้ด้านการเกษตร เช่น การประเมินผลผลิตข้าว การติดตามสถานการณ์เพาะปลูก การติดตาม

สถานการณ์ภัยพิบัติทั้งทางบกและทางทะเล การติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทั้งพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ชายฝั่งทะเล และการสนับสนุนภารกิจด้านความมั่นคง เป็นต้น นอกจากนี้ การที่ประเทศไทยมีระบบดาวเทียมเป็นของตนเองทำให้ประเทศไทยมีโอกาสในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ Hardware และ Software ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอวกาศ เช่น การพัฒนาจานสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณควบคุมดาวเทียม การพัฒนา Software การควบคุมดาวเทียม ร่วมกับมหาวิทยาลัยและบริษัทเอกชน รวมถึงการเป็นพื้นฐานในการร่วมมือกับประเทศอื่น ๆ เช่น แลกเปลี่ยนข้อมูลและเทคโนโลยี เป็นต้น ต่อมา เมื่อวันที่ ๑๔ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๐ คณะรัฐมนตรีได้มีมติให้ สทอภ. จัดทำ “โครงการระบบดาวเทียมสำรวจเพื่อการพัฒนา หรือ THEOS-2” ขึ้น เพื่อเป็นการพัฒนาระบบข้อมูลภูมิสารสนเทศ และเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2561 คณะรัฐมนตรีได้มีมติอนุมัติโครงการฯ ระหว่างรัฐบาลไทยและรัฐบาลฝรั่งเศสในวงเงิน 7,800 ล้านบาท เพื่อจัดหาดาวเทียม และระบบภูมิสารสนเทศ THEOS-2 ทดแทน THEOS-1 ที่จะหมดอายุลง สำหรับการใช้เอกสารข่ายงานดาวเทียมของ THEOS-2 นั้น เนื่องจาก เป็นดาวเทียมวงโคจรไม่ประจำที่ (Non Geostationary Earths orbit: NGSO) จึงไม่ยุ่งยากเหมือนกับดาวเทียมสื่อสารที่เป็นวงโคจรประจำที่ (GEO) (ทวีวุฒิ พงศ์พิพัฒน์, 2562)

“โครงการระบบดาวเทียมสำรวจเพื่อการพัฒนา หรือ THEOS-2” ไม่ใช่แค่การจัดหาดาวเทียมแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเป็นการพัฒนาต่อยอดโครงสร้างพื้นฐานให้กับหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อการปฏิรูประบบตัดสินใจและบริหารเชิงพื้นที่ของประเทศ ซึ่งถือเป็นยุทธศาสตร์สำคัญในการพัฒนาประเทศ ที่จะช่วยพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพิ่มขีดความสามารถทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมให้กับประเทศ สิ่งสำคัญอันหนึ่งสำหรับการดำเนินโครงการ คือ การสร้างดาวเทียม และระบบภาคพื้นดิน เพื่อเป็นการรองรับดาวเทียมจำนวน 2 ดวงที่จะได้จากการดำเนินโครงการนี้ “ดาวเทียมดวงที่ 1” เรียกว่า “ดาวเทียมหลัก” (main satellite) เป็นดาวเทียมที่สามารถถ่ายภาพรายละเอียดสูง 50 เซนติเมตร เป็นดาวเทียมปฏิบัติการ เพื่อการใช้งานด้านการติดตามพื้นที่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ งานด้านความมั่นคง และการบริหารจัดการเหตุการณ์ภัยพิบัติต่าง ๆ ในภาวะวิกฤต ดาวเทียมดวงนี้สร้างโดยบริษัท AIRBUS ดังแสดงองค์ประกอบดาวเทียมในรูปที่ 2.21 สำหรับ “ดาวเทียมดวงที่ 2” มีชื่อเรียกว่า “ดาวเทียมเล็ก” (small satellite หรือ SmallSAT) เป็นดาวเทียมดวงเล็กที่มีขนาด

100 กิโลกรัม เป็นดาวเทียมที่ใช้งานได้เหมือนดาวเทียมหลัก แต่มีรายละเอียดอยู่ที่ 2 เมตร และยังสามารถติดตามอากาศยานและเรือ (ที่มีระบบติดตาม) ได้ เมื่ออยู่ในทัศนวิสัย ดาวเทียมเล็กถือเป็นดาวเทียมที่จะพัฒนาขีดความสามารถของประเทศไทยในการสร้างดาวเทียมด้วยตนเอง และสร้างพื้นฐานของอุตสาหกรรมอวกาศของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาชิ้นส่วนดาวเทียม และที่สำคัญไปกว่านั้น คือเพื่อให้บุคลากรของไทยมีความรู้ความสามารถในการออกแบบ พัฒนา ประกอบ ทดสอบ ดาวเทียมได้เอง ทั้งนี้โครงการฯ มีแผนจะส่งดาวเทียมมาประกอบและทดสอบ ณ อาคาร AIT ในประเทศไทยด้วย ช่วงปลายปี 2564 เพื่อสร้างความเชื่อมั่น ทั้งศักยภาพและความพร้อมในการพัฒนาดาวเทียมดวงต่อไปในประเทศไทย (เชาวลิต ศิลปทอง, 2563)

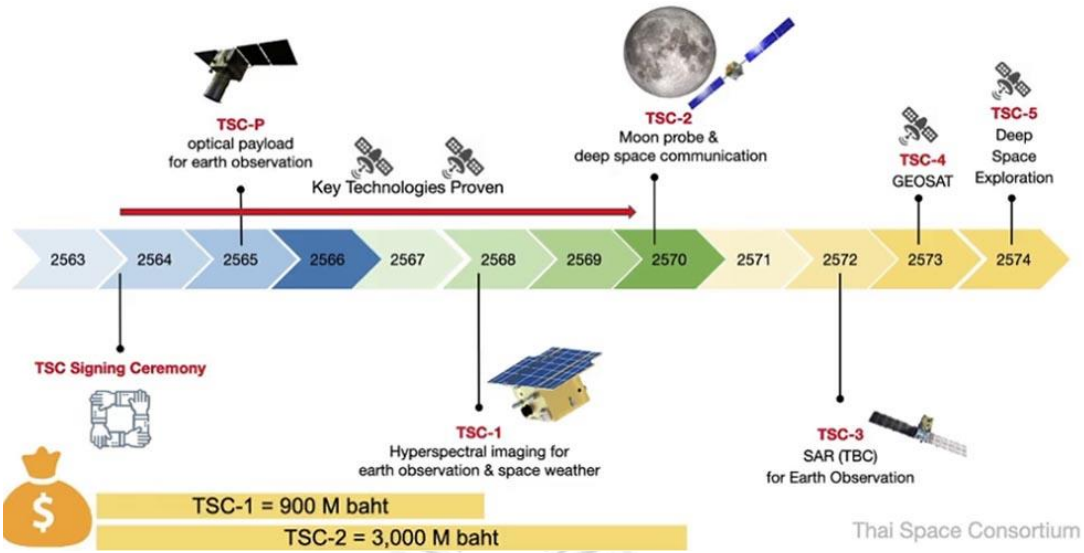


รูปที่ 2.21 องค์ประกอบของดาวเทียมดวงหลัก THEOS-2

(สทอภ., 2562)

“โครงการ นภา-1” กองทัพอากาศ นำโดย ศูนย์ปฏิบัติการทางอวกาศกองทัพอากาศ “นภา-1” ซึ่งเป็นดาวเทียมเพื่อความมั่นคงดวงแรกของกองทัพอากาศไทย ถูกนำส่งจากฐานยิงจรวด Guiana Space Center เมือง French Guiana ของฝรั่งเศส ทั้งนี้ สำหรับดาวเทียมนภา-1 เป็นดาวเทียมขนาดเล็กหรือ Nanosatellite ซึ่งจะโคจรในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ที่มีความสูงประมาณ 500 กิโลเมตร มีภารกิจในการลาดตระเวนและเฝ้าตรวจทางอวกาศสำหรับการตรวจการณ์พื้นที่ในประเทศที่จำเป็นต่อการปฏิบัติภารกิจด้านความมั่นคง โดยการยิงดาวเทียมนภา-1 ในครั้งนี้ ทำให้กองทัพอากาศ มีครบทั้ง 3 โดเมน (air domain, cyber domain และ space domain) สนับสนุนการขับเคลื่อนกองทัพอากาศ ตามยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี นอกจากนี้ กองทัพอากาศยังสามารถใช้ขีดความสามารถของดาวเทียมในการ สนับสนุนงานด้านบรรเทาสาธารณภัยของประเทศ เช่น การสนับสนุนข้อมูลพื้นที่จุดความร้อนเพื่อการดับไฟป่า และการสนับสนุนข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการน้ำปัญหาน้ำท่วมน้ำแล้งในระดับประเทศ ซึ่งเป็นก้าวแรกที่สำคัญของการลาดตระเวนและเฝ้าตรวจทางอวกาศ เพื่อความมั่นคงและการพัฒนาประเทศในอนาคต (สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, 2563)

“โครงการภาคีความร่วมมือด้านอวกาศไทย หรือ Thai Space Consortium” โดยความร่วมมือของ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ร่วมกันออกแบบ พัฒนาและสร้างดาวเทียมวิจัยวิทยาศาสตร์ โดยทีมวิศวกรไทย ยกระดับขีดความสามารถของบุคลากรด้านการพัฒนาเทคโนโลยีและวิศวกรรมขั้นสูง นำความรู้ความสามารถของแต่ละหน่วยงานภาคีมาบูรณาการร่วมกันเพื่อวางโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยวิทยาศาสตร์อวกาศของประเทศ ต่อยอดไปสู่การสร้างนวัตกรรมเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม พร้อมวางรากฐานให้ประเทศไทยก้าวไปสู่วงการอุตสาหกรรมเทคโนโลยีอวกาศ (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ, 2564a) โดยมีโปรแกรมและไทม์ไลน์ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 โปรแกรมและไทม์ไลน์ในการพัฒนาดาวเทียม TSC
(ณัฐนนท์ ดวงสูงเนิน, 2564 อ้างถึงการนำเสนอใน Facebook Live session showing the milestone and budget of the program. Source – NARIT, 2564)

ทั้งนี้ โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1) ดาวเทียม TSC-P หรือ Thai Space Consortium Pathfinder จะเป็นดาวเทียมดวงแรกที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ คาดว่าจะพัฒนาและนำส่งขึ้นสู่วงโคจรไม่เกินปี 2565
2) ดาวเทียม TSC-1 จะเป็นดาวเทียมดวงแรกที่ติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพ สำหรับการภาพถ่ายรายละเอียดสูงของดาวเทียมวงโคจรต่ำ หรือ Low Earth Orbit: LEO คาดว่าจะนำส่งขึ้นสู่วงโคจรไม่เกินปี 2568
3) ดาวเทียม TSC-2 จะเป็น “ภารกิจพิชิตดวงจันทร์” โดยคาดว่าจะนำส่งจรวดเข้าสู่วงโคจรของดวงจันทร์ ไม่เกินปี 2570 นอกจากนี้ ยังจะมีการทดลองอื่น ๆ อีกมากมายด้วย อย่างไรก็ตาม ภาคีความร่วมมือฯ ดังกล่าว มีแผนที่จะพัฒนาและปล่อยดาวเทียม TSC-3, 4, และ 5 เข้าสู่วงโคจรในอนาคต และยังไม่มีรายละเอียดที่แน่ชัด (ณัฐนนท์ ดวงสูงเนิน, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

“โครงการ BCC-Sat 1” โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนได้ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีอวกาศนานาชาติเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ (สทอศ.) หรือ International Institute of Space Technology for Economic Development (INSTED) จัดหลักสูตรสอนและส่งเสริมให้กลุ่มนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียน สามารถวางข้อกำหนดของการใช้งาน ออกแบบ พัฒนา และสร้างดาวเทียม CubeSat ด้วยตนเองจนสำเร็จ เป็นดาวเทียม CubeSat ขนาด 1U ในการถ่ายภาพสำรวจความหนาแน่นของระดับสารคลอโรฟิลล์บนผิวโลก ใช้เวลาดำเนินการทั้งสิ้นตั้งแต่อบรมโดย INSTED ให้กับกลุ่มนักเรียนในปี 2561 เพียง 2 ปี และ CubeSat ของโรงเรียน ก็ได้รับการส่งเข้าสู่วงโคจรภายในปี 2563 (ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, 2563) ดังรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.23 โครงการ BCC-Sat 1 ดาวเทียม CubeSat ขนาด 1U
(ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, 2563 อ้างถึง เอกสารแนะนำสถาบันเทคโนโลยีอวกาศนานาชาติเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ (สทอศ.), โดยพงศธร สายสุจริต, 2563)

“โครงการดาวเทียม CubeSat ขนาด 3U” โดยกองทัพอากาศ ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีอวกาศนานาชาติเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ (สทอศ.) ในการออกแบบ ดาวเทียม CubeSat ขนาด 3U ในการติดต่อสื่อสาร เพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ IOT ภาคพื้นดิน ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการพัฒนาและสร้างขึ้น

2.1.5 แนวคิดการจัดการและติดตามกับวัตถุอวกาศในห้วงอวกาศ

ในปัจจุบัน หลายหน่วยงานได้มีการวางแผนเพื่อจัดการกับปัญหาขยะอวกาศ ตัวอย่างเช่น

“องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ หรือ NASA” วางแผนโครงการที่เรียกว่า “Space Debris Elimination” โดยการยิงก๊าซไปที่ขยะอวกาศเหล่านี้ เพื่อให้หลุดจากวงโคจร ขยะอวกาศจะตกกลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก และเกิดการเผาไหม้ก่อนตกลงสู่พื้นดิน (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)

“ยุโรป” มีแนวคิดที่จะส่งดาวเทียมที่ติดตาข่ายขนาดยักษ์ เพื่อดักขยะอวกาศและนำกลับลงมายังโลก (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)

“ประเทศจีน” เสนอให้ใช้เลเซอร์ขนาดใหญ่ที่จะทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้มีขนาดเล็กลง เพื่อป้องกันการชนกับดาวเทียมที่ยังใช้งานอยู่ (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)

“ประเทศญี่ปุ่น” มีความคิดที่จะใช้ตาข่ายไฟฟ้า เพื่อดักเศษซากและนำกลับลงมายังโลก (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)

“ประเทศออสเตรีย” ทีมนักวิทยาศาสตร์จากสถาบันวิจัยอวกาศแห่งออสเตรีย ออกมาให้ข่าวชวนดีใจว่า พวกเขาค้นพบวิธีตรวจจับเศษซากขยะอวกาศแม้จะเป็นเวลากลางวันก็ยังตรวจจับได้ ซึ่งอาจช่วยให้ดาวเทียมสามารถหลบเลี่ยงกองขยะที่โคจรรอบโลกเหล่านี้ ทีมเผยว่าอาศัยการใช้เลเซอร์ที่เชื่อว่ามีความเป็นไปได้ในการตรวจจับซากขยะจากพื้นดิน แต่จนถึงทุกวันนี้วิธีใช้งานแสงเลเซอร์นั้นทำได้เพียงไม่กี่ชั่วโมงในช่วงเวลาพลบค่ำ ทีมจึงคิดว่าน่าจะขยายวิธีมองเห็นขยะอวกาศโดยใช้การผสมผสานระหว่างเครื่องขยายมุมมองและตัวกรองแสง เพื่อเพิ่มความคมชัดของวัตถุที่ปรากฏบนท้องฟ้าในตอนกลางวัน นอกจากนี้ พวกเขายังพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ตรวจจับเป้าหมายแบบเรียลไทม์หรือตามเวลาจริง ที่จะทำนายอย่างแม่นยำว่าเมื่อใดที่วัตถุบางอย่างจะสังเกตได้ โดยรวมแล้วเทคนิคที่คิดค้นขึ้นใหม่นี้สามารถเพิ่มเวลาในการสังเกตการณ์กองขยะนอกโลกได้ถึง 6-22 ชั่วโมงต่อวัน เชื่อว่านี่อาจเป็นจุดเริ่มต้นในการเพิ่มกำลังการผลิตของเลเซอร์เพื่อใช้ตรวจจับขยะอวกาศในอนาคตอันใกล้ และอาจมีส่วนสำคัญในการปรับปรุงการทำนายวงโคจร โดยเฉพาะการเตือนการชน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อภารกิจต่าง ๆ ในอวกาศ (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)

“ประเทศไทย” โดยกองทัพอากาศมีความร่วมมือกับสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ NARIT ก่อสร้างหอดูดาว ในพื้นที่ของสถานีรายงานดอยอินทนนท์สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงพระราชทานนามว่า “หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ” เมื่อวันที่ 27 เมษายน 2558 หอดูดาวมีภารกิจหลัก 2 ประการ คือ การติดตามดาวเทียม และขยะอวกาศ (space debris) และการติดตามวัตถุ ใกล้โลก (Near Earth Objects: NEOs) ที่มีโอกาสเสี่ยงในการพุ่งชนโลก เพื่อพัฒนาขีดความสามารถในการเฝ้าระวังทางอวกาศ (Space Situation Awareness: SSA) สามารถตรวจพบสิ่งผิดปกติในห้วงอวกาศเหนือพื้นที่ประเทศไทย ให้สามารถระวังป้องกัน ทักท้วง และแก้ไขสิ่งผิดปกติหรือภัยคุกคามได้อย่างเหมาะสม ปัจจุบันกองทัพอากาศอยู่ในระหว่างก่อสร้างหอดูดาวแห่งใหม่ ณ สถานีรายงานเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานีและมีแผนนำส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่วงโคจรเพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถด้านกิจการอวกาศ ของกองทัพอากาศ คือ “ดาวเทียมนภา” (วัฐพล เมฆดี, 2562)

นอกจากนี้ มีการใช้งานกล้องโทรทรรศน์แบบ Passive ที่อาศัยหลักการสะท้อนของแสงจากจุดกำเนิด มีแนวโน้มการใช้งานที่สูงขึ้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินการต่ำกว่า อีกทั้งยังมีสมรรถนะในการตรวจวัดขยะอากาศที่มีขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถึงกระนั้น ปัญหาที่พบโดยทั่วไปของระบบตรวจวัดระยะไกลแบบ Passive ก็คือระบบมักจะไม่คงทนต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปปัญหานี้ มักจะใช้เทคนิคในการควบคุมกล้องโทรทรรศน์ร่วมกับทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัลในการเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับและติดตามวัตถุ (พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ, 2561)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทั้งนี้ ขยะอวกาศเหล่านี้ จะยังคงอยู่ต่อไปอีกหลายร้อยหลายพันปี หากไม่มีการเก็บกวาดทำความสะอาดครั้งใหญ่ ซึ่งการจัดการกับปัญหาดังกล่าวนั้น เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ต้องใช้งบประมาณสูง อย่างไรก็ตาม ยังคงมีปัญหาเรื่องการเป็นผู้แบกรับค่าใช้จ่ายในการจัดการกับปัญหาขยะอวกาศ ซึ่งในปี 1959 องค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ได้จัดตั้งคณะกรรมการ เพื่อการใช้พื้นที่อวกาศอย่างสันติ (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS) โดยมีชาติสมาชิกทั้งหมด 85 ชาติเข้าร่วม รวมทั้งประเทศไทยก็เป็นสมาชิก แต่จะเป็นเรื่องยากในการเจรจาหว่านล้อมให้ชาติอื่น ๆ เข้าร่วมรับภาระค่าใช้จ่ายในส่วนนี้อย่างจริงจัง และหากปล่อยไว้นานก็จะยิ่งเป็นเรื่องยุ่งยาก เพราะขยะอวกาศมักแตกตัวออกเป็นชิ้นส่วนที่เล็กลงเรื่อย ๆ ทำให้ตรวจจับการ

มองเห็นได้ยาก สิ่งที่บรรเทาและสามารถทำได้ทุกวันนี้ คือ การเฝ้าระวังทิศทางการโคจรของขยะอวกาศ ไม่ให้ชนเข้ากับดาวเทียมหรือยานอวกาศต่าง ๆ (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)

2.2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจอวกาศ

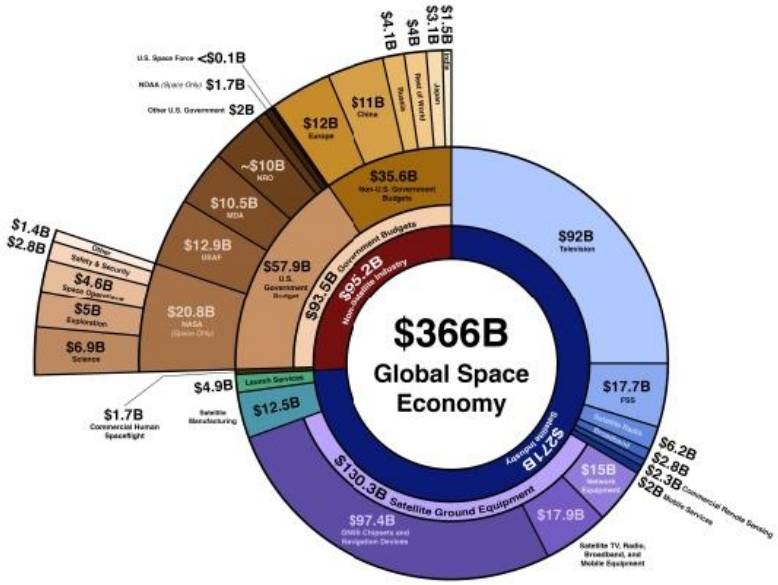
แนวโน้มการเติบโตของเศรษฐกิจอวกาศใหม่ หรือ New Space Economy ที่มาจากบริษัทเอกชนเข้ามาลงทุนในภาคอุตสาหกรรมอวกาศ อย่าง SpaceX หรือ Blue Origin (Space 2.0) ซึ่งแตกต่างจากในอดีตที่การลงทุนด้านนี้ ส่วนมากมาจากงบประมาณของภาครัฐ อย่างเช่น องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ หรือ NASA (ESA, 2563) เมื่อพิจารณาบริบทของเศรษฐกิจอวกาศ หรือ New Space Economy สามารถพิจารณาได้ 2 มุมมอง ได้แก่ มุมมองระดับโลกและมุมมองระดับประเทศ ดังนี้

2.2.1 บริบทของเศรษฐกิจอวกาศ หรือ New Space Economy ในระดับโลก

ท่ามกลางการแข่งขันทางธุรกิจเข้มข้นในปัจจุบัน รวมถึงสภาวะความผันผวนทางการเมือง สังคม สิ่งแวดล้อม และ โรคระบาดที่เป็นภัยคุกคามต่อทุกคนบนโลกนี้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการขับเคลื่อนสังคมและพัฒนาเศรษฐกิจ โดยที่เทคโนโลยีอวกาศนับเป็นความท้าทายในการก้าวเข้าสู่ยุคเศรษฐกิจใหม่ (New Economy) ผ่านนวัตกรรมและการค้นพบใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นจากทั่วทุกมุมโลก ทั้งนี้ มนุษย์กว่า 560 คน ได้ขึ้นไปสัมผัสอวกาศมาแล้ว มีการใช้งบประมาณกว่า 1.6 หมื่นล้านเหรียญสหรัฐไปกับงานวิจัยและสำรวจทางอวกาศ โดยนักลงทุนที่รวยที่สุดในโลกถึง 16 คน ใช้เงินไปกับโครงการวิจัยทางอวกาศ และคาดว่าในอนาคตอีก 30 ปี ต่อจากนี้ องค์ความรู้ใหม่ ๆ มากมายจะถูกสำรวจวิจัยค้นพบเพื่อยังประโยชน์แก่มวลมนุษยชาติ รวมไปถึงโครงการต่าง ๆ ที่มีความพยายามในการผลักดันให้เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ‘Mission to Mars’ การเดินทางของมนุษย์ไปยังดาวอังคารที่คาดว่าจะสามารถเป็นไปได้ภายในศตวรรษที่ 30 และการค้นพบและใช้ประโยชน์จากแถบดาวเคราะห์น้อย (Asteroid Belt) ที่คาดว่าจะสร้างมูลค่าได้อย่างมหาศาลเรียกได้ว่าทิศทางการค้นพบวิทยาการใหม่ ๆ ของมนุษยชาตินั้น อยู่ไม่ไกลเกินเอื้อม จากการคาดการณ์ไว้ว่า “อุตสาหกรรมอวกาศ” จะเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจโลกและเศรษฐกิจภายในประเทศ ซึ่งนานาประเทศได้มีนโยบายที่ชัดเจนในการพัฒนาอุตสาหกรรมอวกาศทุกห่วงโซ่คุณค่า เพื่อมุ่งหวังให้ประเทศของตน เป็นประเทศมหาอำนาจทางเทคโนโลยีและทางเศรษฐกิจ โดยที่เศรษฐกิจอวกาศ หรือ Space Economy ถือได้ว่าเป็นทิศทางเศรษฐกิจใหม่ของโลกที่มีมูลค่าสูง ซึ่งในปี 2561 ได้มีการประเมินมูลค่าของเศรษฐกิจอวกาศไว้สูงถึง 366 พันล้านเหรียญสหรัฐ หรือ ประมาณ 11 ล้านล้านบาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (**Spaceport)** ในประเทศไทย, 2564)



รูปที่ 2.24 มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของอุตสาหกรรมอวกาศในระดับโลก ปี 2561 (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564 อ้างถึง Bryce space and Technology)

“เศรษฐกิจอวกาศใหม่ หรือ New Space Economy” ระดับโลกในปัจจุบัน เป็นผลมาจากการดำเนินกิจการอวกาศของหลาย ๆ ประเทศชั้นนำด้านอวกาศอย่างต่อเนื่อง อาทิ สหรัฐอเมริกา ที่ได้ดำเนินกิจการด้านอวกาศอย่างจริงจังมาตั้งแต่ ปี 2505 ในสมัยของประธานาธิบดี จอห์น เอฟ. เคนเนดี (John F. Kennedy) ที่มีนโยบายในการส่งคนไปเยือนดวงจันทร์ ด้วยโครงการอะพอลโล่ (Apollo) และทำสำเร็จได้ในปี 2512 นั้น แม้ในช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นไปเพื่อการแข่งขันการเป็นผู้นำด้านอวกาศกับรัสเซีย แต่เทคโนโลยีที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดการพัฒนาอย่างมากมายจนถึงปัจจุบัน และสหรัฐอเมริกายังคงมุ่งมั่นที่จะปฏิบัติภารกิจในอวกาศอย่างต่อเนื่อง โดยปัจจุบันได้ดำเนินการส่งคนไปสถานีอวกาศนานาชาติ International Space Station (ISS) ด้วยการว่าจ้างบริษัทเอกชน ชื่อ สเปซ เอ็กซ์ (SpaceX) ให้ดำเนินการ 100% เต็มรูปแบบ เพื่อการขยายธุรกิจและอุตสาหกรรมอวกาศไปสู่ภาคเอกชนและส่งเสริมให้ภาคเอกชนมีรายได้จากการขายเทคโนโลยีให้กับทั่วโลก นอกจากนี้ สหรัฐอเมริกาได้ลงทุนในภารกิจการสำรวจดวงจันทร์อีกครั้ง ที่ครั้งนี้มีเป้าหมายการกลับไปดวงจันทร์ในปี 2567 เพื่อการตั้งฐานการวิจัยบนดวงจันทร์และเป็นฐานในการไปสำรวจดาวอังคารและดาวดวงอื่น ๆ ต่อไปด้วย

โครงการระดับโลก ชื่อ อาร์ทิมิส (Artemis Program) โดยโปรแกรมอาร์ทิมิส หรือ Artemis Program ของ NASA มีแผนที่จะพัฒนาสร้างสถานีอวกาศ เพื่อโคจรรอบดวงจันทร์ ชื่อ Lunar Gateway ที่จะเป็นการลงทุนร่วมกันจากหลายองค์กรอวกาศ เช่น องค์การอวกาศยุโรป European Space Agency (ESA) องค์การอวกาศสหพันธรัฐรัสเซีย Russian Federal Space Agency (Roscosmos) หรือ องค์การสำรวจอวกาศญี่ปุ่น Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) เป็นต้น

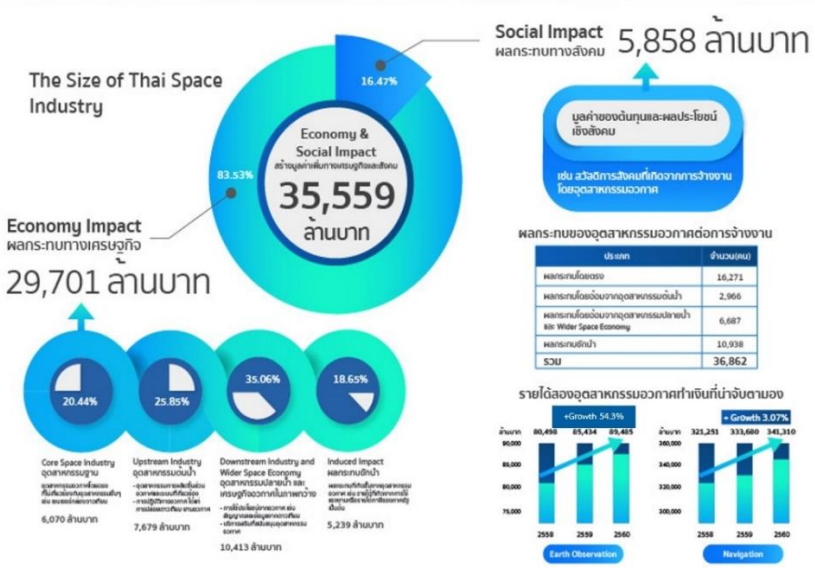
นอกจากนี้ การพัฒนาดาวเทียมเพื่อรองรับระบบอินเตอร์เน็ตให้กับโลกยุคใหม่ก็นับเป็น “เศรษฐกิจอวกาศใหม่ หรือ New Space Economy” ที่กำลังจะเกิดขึ้นด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างที่กองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา U.S. Air Force ได้ว่าจ้าง บริษัท SpaceX ในการส่งดาวเทียมอินเตอร์เน็ต จำนวน 1,440 ดวง (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564 อ้างถึง Evelyn Arevalo, 2563) เพื่อใช้ประโยชน์ภายในกองทัพ โดยปัจจุบัน บริษัท SpaceX ส่งขึ้นอวกาศไปแล้วกว่า 955 ดวง

2.2.2 บริบทของเศรษฐกิจอวกาศ หรือ New Space Economy ในประเทศไทย

ในปจจุบัน “เทคโนโลยีอวกาศ” มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอยางรวดเร็ว สงผลใหเกิดการเขาถึงและการเกิดขึ้นของกิจการดานอวกาศซึ่งมีมูลคาการลงทุนที่สูง และสงผลตอภาพรวมดานเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งสอดรับกับผลการศึกษาของ สทอภ. ร่วมกับ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ หรือ NIDA ได้มีการวิเคราะห์มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยที่จะเกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมอวกาศในปี 2561 พบว่า อุตสาหกรรมอวกาศจะทำให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ทางเศรษฐกิจและสังคมที่สูงถึงประมาณ 35,559 ล้านบาท โดยเป็นผลกระทบทางเศรษฐกิจมูลค่ากว่า 29,701 ล้านบาท ซึ่งมาจากอุตสาหกรรมฐาน อุตสาหกรรมต้นน้ำ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ อันเกิดจากการใช้ประโยชน์จากดาวเทียมสื่อสารเป็นส่วนใหญ่ อาทิ อุตสาหกรรมโทรคมนาคม อุตสาหกรรมด้านสื่อโทรทัศน์และวิทยุ กลุ่มธุรกิจด้านอินเทอร์เน็ตและการสื่อสาร การพัฒนาดาวเทียม การพัฒนาชิ้นส่วนดาวเทียม การพัฒนาระบบภาคพื้นดิน หรือการพัฒนาระบบนำส่ง เป็นต้น และผลกระทบทางสังคมซึ่งเป็นผลกระทบอื่น ๆ ที่เกิดกับความเป็นอยู่ของประชาชน อันได้แก่ สวัสดิการสังคมที่เกิดจากการมีรายได้เพิ่มขึ้นของครัวเรือน ซึ่งวัดจากค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของครัวเรือนภายใต้สภาวะที่ราคาสินค้าและบริการที่ไม่เปลี่ยนแปลงจาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

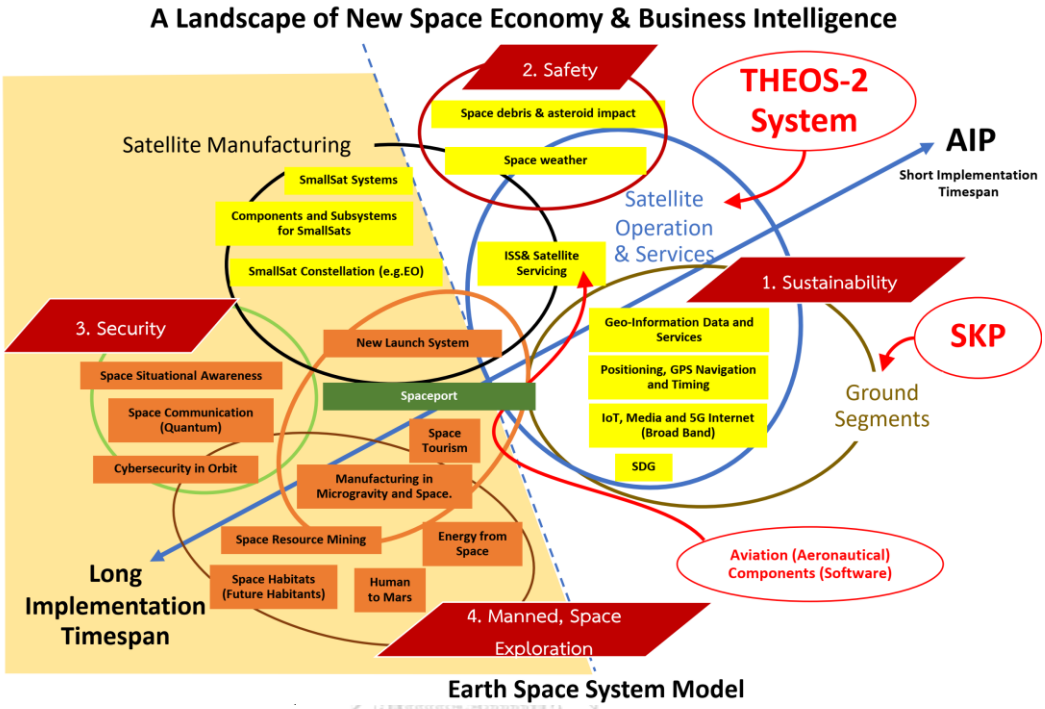
เดิม ซึ่งประเมินเป็นมูลค่าประมาณ 5,858 ล้านบาท (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564) ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศไทย ปี 2561
(คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564 อ้างถึง สทอภ. และ NIDA)

อาจกล่าวได้ว่า สำหรับประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา มีการนำเทคโนโลยีอวกาศมาใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่องโดยมุ่งเป้าไปสู่การสร้างความยั่งยืน (sustainability) ให้กับประเทศเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.26 โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้า ผลิตภัณฑ์รวมไปถึงบริการที่ใช้ข้อมูลในอุตสาหกรรมปลายน้ำ (downstream) เป็นหลัก เช่น ข้อมูลภูมิสารสนเทศ (geoinformation data and services) การนำทาง (positioning , GPS navigation) รวมถึงการสื่อสารประเภท Broadband เป็นต้น นอกจากนี้ ได้มีการใช้เทคโนโลยีอวกาศเพื่อติดตามและประเมินผลการพัฒนาตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals–SDGs) รวมถึงการให้บริการภาพถ่ายดาวเทียม (professional service provider) สถานีรับสัญญาณดาวเทียม (ground control) และการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดาวเทียม (satellite software and applications) เป็นต้น รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากอวกาศในปัจจุบัน จำเป็นต้องพิจารณาพร้อมกับการให้ความสำคัญของ “ภัยคุกคามความมั่นคงทางอวกาศ” ทั้งจากสภาพอวกาศ (space weather) ขยะอวกาศ และอุกกาบาต (debris & asteroid) ที่มีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตบนพื้นโลกเช่นเดียวกัน อันเป็นผลให้แต่ละประเทศจำเป็นต้องพัฒนาขีดความสามารถ

ด้านอวกาศให้มีศักยภาพในการปฏิบัติการด้านความมั่นคง (safety) (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564)



รูปที่ 2.26 ภูมิทัศน์ยุคเศรษฐกิจอวกาศใหม่ (New Space Economy Landscape) สำหรับประเทศไทย ปี 2561

(คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564 อ้างถึง สทอภ. ปรับปรุงจาก รศ.ดร.สมเจตน์ ทิณพงษ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สิ่งสำคัญที่จะเป็นตัวเร่งในการพัฒนาประเทศให้ก้าวเข้าสู่ “เศรษฐกิจอวกาศใหม่ หรือ New Space Economy” อย่างรวดเร็ว คือ การสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านอวกาศขนาดใหญ่ให้กับประเทศ ที่จะส่งผลทั้งระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ทั้งในด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม เศรษฐกิจและสังคม ความมั่นคงและการเป็นผู้นำด้านอวกาศในเอเชีย-แปซิฟิก และจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการก้าวเข้าสู่ “เศรษฐกิจอวกาศใหม่ หรือ New Space Economy” ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจอยู่ในปัจจุบัน อาทิ การส่งดาวเทียมอินเตอร์เน็ต (satellite internet) วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ที่จะต้องใช้ดาวเทียมขนาดเล็กจำนวนมาก เพื่อรองรับการใช้งานแบบครอบคลุมทุกพื้นที่ตลอด 24 ชั่วโมง โดยที่ดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะมีอายุในวงโคจรไม่นานอาจจะประมาณ 2 – 3 ปี จึงจำเป็นต้องมีระบบการส่งดาวเทียม (satellite launch system required) เพื่อทดแทนอยู่อย่างสม่ำเสมอ หรือการสำรวจ

ห้วงอวกาศลึกและการใช้ประโยชน์ (deep space exploration & utilization) เช่น การสำรวจดวงจันทร์เพื่อนำแร่ธาตุกลับมาศึกษาสำหรับการวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุศาสตร์อวกาศ (advance material science) เป็นต้น (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564)

ตัวอย่างเช่น บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ได้ทำความร่วมมือกับ บริษัท มิว สเปซ แอนด์ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด ที่เป็นบริษัทเอกชนในประเทศไทยและมีเจ้าของเป็นคนไทยในการทดลองส่งระบบดาวเทียม Space IDC ขึ้นทดสอบการบีบอัดข้อมูลและการประมวลผลในวงโคจรต่ำเพื่อการทำธุรกิจดาวเทียมอินเตอร์เน็ตในอนาคต โดย บริษัท ทีโอที มีเป้าหมายที่จะส่งดาวเทียมอินเตอร์เน็ตไปที่ระดับวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จำนวน 10 – 20 ดวง ซึ่งจะเริ่มต้นภายในปี พ.ศ. 2564 จำนวน 1 ดวงก่อน เป็นต้น ดังเช่นนั้น จึงเห็นได้ว่าแนวโน้มการเติบโตของ New Space Economy กำลังเกิดขึ้นทั้งจากทั่วโลกและในประเทศไทย โดยการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศหรือการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานทางด้านอวกาศ นอกจากจะมีความเกี่ยวข้องในเรื่องของเศรษฐกิจและสังคมแล้ว ยังมีความเกี่ยวข้องในเรื่องของการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายในประเทศ ความมั่นคงทางการทหาร และการแข่งขันในระดับภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิกด้วยเช่นกัน (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564)

จากการวิเคราะห์ประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา พบว่า มีการกล่าวถึงการพัฒนาอุตสาหกรรมอวกาศมาโดยตลอด และมีความพยายามที่จะขับเคลื่อนประเทศให้เกิดอุตสาหกรรมอวกาศอย่างยั่งยืนด้วยแผนและนโยบายจากหลายหน่วยงาน อาทิเช่น สทอภ. และสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ หรือ สดร. เป็นต้น แต่ที่ผ่านมา ประเทศไทยโดยรวมยังคงเป็นเพียงผู้ใช้ปลายน้ำ (downstream user) ของห่วงโซ่คุณค่าในอุตสาหกรรมอวกาศประเภทการสื่อสารเช่น โทรคมนาคม เท่านั้น ซึ่งยังไม่สามารถสร้างหรือผลิตเทคโนโลยีเองได้ จึงทำให้ยังมีความจำเป็นที่จะต้องพึ่งพาเทคโนโลยีอวกาศจากต่างประเทศเพื่อการใช้ประโยชน์จากอวกาศ มาโดยตลอด แต่ประเทศไทยในช่วงเวลาเดียวกันนั้น ภายใต้การดำเนินงานของ สทอภ. ได้ดำเนินการพัฒนาระบบดาวเทียมสำรวจโลก THEOS-2 ที่นอกจากจะเป็นการพัฒนาดาวเทียมความละเอียดสูงแล้ว ยังเป็นการสร้างความชำนาญให้บุคลากรภายในประเทศ ได้มีความสามารถในการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กผ่านโครงสร้างพื้นฐานของ สทอภ. ควบคู่ไปด้วย โดยการสร้างดาวเทียมนั้น สทอภ. ได้ส่งวิศวกรคนไทยไปเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาดาวเทียมกับบริษัท SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd.) ณ ประเทศอังกฤษ เป็นระยะเวลา 2 ปี จึงถือได้ว่าเป็นการพัฒนาบุคลากรภายในประเทศที่สำคัญทางหนึ่ง และภารกิจที่สำคัญอีกประการหนึ่งของ สทอภ. ในปัจจุบัน คือ การดำเนินการพัฒนาโมเดลการวิจัยขั้นแนวหน้าระบบโลกและอวกาศ Frontier

Research on Earth Space System (ESS) ที่จะถูกรวบรวมและจัดทำเป็น National Roadmap ให้กับประเทศต่อไป โดยส่วนหนึ่งของระบบ ESS ดังกล่าวจะเป็นการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอวกาศเพื่อเศรษฐกิจและสังคมยุคใหม่ หรือ Space for New Economy and Society ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนผ่านประเทศจากเศรษฐกิจอวกาศเดิมไปสู่ยุคเศรษฐกิจอวกาศใหม่ หรือ New Space Economy ได้ทันและทัดเทียมนานาประเทศ แสดงการเปลี่ยนผ่านของประเทศด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากผู้ใช้ปลายน้ำ (downstream user) ไปสู่ ผู้ผลิตต้นน้ำ (upstream manufacturer) (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564)

สำหรับประเทศไทยแล้วเศรษฐกิจอวกาศใหม่ที่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรมและจับต้องได้ สามารถสรุปแบบ พอสังเขปได้ตามตารางที่ 2.5 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 Possibility of the New Space Economy for Thailand

แนวโน้มเศรษฐกิจอวกาศในประเทศ	สถานการณ์ปัจจุบันในประเทศไทย	แนวทางการพัฒนาที่เป็นไปได้ของประเทศไทย
1. Space Manufacturing / Satellite Manufacturing	• บริษัทเอกชนเริ่มต้นดำเนินการพัฒนาดาวเทียม High-Throughput และ Satellite Internet ซึ่งความต้องการระบบนำส่งดาวเทียม และโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการทดสอบดาวเทียม • BOI ให้สิทธิประโยชน์สูงสุด และมีผู้ขอรับการส่งเสริมที่ได้รับสิทธิ 2-3 รายเท่านั้น	• ส่งเสริมการสร้างดาวเทียมขึ้นในประเทศไทย โดย สทอภ. ได้พัฒนาศูนย์สร้าง ประกอบ และทดสอบดาวเทียม ที่จะพร้อมใช้งานได้ในปี 2564 • รัฐสร้างความต้องการพัฒนาดาวเทียมให้ภาคเอกชนดำเนินการเต็มรูปแบบ
2. Space Transportation / Launch	• ยังไม่มีการพัฒนาในประเทศไทย • ภาครัฐโดย รมว.อว. เริ่มต้นให้การสนับสนุนการศึกษาความเป็นไปได้สำหรับประเทศไทย • ภาคเอกชนโดย บริษัท มิว สเปซ เริ่มมีแนวคิดสำหรับการส่งคนไปอวกาศ	• เป็นโครงการพัฒนาตามแผน 20 ปี ของ EECi–Space Innopolis ณ วังจันทร์วัลเลย์ จังหวัดระยอง • ศึกษากรอบแนวคิดการพัฒนาท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศ
3. Space Science and Exploration	• มีการพัฒนาในมหาวิทยาลัยบ้าง แต่ยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากเป็นศาสตร์ที่	• สทอภ. เริ่มมีการสร้างความตระหนัก และส่งบุคลากรเรียน

แนวโน้มเศรษฐกิจอวกาศในประเทศ	สถานการณ์ปัจจุบันในประเทศไทย	แนวทางการพัฒนาที่เป็นไปได้ของประเทศไทย
	ใหม่มาก • รัฐให้การสนับสนุนการทดลองในอวกาศแต่ยังไม่มากเท่าที่ควร	ต่างประเทศในสาขาดังกล่าว แต่ยังไม่มีผู้ประกอบการในประเทศไทย
4. Broadcasting	• มีการดำเนินการในประเทศไทยมาแล้วไม่ต่ำกว่า 40 ปี และมีการให้สัมปทานแก่ผู้ประกอบการเอกชน	• รัฐบาลส่งเสริมให้เอกชนดำเนินกิจการเอง โดยรัฐบาลเป็นผู้ดูแลการให้สัมปทานคลื่นความถี่ • รัฐและเอกชนร่วมลงทุนในการพัฒนาดาวเทียมสื่อสารแบบ High Throughput Satellite (HTS)
5. Meteorology	• ใช้ข้อมูลดาวเทียมการพยากรณ์อากาศที่เป็นข้อมูลฟรีจากต่างประเทศ	• ไม่มีแนวทางการมีดาวเทียมพยากรณ์อากาศเป็นของประเทศ แต่ต้องเน้นการพัฒนา algorithm ในการพยากรณ์ให้มีความแม่นยำ
6. Communication / Internet broadband	• มีการดำเนินการในประเทศไทยโดยผู้ประกอบการเอกชน	• รัฐบาลส่งเสริมให้เอกชนดำเนินกิจการเอง โดยรัฐบาลเป็นผู้ดูแลการให้สัมปทานคลื่นความถี่
7. Position / Navigation	• ผู้ประกอบการเอกชนในไทยสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมระบุตำแหน่งได้ฟรี และมีการพัฒนา Application การใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะด้านการคมนาคมขนส่ง	• สนับสนุนให้เกิดการใช้ข้อมูลดาวเทียมระบุตำแหน่งในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น การเกษตร การก่อสร้าง การบิน การทำแผนที่สมันใหม่สำหรับรถยนต์ไร้คนขับ ฯลฯ
8. Earth observation and Data analytics	• มีการใช้ข้อมูลกันอย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่เป็นหน่วยงานราชการเพื่อกำหนดนโยบายและแปลผลข้อมูลให้แก่ประชาชน • สทอภ. เป็นหน่วยงานรัฐบาลที่รับผิดชอบและมีดาวเทียมสำรวจ	• พัฒนาการใช้งานข้อมูลดาวเทียม Earth observation ให้เป็นแบบ intelligence • ผลักดันให้รัฐจ้างเอกชนไทยเป็นผู้สร้างดาวเทียมสำรวจเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แนวโน้มเศรษฐกิจอวกาศในประเทศ	สถานการณ์ปัจจุบันในประเทศไทย	แนวทางการพัฒนาที่เป็นไปได้ของประเทศไทย
	ทรัพยากรเป็นของตัวเอง	
9. Space Operation	• บ.ไทยคม และ ผู้ประกอบการด้านโทรคมนาคมมีสถานีรับสัญญาณดาวเทียม • สทอภ. และหน่วยงานภาครัฐ เช่น กรมอุตุฯ มีสถานีรับสัญญาณดาวเทียม	• รัฐลงทุนในการพัฒนาจานรับสัญญาณภายในประเทศ • สนับสนุนให้ต่างชาติลงทุนสร้างสถานีรับสัญญาณดาวเทียมในประเทศไทย

(คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564)

ทั้งนี้ ในการขับเคลื่อนประเทศให้เกิดอุตสาหกรรมอวกาศ เพื่อพัฒนาประเทศเข้าสู่เศรษฐกิจและสังคมยุคใหม่ จำเป็นต้องมีแผนและนโยบายจากรัฐบาลอย่างต่อเนื่อง โดยการลงทุนในระยะยาว (long implementation timespan) เพื่อมุ่งสู่เศรษฐกิจอวกาศใหม่ หรือ New Space Economy ที่มีพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศขั้นสูงเพื่อการสำรวจอวกาศ การใช้ชีวิตในอวกาศ (manned, space exploration) รวมทั้งการมีส่วนร่วมของภาคเอกชน บริษัท startup เพื่อให้เกิดธุรกิจใหม่จากการดำเนินโครงการขนาดใหญ่ของภาครัฐ เช่น การสำรวจดวงจันทร์และดาวอังคาร (human to moon and mars) การสร้างที่อยู่อาศัยบนดาวเคราะห์ (space habitats) เพื่อทำฐานการสำรวจหรือจัดตั้งอาณานิคมอวกาศ การทำเหมืองแร่อวกาศ (space mining) และ การท่องเที่ยวในอวกาศ (space tourism) เป็นต้น (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (**Spaceport)** ในประเทศไทย, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 แนวคิดการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

2.3.1 กระบวนการนวัตกรรมเชิงพาณิชย์

“นวัตกรรม” ในความหมายทั่วไป หมายถึง การสร้างสรรค์ของใหม่ที่ได้รับความนิยมยอมรับจากบุคคลทั่วไปว่าเป็นสิ่งที่ดีกว่า มีคุณประโยชน์มากกว่าของเดิมที่เคยเห็นหรือมีใช้กันอยู่แล้ว ในทางธุรกิจ การสร้างนวัตกรรมขึ้นมาได้สำเร็จ จะสร้างมูลค่าเพิ่ม ผลกำไร และขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับธุรกิจได้เหนือกว่าคู่แข่ง นวัตกรรมที่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางธุรกิจให้กับเจ้าของผู้สร้างนวัตกรรมขึ้น และจะถูกเรียกโดยเฉพาะว่า “นวัตกรรมเชิงพาณิชย์”

การสร้างนวัตกรรม ประกอบด้วยกระบวนการสำคัญ 2 ขั้นตอน ซึ่งได้แก่ ขั้นตอนการสร้าง และขั้นตอนการทำให้เกิดการยอมรับของผู้คน จนกระทั่งกลายมาเป็นลูกค้าหรือผู้บริโภคที่มีความต้องการใช้นวัตกรรมที่ถูกสร้างขึ้นมานั้น ปัจจัยแห่งความสำเร็จที่สำคัญในการทำให้การแพร่กระจายของนวัตกรรมออกไปสู่ตลาดได้ประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับ

1) ลักษณะของนวัตกรรมที่นำเสนอออกสู่ตลาด จะต้องแสดงคุณลักษณะที่เหนือกว่าสิ่งที่มีอยู่ในปัจจุบันอย่างเห็นได้ชัด ไม่ยุ่งยากและซับซ้อนในการใช้งาน หรือสามารถทำความคุ้นเคยกับการใช้งานได้ง่าย
2) อัตราเร็วของการแพร่กระจายหรือการยอมรับนวัตกรรมผ่านกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งจะแบ่งกลุ่มเป้าหมายในการยอมรับนวัตกรรมออกเป็นกลุ่มตามลักษณะของความยากง่ายในการยอมรับนวัตกรรม เช่น กลุ่มล้ำสมัย จะยอมรับนวัตกรรมใหม่ได้รวดเร็วที่สุด ทำให้เกิดกลุ่มนำสมัย กลุ่มทันสมัย กลุ่มตามสมัย และกลุ่มล้าสมัย ตามมาตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ประโยชน์เชิงพาณิชย์จากการสร้างสรรค์นวัตกรรม แม้จะให้ผลตอบแทนสูงแก่ธุรกิจ แต่ก็ต้องยอมรับว่ามีมิติของความเสี่ยงที่นวัตกรรมจะไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดอยู่ด้วย (เรวัต ตันตยานนท์, 2563)

2.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility study)

การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility study) คือ กระบวนการรวบรวมข้อมูลรอบด้านและนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อประกอบการตัดสินใจก่อนการลงทุนหรือเริ่มต้นธุรกิจใหม่ การศึกษาความเป็นไปได้มักจะจัดทำขึ้นสำหรับการลงทุนในโครงการใหญ่ๆโดยเฉพาะโครงการอสังหาริมทรัพย์ เช่นโครงการสร้างคอนโดมิเนียม โรงแรม หมู่บ้านจัดสรร นอกจากโครงการอสังหาริมทรัพย์แล้วธุรกิจที่ต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมากก็ต้องจัดทำด้วย เช่น ธุรกิจขุดเจาะน้ำมัน สร้างโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โรงงานผลิตไฟฟ้าและพลังงาน ซึ่งโครงการระดับใหญ่ ๆ เหล่านี้มักต้องมีการป้องกันความเสี่ยง การจัดทำการศึกษาความเป็นไปได้ก็เพื่อลดความเสี่ยงนั่นเอง เพราะการลงทุนมีความเสี่ยงทั้งสิ้นผู้ประกอบการใหม่ที่จะเริ่มธุรกิจควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ก่อนการลงทุนทุกครั้งเพราะนอกจากช่วยลดความเสี่ยงแล้วยังเป็นการวางแผนงานไป

ด้วย การศึกษาความเป็นไปได้จะต้องศึกษาให้ครบทั้ง 5 ด้านก่อน การตัดสินใจสุดท้ายที่มาจัดทำ Financial Feasibility Study ประกอบด้วย ด้านเทคนิค ด้านตลาด ด้านการเงิน ด้านการบริหารจัดการ และด้านการแข่งขัน (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2559)

นอกจากนี้ หฤทัย มีนะพันธ์ (2550) ได้ให้ความหมายไว้ว่า การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเป็นการประเมินความคุ้มค่าและความไม่คุ้มค่าของโครงการ โดยอาศัยการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนกับผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อใช้ตัดสินใจว่าโครงการที่พิจารณามีความเหมาะสมแก่การลงทุนหรือไม่ โดยไม่นำผลกระทบในอดีตที่สะสมมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ (กนกอร สุทธิวงค์, 2563)

ฐาปนา ฉิ่นไพศาล (2552) ได้ให้ความหมายไว้ว่า การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ คือ การศึกษาเพื่อประกอบการตัดสินใจในการลงทุนโดยพิจารณาผลตอบแทนการลงทุนและความเสี่ยงว่าคุ้มกับเงินที่ลงทุนหรือไม่ ผลการวิเคราะห์จะแสดงออกมาในรูปของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนก็เป็นโครงการที่ดี แต่ถ้าผลตอบแทนที่ได้ต่ำกว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนถือเป็นโครงการที่ไม่ดี ดังนั้น การวิเคราะห์โครงการจึงมีส่วนช่วยอย่างสำคัญในการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธโครงการ จากที่กล่าวถึงความหมายการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ผู้วิจัยสรุปความหมายการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ได้ว่า การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเป็นการศึกษาวิเคราะห์และจัดทำเอกสาร ประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อเป็นการแสดงถึงเหตุผลที่จะสนับสนุนถึงความเหมาะสมของโครงการสามารถนำไปสู่การปฏิบัติได้จริงให้ผลประโยชน์ตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน (กนกอร สุทธิวงค์, 2563)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)

ในการทำธุรกิจมักจะมีปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่เข้ามากระทบทั้งเชิงบวกและเชิงลบกับธุรกิจ ดังนั้น จำเป็นต้องพิจารณาก่อนจะดำเนินแผนธุรกิจใด ๆ มีทั้งปัจจัยภายในองค์กร รวมไปถึงปัจจัยภายนอก หรือเรียกว่า PESTEL Analysis หมายถึง การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อองค์กรและธุรกิจ ซึ่งสะท้อนให้เห็นทั้งอุปสรรคและโอกาสในการทำธุรกิจ ประกอบไปด้วย 6 ปัจจัย ในด้านต่าง ๆ ดังนี้ (ปรีดี นุกุลสมปรารถนา, 2563)

P: Political คือ ปัจจัยด้านการเมืองที่ส่งผลกระทบและโอกาสต่อธุรกิจ เช่น นโยบายของภาครัฐ ความมั่นคงทางการเมือง การคอรัปชันทางการเมือง นโยบายการค้าระหว่างประเทศ นโยบายภาษีต่าง ๆ กฎหมายแรงงาน ข้อจำกัดทางการค้า เป็นต้น

E: Economic คือ ปัจจัยด้านการเศรษฐกิจที่ส่งผลกระทบและโอกาสต่อธุรกิจ เช่น แนวโน้มการเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา อัตราดอกเบี้ย อัตราเงินเฟ้อ อัตราการว่างงาน เป็นต้น

S: Social ปัจจัยด้านสังคมที่ส่งผลกระทบและโอกาสต่อธุรกิจ เช่น อัตราการเติบโตของประชากร อายุเฉลี่ยของประชากร ทัศนคติต่อการทำงาน การใส่ใจในสุขภาพ ทัศนคติต่อการใช้ชีวิต วัฒนธรรม เป็นต้น

T: Technology ปัจจัยด้านเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบและโอกาสต่อธุรกิจ เช่น นวัตกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น การวิจัยและพัฒนาต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี การรับรู้ในเทคโนโลยี ระบบเทคโนโลยีอัตโนมัติ การเข้ามาของดิจิทัลและ AI เป็นต้น

E: Environment ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบและโอกาสต่อธุรกิจ เช่น สภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล สภาวะของโลก กฎระเบียบและนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม กลุ่ม NGO ต่าง ๆ เป็นต้น

L: Legal ปัจจัยด้านกฎหมายที่ส่งผลกระทบและโอกาสต่อธุรกิจ เช่น กฎหมายคุ้มครองผู้บริโภค กฎหมายลิขสิทธิ์ กฎหมายเกี่ยวกับสุขภาพและความปลอดภัย กฎหมายคุ้มครองแรงงาน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT Analysis)

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อม มีวัตถุประสงค์เพื่อการระบุถึงปัจจัยเชิงกลยุทธ์ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีสำหรับวิธีการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่เป็นที่นิยมและสะดวกที่สุด คือ การวิเคราะห์ SWOT Analysis โดยเกิดจากการเอาตัวอักษร 4 ตัวแรก มารวมกัน (โสภิดา คำย่อย, 2559 อ้างถึงพิบูล ทีปะบาล, 2549) ได้แก่

จุดแข็ง (S-Strengths) หมายถึง ปัจจัยหรือทรัพยากรที่ทำให้ได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับคู่แข่ง และเป็นสิ่งที่จำเป็นกับตลาด

จุดอ่อน (W-Weaknesses) หมายถึง ข้อจำกัด หรือการขาดประสิทธภาพในการใช้ทรัพยากร ก่อให้เกิดความเสียเปรียบเทียบกับคู่แข่ง

โอกาส (O-Opportunities) หมายถึง สถานการณ์ที่เอื้อประโยชน์ให้ซึ่งเป็นโอกาสที่ช่วยส่งเสริมการดำเนินธุรกิจ เช่น การเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์การแข่งขันหรือเทคโนโลยี

- อุปสรรค (T-Threats) หมายถึง สถานการณ์ที่ขัดขวางหรือเป็นอุปสรรค การดำเนินการของธุรกิจหรือองค์กร เช่น การเพิ่มจำนวนของคู่แข่ง การหดตัวของตลาด

ดังนั้น การวิเคราะห SWOT เพื่อใชประโยชนในการวางแผนกลยุทธที่ถูกตองเปนการพัฒนาการหาโอกาสที่ดีที่จะเอื้อประโยชนในการดำเนินกิจการ โดยตองหลีกเลี่ยงผลเสียหายที่เกิดจากสิ่งแวดลอมภายนอก โดยจะตองมีการพัฒนาทรัพยากรภายในกิจการที่มีอยูจำกัด เพื่อหาจุดเดน และพยายามลดจุดดอย เสริมสรางความแข็งแกรงทางกิจการ ภายใต โอกาสที่จะเกิดขึ้นบางครั้งการจำแนกโอกาสและอุปสรรคเปนสิ่งที่ทำไดยาก เพราะทั้งสองสิ่งนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสถานการณ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอาจทำใหสถานการณที่เคยเปนโอกาสเปลี่ยนแปลงเปนอุปสรรคได และในทางกลับกันอุปสรรคอาจเปลี่ยนแปลงเปนโอกาสไดเชนกัน ดวยเหตุนี้กิจการจึงมีความจำเปนอยางยิ่งที่จะตองปรับเปลี่ยนกลยุทธใหทันตอการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์และสภาพแวดลอม (ณัฐนพิน อิสระกาญจน์กุล, 2557)

แบบจำลองธุรกิจ (Business Model Canvas: BMC)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Business Model Canvas: BMC เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนธุรกิจซึ่งจะช่วยให้เห็นภาพ (visualizing) ได้อย่างครบถ้วนซึ่งช่วยในการกำหนดยุทธศาสตร์กลยุทธ์ประเมินความสำเร็จของแผนงานและเลือกรูปแบบธุรกิจ (business model) ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับธุรกิจ The Business Model Canvas แบ่งโครงสร้างในการวางแผนและกำหนดกลยุทธ์ออกเป็น 9 กล่อง (building block) ซึ่งทั้ง 9 ช่อง มีความเกี่ยวเนื่องกันและทำให้มองเห็นภาพรวมในธุรกิจได้ ประกอบด้วยส่วนหลักคือ ลูกค้า สินค้า/บริการของธุรกิจ โครงสร้างของธุรกิจและความอ่อนไหวทางการเงิน (กิตติชัย ชิตตระกูล, 2560) ประกอบด้วย

Customer Segments กำหนดกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการเข้าถึงการระบุ โดยกลุ่มเป้าหมายต้องเป็นหัวใจสำคัญของ Business Model จะต้องทำเงินให้ธุรกิจ การระบุกลุ่มเป้าหมายสามารถระบุได้จากความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย พฤติกรรม และคุณลักษณะอื่น ๆ

Value Proposition ระบุว่าสินค้าหรือบริการนั้น สร้างคุณค่าอย่างไรสำหรับลูกค้า จึงเป็นปัจจัยในการเลือกใช้สินค้า ผลิตภัณฑ์ หรือบริการของเราแทนที่คู่แข่ง อาจเป็นการนำเสนอนวัตกรรมหรือการนำเสนอสิ่งใหม่ที่มีการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษที่ทำให้คุณค่าเพิ่มขึ้น

Channels ช่องทางการสื่อสาร ช่องทางการจัดจำหน่าย ช่องทางการขาย ช่องทางการตลาดที่บริษัทใช้ในการสื่อสารหรือติดต่อกับลูกค้า

Customer Relationships ธุรกิจควรมีความสัมพันธ์ ซึ่งมีระดับที่ต่างกัน เช่น ระบบตอบรับอัตโนมัติ การบริการด้วยตนเอง การให้บริการโดยบุคลากร เป็นต้น

Revenue Streams หมายถึงเงินสดที่ธุรกิจได้รับหลังจากหักค่าใช้จ่าย ในแผนธุรกิจลูกค้าเปรียบเสมือนหัวใจ กระแสรายรับคือเส้นเลือดที่หล่อเลี้ยงหัวใจ ธุรกิจต้องถามตนเองว่า คุณค่าที่ลูกค้ายินดีจ่ายเงินคืออะไร

Key Resources หมายถึง ทรัพยากรที่สำคัญของบริษัทที่มีความสำคัญต่อแผนธุรกิจ ประกอบด้วย เครื่องจักร ทรัพยากรทางการเงิน ทรัพยาบุคคล ทรัพย์สินทางปัญญา เป็นต้น

Key Activities ระบุกิจกรรมสำคัญ ๆ ที่ธุรกิจต้องดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ได้แก่ การผลิต การให้บริการ สินค้าและบริการที่แก้ปัญหาให้ลูกค้า การสร้างเวทีให้ธุรกิจ และการสร้างเครือข่าย เป็นต้น

Key Partnerships ในการทำธุรกิจทุกวันนี้ การสร้างหุ้นส่วนเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น ข้อดีของการมีหุ้นส่วนทางธุรกิจคือเพื่อประโยชน์สูงสุดของธุรกิจ เพื่อลดความเสี่ยงในการดำเนินงาน และเพื่อให้ได้มาซึ่งทรัพยากรทางธุรกิจ

Cost Structure โครงสร้างด้านต้นทุน หมายถึง ต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการดำเนินการตามรูปแบบธุรกิจที่บริษัทกำหนด เช่น ต้นทุนในการสร้างคุณค่าสินค้า บริการ ต้นทุนในการรักษาลูกค้า ต้นทุนด้านทรัพยากร ต้นทุนในการบริการ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์เพื่อเลือกกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด (STP Marketing)

STP Marketing เป็นทฤษฎีเลือกกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด โดยนำการแบ่งส่วนตลาด (segmentation) การเลือกกลุ่มเป้าหมาย (targeting) และการกำหนดตำแหน่งผลิตภัณฑ์ (positioning) มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน (ธัญสินี ธรรมวิจิตเดช, 2559) สามารถสรุปได้ดังนี้

การแบ่งส่วนตลาด (market segmentation) เป็นกระบวนการที่นักการตลาดใช้ ในการเลือกกลุ่มเป้าหมาย (targeting) โดยใช้คุณลักษณะร่วมกันบางอย่างของตลาดเป็น ตัวกำหนดซึ่ง

เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งมักคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยทางประชากรศาสตร์ ภูมิศาสตร์ จิตวิทยา เช่น ทัศนคติ วัฒนธรรม ความเชื่อ รวมทั้งพฤติกรรมของลูกค้า

การเลือกกลุ่มเป้าหมาย (targeting) จะพิจารณาจากการแบ่งส่วนตลาด (market segmentation) แล้วเลือกกลุ่มเป้าหมายที่มีขนาดและศักยภาพในการเติบโตมากที่สุด ซึ่งกลุ่มเป้าหมายที่เลือกมาต้องเหมาะกับสินค้าหรือองค์กร

การกำหนดตำแหน่งผลิตภัณฑ์ (positioning) เป็นการวางตำแหน่งสินค้า สร้างการสร้างจุดขาย (unique selling point) ให้กับสินค้า ซึ่งจุดขายนี้ต้องตรงกับกลุ่มเป้าหมายหลักและต้องมีวิธีการนำเสนอที่เหมาะกับกลุ่มเป้าหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

การศึกษาวิจัย เรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์" เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) ผู้ศึกษามีวิธีดำเนินการศึกษา โดยสรุปดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 ศึกษาและค้นคว้าการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้ศึกษาได้เก็บรวบรวมข้อมูล ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) จากการค้นคว้าข้อมูลวารสารวิชาการ (journal) เอกสารที่รวบรวมบทความวิจัย (proceedings) รายงานการศึกษาค้นคว้า (report) ผ่านฐานข้อมูลทางออนไลน์ ค้นคว้าจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดเกี่ยวกับปัญหาของวัตถุอวกาศ แนวคิดเกี่ยวกับแนวโน้มของธุรกิจดาวเทียม และแนวคิดการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ประกอบด้วย ความเป็นไปได้ด้านการตลาด ความเป็นไปได้ด้าน

เทคโนโลยี ซึ่งประเด็นในการศึกษามุ่งเน้นความเป็นไปได้ของการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์

3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ เพื่อไปสู่การนำไปใช้เชิงพาณิชย์

3.2.1 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัยเชิงคุณภาพด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก

ในขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก ซึ่งมีรายละเอียดในการศึกษาดังต่อไปนี้

3.2.1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้ศึกษาได้พิจารณาผู้เข้าร่วมศึกษาจากกลุ่มผู้พัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มเจาะจง (purposive sampling) หรือเรียกว่า การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบใช้วิจารณญาณ (judgment sampling) เป็นการเลือกตัวอย่างโดยใช้ดุลพินิจและการตัดสินใจ ตลอดจนความรอบรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ (หทัยชนก พรรคเจริญ, 2555) โดยในที่นี้ จะพิจารณาผู้เข้าร่วมศึกษา โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) หน่วยงานที่พัฒนา บริษัทที่เป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม
(ลูกค้าปัจจุบัน)
2) หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต (ลูกค้าในอนาคต)

จึงพิจารณาสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 12 ราย ที่มีความเต็มใจในการเข้าร่วมการศึกษา และสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับประสบการณ์ด้านการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ อย่างละเอียด ชัดเจน เพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่ 1

หน่วยงานที่พัฒนา บริษัทที่เป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม (ลูกค้าปัจจุบัน)					
ที่	**ชื่อ-สกุล**	**ตำแหน่ง**	**หน่วยงาน**	**ประเภทหน่วยงาน**	**ประเทศ**
1	คุณบุญชุบ บุ้งทอง	ผู้อำนวยการสำนักปฏิบัติการดาวเทียม	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	ภาครัฐ	ไทย
2	คุณเอกชัย ภัคดุรงค์	ผู้ช่วยกรรมการผู้อำนวยการอาวุโสส่วนงานกิจการองค์กร	บริษัท ไทยคม จำกัด	ภาคเอกชน	ไทย
3	คุณ Chusnul Tri Judianto	Researcher of satellite communication	National Institute of Aeronautics and Space: LAPAN	ภาครัฐ	สาธารณรัฐอินโดนีเซีย
4	คุณ Owen Cha	Business Development Executive, Asia Pacific	SPIRE GLOBAL, INC.	ภาคเอกชน	สาธารณรัฐสิงคโปร์
5	คุณ Eddy Yang	Principal Engineer	National Space Organization (NSPO)	ภาครัฐ	สาธารณรัฐจีน (ไต้หวัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่ 2

หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศโดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต (ลูกค้าในอนาคต)					
ที่	**ชื่อ-สกุล**	**ตำแหน่ง**	**หน่วยงาน**	**ประเภทหน่วยงาน**	**ประเทศ**
1	ดร.พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ	Project Manager TSC-P (Path Finder)	สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)	ภาครัฐ	ไทย
2	ดร.พงศธร สายสุจริต	Project Manager TSC-1	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ภาครัฐ	ไทย
3	ดร.พรเทพ นวกิจกนก	ผู้อำนวยการสำนักโครงการธีออส-2	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	ภาครัฐ	ไทย
4	คุณลิขิต วรานนท์	Project Manager THEOS-2 SmallSAT	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	ภาครัฐ	ไทย
5	คุณณัฐพล พงษ์ไทยพัฒน์	ผู้จัดการส่วนนวัตกรรมเทคโนโลยีอวกาศ	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	ภาคเอกชน	ไทย
6	คุณบริณต หงษ์ดิลกกุล	วิศวกรด้านอวกาศ	บริษัท มิว สเปซ แอนด์ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด	ภาคเอกชน	ไทย
7	คุณ Bill Chang	CEO	HelioX Cosmos Co., Ltd.	ภาคเอกชน	สาธารณรัฐจีน (ไต้หวัน)

หมายเหตุ: ในการรายงานผลศึกษาบทต่อไป จะไม่เปิดเผยข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและเก็บข้อมูล

การสัมภาษณ์เชิงลึก จะมีการใช้แบบสัมภาษณ์ที่ได้มีการตรวจพิจารณาตามความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ อาจารย์ที่ปรึกษา ในการสัมภาษณ์ดังกล่าว จะใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) มีลักษณะผสมผสานระหว่างโครงสร้างข้อคำถามและการกำหนดประเด็นคำถามไว้ล่วงหน้า ต้องการความยืดหยุ่นของข้อประเด็นคำถามเพื่อการเก็บข้อมูล ในขณะที่ยังคงไว้ซึ่งเนื้อหาสาระที่ครอบคลุมประเด็นศึกษาอย่างครบถ้วน การสัมภาษณ์เชิงลึกเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) เพื่อศึกษาบริบทและแนวโน้มของตลาดปัจจุบันและในอนาคต ตลอดจนความต้องการ ความเสี่ยง และข้อจำกัดที่อาจค้นพบในอนาคต สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสัมภาษณ์ ได้แก่ เอกสารคำถาม และเครื่องบันทึกเสียง โดยการสัมภาษณ์ในแต่ละครั้ง ผู้ศึกษาจะดำเนินการจดบันทึกข้อมูลและบันทึกเสียงสัมภาษณ์ สำหรับแนวคำถามการสัมภาษณ์ สามารถดูได้ในภาคผนวก ก โดยมีประเด็นคำถามในภาพรวม ดังนี้

1) ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท
2) ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม
3) ข้อมูลการติดตามและแจ้งเตือนมีความเสี่ยงของการชนของเฝ้าระวังดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ
4) ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยวิธีดังต่อไปนี้

1) ถอดเทปการสัมภาษณ์
2) จัดระเบียบข้อมูลให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยการให้รหัสข้อมูล (coding)
3) จัดกลุ่มประเภทข้อมูล
4) เชื่อมโยงและตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูล

3.2.2 ความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี

โดยพิจารณาจากรายละเอียดของเทคโนโลยีของระบบจัดการจราจรอวกาศที่นำมาศึกษา จากนั้น ดำเนินการดังต่อไปนี้

3.2.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและเก็บข้อมูล

1) รวบรวมข้อมูลจากการค้นคว้าข้อมูลวารสารวิชาการ เอกสารที่รวบรวมบทความวิจัย รายงานการศึกษาค้นคว้า ฐานข้อมูลทางออนไลน์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดต่าง ๆ
2) การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง

3.2.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การประเมินด้านเทคโนโลยี (Technology Assessment)
   - การประเมินลำดับขั้นของเทคโนโลยี
   - โอกาสทางการตลาด
   - สภาพแวดล้อมของเทคโนโลยี
     - แนวทางการบรรเทาความเสี่ยงและปริมาณขยะอวกาศ
     - เทคโนโลยีในการติดตามวัตถุอวกาศใกล้โลก
   - ความพร้อมของเทคโนโลยี
     - พิจารณาจากระดับของ Technology Readiness Level หรือ TRL
2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอวกาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.3 ความเป็นไปได้ด้านการตลาด

3.2.1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและเก็บข้อมูล

1) รวบรวมข้อมูลจากการค้นคว้าข้อมูลวารสารวิชาการ เอกสารที่รวบรวมบทความวิจัย รายงานการศึกษาค้นคว้าฐานข้อมูลทางออนไลน์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดต่าง ๆ
2) การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง
3) การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย (STP marketing)
4) การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL analysis)
5) การวิเคราะห์ปัจจัยภายในและภายนอก (SWOT analysis)

6) การวิเคราะห์แบบจำลองธุรกิจ (lean canvas)

3.2.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์สถานการณ์ทางการตลาด (Marketing Situation Analysis)

2) การวิเคราะห์ลูกค้า (Customer Analysis)

3) การวิเคราะห์คู่แข่ง (Competitor Analysis)

3.3 อภิปรายผลการศึกษา

3.4 สรุปผลการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการศึกษา

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก จำนวน 12 ท่าน ประกอบด้วย กลุ่มเป้าหมายที่ 1 ได้แก่ หน่วยงานที่พัฒนา บริษัทที่เป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม (ลูกค้าปัจจุบัน) จำนวน 5 ท่าน และกลุ่มเป้าหมายที่ 2 ได้แก่ หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต (ลูกค้าในอนาคต) จำนวน 7 ท่าน และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษา เรื่อง “ความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์” โดยผู้วิจัยได้กำหนดประเด็นสำคัญไว้ 4 ประเด็น และมีผลการศึกษา ดังนี้

4.1 ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่าง ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท พบว่า ส่วนมากเป็นหน่วยงานภาครัฐ มีภารกิจในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศเป็นหลัก อาทิ การสร้างดาวเทียม การประกอบและทดสอบดาวเทียม การวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีอวกาศ เพื่อใช้ประโยชน์ภายในประเทศ นอกจากนี้ การพัฒนาและเป็นเจ้าของดาวเทียมยังส่งผลถึงความมั่นคงของประเทศในด้านการบริหารทรัพยากรธรรมชาติ การจัดการภัยพิบัติ การพยากรณ์อากาศ หรือการจัดการเขตแดน เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่า มีบริษัทเอกชนเข้ามามีบทบาทเป็นผู้เล่นหน้าใหม่ในอุตสาหกรรมอวกาศที่เข้ามาลงทุนในธุรกิจด้านอวกาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากอวกาศในเชิงพาณิชย์ อาทิ การพัฒนากลุ่มดาวเทียมขนาดเล็ก (constellation) การพัฒนาดาวเทียม Internet of Thing: IOT เพื่อประโยชน์ด้านการสื่อสารเป็นหลัก นอกจากประโยชน์ด้านการสื่อสารแล้ว ยังมีการพัฒนาดาวเทียมสำรวจโลกคล้ายกับภาครัฐ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลด้านทรัพยากรธรรมชาติภายในประเทศด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ พบว่า หน่วยงานหรือบริษัทที่เป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม ส่วนมากมีดาวเทียมที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลเฉลี่ยหน่วยงานละ 3 ดวงขึ้นไป ในขณะที่หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต มีดาวเทียมที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลเฉลี่ยหน่วยงานละ 1 ดวงขึ้นไป และส่วนมากเป็นดาวเทียมสำรวจโลกหรือสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ รองลงมาเป็นดาวเทียมสื่อสารหรือโทรคมนาคม และดาวเทียม IOT

ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่า ในหน่วยงานภาครัฐ จะมีการพัฒนาดาวเทียมเพื่อการวิจัยและดาวเทียมขนาดใหญ่ โดยมีราคาต่อดวงตั้งแต่ 120-7,000 ล้านบาท ในขณะที่ภาคเอกชนมุ่งเน้นที่การพัฒนากลุ่มดาวเทียมขนาดเล็ก (constellation) และมีราคาต่อดวงตั้งแต่ 30 ล้านขึ้นไป โดยมีแผนการพัฒนาขึ้นสู่วงโคจรในอนาคตประมาณ 5,000-1,000 ดวง โดยมีตัวอย่างบทสัมภาษณ์เชิงลึกของกลุ่มตัวอย่าง เช่น

“มีภารกิจบริหารจัดการดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติหรือดาวเทียมสำรวจโลกของประเทศ โดยดำเนินการควบคุมดาวเทียม และทำให้ดาวเทียมปฏิบัติงานได้ดี ในปัจจุบันมีดาวเทียมที่รับผิดชอบอยู่จำนวน 1 ดวง มีลักษณะของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติหรือดาวเทียมสำรวจโลก จะถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูง ซึ่งเป็นช่วงคลื่นมาประกอบกันที่ภาคพื้นดินกลายเป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม มีความละเอียดเป็นภาพขาวดำอยู่ที่ 2 เมตร ในขณะที่ภาพสี (multispectral image) อยู่ที่ 15 เมตร ประกอบด้วย 4 Bands อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีมูลค่าการสร้างประมาณ 6,000 ล้านบาท ในอนาคต แผนการพัฒนาดาวเทียมในอนาคตของหน่วยงาน จะมีการพัฒนาโครงการดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ โดยดาวเทียมดวงนี้จะไม่ใช่เป็นเพียงแค่ดาวเทียม แต่เป็นโครงสร้างพื้นฐานทางด้านอวกาศของประเทศ ประกอบด้วย ดาวเทียม 2 ดวง ได้แก่ ดาวเทียมดวงหลักหรือ Main Sat และดาวเทียมขนาดเล็กหรือ Small Sat ขนาดดาวเทียม 120 - 125 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามคาดว่าดาวเทียมดวงหลักจะปล่อยขึ้นสู่วงโคจรในเดือนมีนาคม 2565 และดาวเทียมขนาดเล็กจะส่งในช่วงกลางปี 2566”

“บริษัทมีการดำเนินธุรกิจจัดหาและให้บริการเกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม เครือข่ายภาคพื้นดิน (ground station) และการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศรวมถึงแพลตฟอร์มด้านอวกาศต่าง ๆ (space operations) ให้นำไปสู่ “Space Ecosystem” ร่วมกับภาครัฐและเอกชน โดยมีเป้าหมายในการถ่ายภาพดวงจันทร์ในอนาคต นอกจากนี้ บริษัทยังมีกลุ่มดาวเทียมขนาดใหญ่ เรียกว่า Nanosatellites เป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) สำหรับใช้ในการติดตามข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับโลกอีกด้วย ดาวเทียมของหน่วยงาน D มีภารกิจติดตามสภาพอากาศ ติดตามการกระทำผิดทางทะเล การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศของโลก (atmosphere profile) นอกจากนี้ บริษัทได้มีการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กที่พัฒนาเองกว่า 100 ดวง ขึ้นสู่วงโคจร โดยได้ออกแบบและสร้างเองที่ประเทศสหราชอาณาจักร ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2557 และพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยมีแผนการปล่อยดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรทุก ๆ ไตรมาส สำหรับแผนการพัฒนาในอนาคต อยู่ระหว่างการเตรียมนำดาวเทียมขนาดใหญ่ขึ้นสู่วงโคจร 2 ใน 3 ดวง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับไตรมาสนี้ (ไตรมาสที่ 2/2564) และจะเพิ่มโครงข่ายของดาวเทียมให้สามารถเข้าถึงได้จากทั่วโลก เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลและเป็นจุดเริ่มต้นของการเชื่อมโยงข้อมูลของโลกต่อไป”

“หน่วยงานมีภารกิจด้านการวิจัยด้านดาราศาสตร์ อวกาศ วิทยาศาสตร์บรรยากาศและสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเทคนิควิศวกรรมเพื่อสร้างนวัตกรรมด้านดาราศาสตร์ นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาโดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมต่าง ๆ มาประกอบกับเทคโนโลยีอวกาศอีกด้วย ในอนาคตมีแผนในการพัฒนาดาวเทียมในรูปแบบ Series ซึ่งมีราคาประมาณการสร้างจำนวน 120 ล้านบาท อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ซึ่งถือว่าเป็นการนำทางของแผนพัฒนาดาวเทียมในรูปแบบ Series ในอนาคต โดยหลัก ๆ แล้วจะดำเนินการสร้างในส่วนของโครงสร้างดาวเทียม ประกอบด้วย Payload และ Spacecraft (ยานอวกาศ) ซึ่งดาวเทียมก็ถือเป็นยานอวกาศหนึ่งเช่นเดียวกันที่โคจรอยู่ในวงโคจรระดับต่ำ ดาวเทียมดวงนี้มีขนาดเป็น Micro Sat หรือประมาณ 80 - 100 กิโลกรัม โดยการพัฒนาดาวเทียมในรูปแบบ Series หลัก ๆ จะมีอยู่ประมาณ 6 ดวง (ไม่ได้นับรวมดวงเล็กที่เกิดจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี) โดยจะมุ่งเน้นการสร้างและพัฒนากำลังคน และนำไปสู่เป้าหมายการไปให้ถึงดวงจันทร์ Mission ‘Moon Lunar Orbiter’”

“หน่วยงานมีภารกิจพัฒนาดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ มีหน้าที่ถ่ายภาพรายละเอียดสูงเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเป็นข้อมูลสารสนเทศใช้ประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายและภารกิจอื่น ๆ มีความละเอียดอยู่ที่ 2 เมตร สำหรับภาพขาวดำ ส่วนภาพสีมีความละเอียดอยู่ที่ 15 เมตร ปัจจุบัน มีการพัฒนาดาวเทียมจำนวน 2 ดวง ในขณะนี้อยู่ในการดำเนินงานเดือนที่ 32 จากระยะเวลาโครงการทั้งหมด 60 เดือน ประกอบด้วยดาวเทียมดวงหลัก ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติรายละเอียดสูง เป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีความละเอียดอยู่ที่ 0.5 เมตร สำหรับภาพสี หรือประมาณ 50 เซนติเมตร ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงจากต่างประเทศ ดาวเทียมขนาดเล็กดวงที่ 2 มีความละเอียดอยู่ที่ 1 เมตร มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อการสร้างบุคลากรภายในประเทศ นอกจากนี้ ไม่เพียงแต่เป็นการสร้างดาวเทียมแต่ยังมีระบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น Application ที่หลากหลาย การพัฒนาระบบภาคพื้นดิน (ground station) เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ติดต่อกับดาวเทียม รวมมูลค่าการสร้างดาวเทียม 2 ดวง Application ต่าง ๆ และระบบภาคพื้นดิน (ground station) ประมาณ 7,800 ล้านบาท”

“บริษัทมีวัตถุประสงค์ทางธุรกิจ (business objective) คือ การมุ่งมั่นพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศให้เข้าถึงได้ทุกคน นอกจากนี้ ยังมีแผนที่จะสร้างอาณานิคมบนดวงจันทร์ (colonization of the moon) ภายในปี 2571 อีกด้วย ขณะนี้ มีแผนการพัฒนากลุ่มดาวเทียม (constellation) ประมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5,000 - 10,000 ดวง ที่คาดหวังว่าจะให้บริการทุกพื้นที่ครอบคลุมทั่วโลก อย่างไรก็ตาม ในเฟสแรกจะให้บริการพื้นที่เฉพาะไปก่อน มีอายุการใช้งาน (lifetime) ประมาณ 5 ปี ดาวเทียมนี้เป็นดาวเทียมสำหรับการเก็บข้อมูล และประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงให้บริการ Data Center เหมือนบนพื้นโลก อย่างไรก็ตาม การพัฒนา Space Internet Data Center: IDC หรือศูนย์ให้บริการข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตบนอวกาศ จะทำการทดลองยิงจริงสู่ชั้นอวกาศในเร็ว ๆ นี้ โดยปกติแล้ว Data Center ที่ให้บริการบนพื้นโลกจะอยู่แถวด้านเหนือของโลก ตามพื้นที่ประเทศที่มีละติจูดสูง ซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำ เช่น บริเวณแถบอเมริกาเหนือ หรือแถบสแกนดินีเวีย เนื่องจาก Data Center เปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์ที่ต้องใช้ความเย็นมาก ๆ จึงมีแนวคิดว่า โดยหากบริษัทสามารถนำ Data Center ขึ้นไปอยู่บนอวกาศ ก็ตั้งสมมติฐานไว้ว่าจะสามารถทำงานได้ดีกว่าการตั้งอยู่บนพื้นโลกหรือภาคพื้นดิน หากถามว่า ดาวเทียมนี้ จะเก็บข้อมูลในลักษณะใด ยกตัวอย่างได้ว่า หากเราอยู่บนพื้นโลก แล้วเรียกข้อมูลจาก Google Drive บนมือถือหรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลเหล่านี้ จะถูกเรียกใช้ข้อมูลจาก Data Center ในต่างประเทศตามที่กล่าวข้างต้น แต่ในอนาคต หาก สามารถพัฒนาและนำส่ง Data Center ขึ้นไปยังอวกาศได้ จะสามารถเรียกข้อมูลเหล่านี้ได้จากอวกาศแทน”

4.2 ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่าง ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม พบว่า ทุกหน่วยงานและทุกประเทศจะต้องดำเนินการให้เป็นไปตามข้อตกลงหรือแนวปฏิบัติของ United Nations Office for Outer Space Affairs: UNOOSA โดยหากเป็นดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะต้องมีการจะขับดันหรือลดระดับลงมายังชั้นบรรยากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และไม่ก่อให้เกิดเศษขยะอวกาศ ภายใน 25 ปี ในขณะที่ดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit: GEO) จะมีการขับดันขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศที่สูงกว่าเพื่อเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และไม่ก่อให้เกิดเศษขยะอวกาศเช่นกัน อย่างไรก็ตาม หากเป็นดาวเทียมที่ไม่มีระบบขับดัน วิศวกรผู้ออกแบบดาวเทียม จะต้องออกแบบและประเมินศักยภาพดาวเทียม ให้สามารถตกลงมายังชั้นบรรยากาศเองและเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เช่นกัน ซึ่งจะใช้ระยะเวลาไม่เกิน 10-15 ปี ประกอบด้วย 2 ประเด็นย่อยสำคัญ ได้แก่

4.2.1 วิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุ โดยมีตัวอย่างบทสัมภาษณ์เชิงลึกของกลุ่มตัวอย่าง เช่น

“สำหรับดาวเทียมที่ยุติภารกิจหรือหมดอายุทาง UN ก็ได้มีแนวปฏิบัติให้ดาวเทียมเหล่านั้นตกกลับสู่โลกภายใน 25 ปีและเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศ โดยมีแผนการคร่าว ๆ จะมีการปรับวง

โคจรจากที่ระดับความสูงของดาวเทียมที่ 822 กิโลเมตร ให้เหลือประมาณ 480 กิโลเมตรจากพื้นดิน ก็คาดว่าไม่เกิน 25 ปีจะตกกลับสู่ชั้นบรรยากาศแล้วก็มีการเผาไหม้จนหมด”

“ก่อนหมดอายุการใช้งาน จะต้องเหลือเชื้อเพลิงไว้ใช้ในการบังคับให้ดาวเทียมลอยสูงขึ้นไปอีก 300 กิโลเมตร เข้าไปอยู่ในวงโคจรสุสาน (graveyard orbit) และดาวเทียมทุกชนิดจะต้องเผาเชื้อเพลิงที่คงเหลืออยู่ทิ้งไป และมีการออกแบบแบตเตอรี่ป้องกันการระเบิด”

“ดาวเทียมของเราอยู่ในระดับวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะกลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก (re-enter) และถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น ดาวเทียมของเราจะถูกกำจัดอย่างมีความรับผิดชอบต่อนานาชาติและไม่ก่อให้เกิดเศษขยะอวกาศ”

“สำหรับดาวเทียมที่ขึ้นสู่วงโคจร ทางหน่วยงานจะรายงานต่อ UNOOSA และจะดำเนินการบริหารจัดการสิ่งที่อยู่ในอวกาศ เพื่อความสงบเรียบร้อยต่อไปมีอยู่ 2 วิธี สำหรับดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit: GEO) จะมีการขับดันขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศที่สูงกว่า ในขณะที่ดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะขับดันลงมาชั้นบรรยากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้”

“อย่างไรก็ตาม ดาวเทียมของหน่วยงานไม่มีระบบขับดัน จะต้องรอให้ตกเอง ระยะเวลาไม่เกิน 10-15 ปี คาดว่าจะลดระดับลงมาเพื่อถูกเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศ ในระดับที่ 550 กิโลเมตร โดยตามหลักการของ UN ดาวเทียมจะต้องถูกทำลายภายใน 25 ปี”

“ในการออกแบบดาวเทียม ผู้สร้างและออกแบบจะต้องมีการประเมินภายใน 25 ปี ให้ดาวเทียมตกลงมาอยู่ในชั้นบรรยากาศ และดำเนินการโดยการทำ Deorbit หรือการปรับวงโคจรและขับดันดาวเทียมโดยใช้เชื้อเพลิงให้เข้าสู่ชั้นบรรยากาศภายใน 25 ปี”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.2 วิธีการปรับเปลี่ยนวงโคจรเพื่อให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรปฏิบัติการ (orbital mission) หรือ เปลี่ยนวงโคจรเพื่อลดความเสี่ยงการชนของวัตถุ

โดยมีตัวอย่างบทสัมภาษณ์เชิงลึกของกลุ่มตัวอย่าง เช่น

“การปรับเปลี่ยนวงโคจรจะมีอยู่ 2 อย่าง ส่วนที่หนึ่งคือการรักษาตำแหน่งของดาวเทียมอย่างที่บอกข้างต้นคือจะต้องรักษาไว้ให้ได้ 822 กิโลเมตรจากพื้นโลก จะพบว่าปัจจัยที่ทำให้ดาวเทียมมีการเลื่อนระดับลงมาก็เกิดได้จากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของแรงโน้มถ่วงและแรงดึงดูดของโลก เป็นต้น ซึ่งพบว่า การบริหารจัดการดาวเทียมในช่วง 12 ปีครึ่ง มีการปรับวงโคจรทั้งหมด 19 ครั้ง และส่วนที่สอง พบว่า การปรับวงโคจรเพื่อหลีกเลี่ยงวัตถุอวกาศ เราก็ได้มีการปรับวงโคจรเพื่อหลีกเลี่ยงการชนจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งเหตุการณ์ล่าสุดก็เป็นในปี 2564 เดือน

กุมภาพันธ์ก็ได้ปรับวงโคจรหนีวัตถุอวกาศ ซึ่งเป็นดาวเทียมดวงหนึ่งมีระยะห่างกับดาวเทียมของหน่วยงานเรา ประมาณ 100 เมตร ซึ่งในอวกาศถือว่าใกล้มาก ๆ ก็มีการปรับวงโคจรลงมาอีกประมาณ 60 เมตร”

“เนื่องจากเป็นวงโคจรค้างฟ้า จึงมีการปรับเปลี่ยนวงโคจรน้อย และมีการดำเนินการโดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญของหน่วยงาน”

“มีแผนที่จะ Reloading Software เพื่อจัดการปัญหาเป็นรายครั้ง ๆ ไป เพื่อจะยังคงให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรเดิม”

“การปรับโคจรควบคุมโดยวิศวกร อย่างไรก็ตาม ดาวเทียมของหน่วยงาน ยังไม่เคยต้องหลบขยะอวกาศจนต้องปรับวงโคจร แต่แน่นอนว่า ดาวเทียมเคยส่งสัญญาณกลับมายังโลกว่าพบปัญหาบางอย่างในการทำงาน อาทิ ระบบ GPS การเข้าสู่โหมดปิดตัวเอง”

4.3 ข้อมูลการติดตามและแจ้งเตือนมีความเสี่ยงของการชนของดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่าง ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลการติดตามและแจ้งเตือนมีความเสี่ยงของการชนของดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ พบว่า ดาวเทียมแต่ละดวงมีต้นทุนของการพัฒนาดาวเทียมมีมูลค่าไม่ต่ำกว่าหลักพันล้านบาทต่อดวง ทุกหน่วยงานให้ความเห็นในลักษณะสอดคล้องกันว่า ดาวเทียมคือทรัพย์สินหรือสมบัติของหน่วยงาน ซึ่งมีมูลค่าการลงทุนที่สูงมาก ทั้งในเรื่องของงบประมาณ การพัฒนาศักยภาพและกำลังคนของประเทศ หากเกิดความเสียหายจะมีการสูญเสียโอกาสในหลายมิติ เช่น การสูญเสียข้อมูลที่สำคัญในช่วงเวลานั้น ส่งผลกระทบต่อทุกคนบนโลกที่ใช้ดาวเทียมในการติดต่อสื่อสาร ทำให้สูญเสียและขาดทุนในภาคเศรษฐกิจในระดับมหภาคและจุลภาคได้ นอกจากนี้ยังเสียเวลาในการสร้างหรือพัฒนา และเสียกำลังคนในการพัฒนาใหม่อีกด้วย ในด้านสภาพแวดล้อมบนอวกาศ มีความเสี่ยงต่อการเกิดวิกฤตการณ์ ‘Kessler Syndrome’ หรือการชนกันของขยะอวกาศต่อ ๆ กันไปจนเกิดเป็นเศษขยะอวกาศเล็ก ๆ จำนวนมหาศาล ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญจะส่งผลกระทบต่อดาวเทียมที่ปฏิบัติการอยู่ รวมถึงความหนาแน่นของวงโคจรในอนาคตอีกด้วย ทุกหน่วยงานให้ความเห็นสอดคล้องกันในลักษณะเดียวกัน คือ มีความตระหนักและความสำคัญในการที่จะต้องการรับทราบข้อมูลและการสื่อสารเกี่ยวกับวัตถุอวกาศ (ดาวเทียม) ของตนเองว่าอยู่ในสถานะที่ปลอดภัยหรือมีความเสี่ยงอันตรายจากวัตถุอวกาศอื่น ๆ บนอวกาศ โดยส่วนมากรู้จักระบบการติดตามของ The Combined Space Operations Center: CSpOC ของสหรัฐอเมริกาที่มีการให้บริการฟรี ไม่เสียค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังมีการใช้บริการจากบริษัทเอกชนอย่างน้อย 1 หน่วยงาน

โดยผู้ให้บริการ คือ Space Data Association: SDA การบริการนี้ มีค่าบริการที่สูงต่อดวง หรือประมาณ 600,000 บาทต่อดวง/ต่อปี อย่างไรก็ตาม พบปัญหาจากการใช้บริการในต่างประเทศ ได้แก่ การรับบริการข้อมูลจากต่างประเทศ มีความเสี่ยงในการที่ผู้ให้บริการไม่สามารถติดต่อได้ อาจระงับการให้บริการซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามการจราจรการชนของดาวเทียม โดยเฉพาะดาวเทียมปฏิบัติการ นอกจากนี้ ยังพบว่า หน่วยงานที่อยู่ระหว่างการพัฒนาดาวเทียม มีความสนใจจะใช้ระบบจัดการจราจรอวกาศ เนื่องจาก ในปัจจุบันบนอวกาศมีความเสี่ยงอย่างรอบด้าน มีแต่เพิ่มความเสี่ยงขึ้นเรื่อย ๆ ไม่มีลด หากอุบัติเหตุการชนกันจะก่อให้เกิดความเสี่ยงที่สูงมากและไม่อาจประเมินค่าได้เมื่อเทียบกับมูลค่าของดาวเทียมประกอบด้วย 3 ประเด็นย่อยสำคัญ ได้แก่

4.3.1 หากดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับอย่างไร

“แน่นอนว่าดาวเทียมคือทรัพย์สินหรือสมบัติของชาติซึ่งมีมูลค่าการลงทุนที่สูงมากหากเกิดความเสียหายจะมีการสูญเสียโอกาสอย่างมหาศาลถ้าเรามองในด้านของงบประมาณหมายถึงงบประมาณของชาติที่สูญเสียไปหลายพันล้านยังไม่รวมในส่วนของ Output Outcome ก็คือสิ่งที่ได้จากดาวเทียมนั้น หมายถึงข้อมูลภูมิสารสนเทศข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่นำมาบริหารจัดการเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในเชิงนโยบายหรือประเด็นเร่งด่วนต่าง ๆ ในประเทศซึ่งเราก็จะมีการรับข้อมูลเหล่านี้ทุกวันจะทำให้เราอยู่ในภาวะของการสูญเสียข้อมูลซึ่งจะมีการถ่ายภาพอย่างต่อเนื่องลักษณะเดียวกันก็จะขาดข้อมูลข่าวสารในสถานะการเร่งด่วนตัวอย่างเหตุการณ์คือในเรื่องของความมั่นคงเราจะให้ดาวเทียมของประเทศอื่นถ่ายภาพประเทศของเราไม่ได้ซึ่งในส่วนนี้หากเราต้องการข้อมูลจะต้องถ่ายภาพเองสรุปสั้น ๆ ว่าถ้าเกิดว่าเราจะมีความเสียหาย ประการแรกก็คือจะเสียหายในด้านของงบประมาณของชาติ ประการที่สองคือการสูญเสียข้อมูลการถ่ายภาพอย่างมหาศาลและประการที่สาม คือขาดข้อมูลในสถานการณ์เร่งด่วนในเรื่องของความมั่นคงของชาติ”

“กระทบต่อการสื่อสารหรือการเก็บข้อมูลผ่านการใช้ดาวเทียม ไม่ว่าจะการใช้ในเรื่องของการสูญเสียข้อมูลการสำรวจทรัพยากรของชาติ หากมีภัยพิบัติเกิดขึ้นในขณะนั้นจะไม่สามารถคาดการณ์หรือติดตามแบบเรียลไทม์ได้ กล่าวได้ว่า ส่งผลกระทบต่อการเก็บข้อมูลของชาติ นอกจากนี้ หากกล่าวถึงในส่วนของดาวเทียม จะพบว่า ทำให้สูญเสียงบประมาณของประเทศในการสร้างจำนวนมาก”

“มีความเสี่ยงต่อโครงการฯ ที่จะมีแนวโน้มไม่เป็นไปตามแผน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงของ Project Manager อย่างมาก นอกจากนี้ ยังส่งผลในระดับองค์กร หรือประเทศ ที่จะทำให้ดาวเทียมอื่น ๆ มีความเสี่ยงที่จะถูกชนจากเราด้วย ดังปรากฏการณ์ ‘Kessler Syndrome’”

“ในส่วนแรกมองว่ากระทบต่อธุรกิจและความมั่นคงของบริษัท เพราะการที่ดาวเทียมเสียหาย หมายถึง งบประมาณการลงทุนของบริษัท ทั้งนี้ ยังส่งผลต่อความมั่นคงหรือชื่อเสียงของบริษัทอีกด้วย ถ้ามองอีกมุมจะเห็นว่า การสื่อสารจากดาวเทียม คงได้รับผลกระทบไม่มากก็น้อย เนื่องจากไม่มีการเตรียมรับมือกับสถานการณ์ฉุกเฉิน อาจทำให้กิจกรรมบางอย่างหยุดชะงักลงได้”

“เสียเวลา เสียโอกาสทางธุรกิจ นอกจากนี้ ยังสร้างขยะอวกาศเพิ่มเป็นลูกโซ่ต่อไปเรื่อย ๆ โอกาสเกิดมีแต่เพิ่ม ไม่มีลด ยิ่งเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด”

“อย่างแรก แน่นอนว่าจะส่งผลต่อคุณภาพชีวิตคนบนโลก เมื่อบริการนี้ได้ให้บริการ ก็หมายความว่า แม้ว่าข้อมูลที่เก็บไว้ในดาวเทียมนี้จะสูญหายไป แต่ทางบริษัท ได้มีการพิจารณาในส่วนนี้ไว้แล้วว่าดาวเทียมแต่ละดวงอาจจะมีการสำรองข้อมูลไว้ในกรณีที่เสียหาย แต่หากว่าไม่สามารถติดต่อดาวเทียมดวงใดดวงหนึ่งได้ ก็สามารถคาดการณ์เป็นมูลค่าความเสียหายจากการถูกขยะอวกาศชนประมาณ 100 ล้านบาท (มูลค่าของข้อมูลและดาวเทียมที่สูญเสียไปต่อดวง) นอกจากนี้ยังสามารถประเมินต้นทุนการเสียโอกาส อยู่ที่ประมาณ 300 ล้านบาท และผลกระทบที่สำคัญบนสภาพแวดล้อมในอวกาศ จะเป็นเรื่อง Kessler syndrome คือการชนกันของวัตถุอวกาศเกิดเศษซากต่อไปเรื่อย ๆ ทำให้วงโคจรที่ความหนาแน่น”

4.3.2 มีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

“มีการใช้บริการระบบการแจ้งเตือนการชนวัตถุอวกาศโดยใช้หลายหน่วยงานอย่าง หน่วยงานแรกก็คือ CSpOC ซึ่งเป็นหน่วยงานของกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเป็นแม่งานหลัก ซึ่งจะมีเครื่องมืออย่างเรดาร์คอย tracking วัตถุอวกาศ หน่วยงานนี้ให้บริการฟรี นอกจากนี้ยังใช้ SDA ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายเป็นรายปีตกปีละ 15,000 ดอลลาร์สหรัฐหากถามว่า SDA ต่างจาก CSpOC อย่างไร คือ SDA เอาข้อมูลจาก CSpOC มาวิเคราะห์โดยจะพบวัตถุอวกาศที่มีขนาด 10 เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งในปัจจุบันพบว่ามีจำนวนหลายแสนชิ้นในวงโคจรระดับต่ำก็จะแจ้งเตือนในระยะ 1 กิโลเมตรล่วงหน้า 2-3 วัน ก็ทางหน่วยงานเป็นสมาชิกของ SDA มาตั้งแต่ปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร”

“มีการใช้บริการระบบการแจ้งเตือนการชนวัตถุอวกาศโดยใช้ CSpOC ซึ่งเป็นหน่วยงานของกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเป็นหลัก ซึ่งจะมีเครื่องมืออย่างเรดาร์คอยติดตามวัตถุอวกาศ หน่วยงานนี้ให้บริการฟรี”

“ยังไม่มีการใช้บริการ เนื่องจาก เป็นวงโคจรค้างฟ้า มีความเสี่ยงต่อการชนน้อย โอกาสเกิดน้อยแต่โอกาสเกิดสูงจะอยู่ในวงโคจรระดับต่ำ”

4.3.3 จะมีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่

“ใช้แน่นอน เพราะมีความเสี่ยงรอบด้านมาก ๆ ดังที่กล่าวข้างต้น เป็นความเสี่ยงต่อโครงการเอง และความเสี่ยงต่อดาวเทียมดวงอื่น ๆ ที่กำลังปฏิบัติงานอยู่ราคาที่พบเห็นอยู่ที่ระดับหลายแสนอยู่ ข้อเสียของระบบอื่น ๆ คือ มีราคาสูงมาก นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับดันมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากจะเติมได้แค่ครั้งเดียว ตอนที่ขึ้นไป จึงต้องใช้อย่างคุ้มค่าที่สุด ดังนั้น หากว่าจะต้องใช้ ก็จะใช้ระบบจัดการจราจรอวกาศ หรือระบบ ZIRCON เพราะว่ารู้จักระบบนี้ เป็นการบูรณาการข้อมูลและองค์ความรู้ร่วมกัน”

“ใช้แน่นอน เนื่องจาก เป็นการติดตาม และเฝ้าระวัง ในช่วงแรกที่ยังไม่มีงบประมาณ อาจจะใช้ข้อมูลเรดาร์ของกองทัพสหรัฐอเมริกา CSpOC”

“ในปัจจุบันมีการให้บริการฟรีจากหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา CSpOC ซึ่งจะมีสถานีเรดาร์อยู่รอบโลก เพื่อคอยติดตามวัตถุอวกาศ โดยจะใช้ข้อมูลเป็นเครือข่ายเรดาร์ เป็นจานเป็นเรดาร์ที่คอยติดตาม ถ้ามีจานรับสัญญาณเพียงอันเดียวจะไม่สามารถติดตามได้ จะต้องเป็นโครงข่ายหรือเครือข่าย ให้เรารู้ทิศทางของวัตถุอวกาศนั้น ๆ หากพบว่ามีความเสี่ยง หน่วยงานนี้จะทำการแจ้งเตือนไปยังเจ้าของดาวเทียม แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการใช้ระบบนี้ เนื่องจาก เป็นการตรวจจับจากภาคพื้นดิน มีความคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตามเมื่อได้รับการแจ้งเตือนจากหน่วยงานนี้เจ้าของดาวเทียมจะต้องทำการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น เพราะว่าข้อมูลที่ได้จากสถานีเรดาร์เป็นข้อมูลที่หยาบ ความถูกต้องน้อย บ่อยครั้งที่เราพบว่าข้อมูลที่ถูกส่งมามีความคลาดเคลื่อนสูง ขาดการให้ข้อมูลเชิงลึก การวิเคราะห์เพิ่มเติม การเปิดเผยข้อมูลบางอย่าง และบ่อยครั้งที่พบว่าดาวเทียมของหน่วยงาน มีความเสี่ยงที่ต้องเผชิญกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ ขยะอวกาศเพียงแต่หน่วยงานนี้จะแจ้งแค่ว่าวัตถุอวกาศอะไรชื่ออะไรที่กำลังเข้าใกล้เราเท่านั้น หากเป็นวัตถุอวกาศอื่น ๆ ก็จะมีการประสานว่าใครจะเป็นคนปรับวงโคจรไหมแต่หากเป็นขยะอวกาศก็จะทำให้มีความเสี่ยงสูงมากเนื่องจากขยะอวกาศเป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมทิศทางได้ หน่วยงานดังกล่าวก็

จะไม่ได้แนะนำว่าควรจะปรับวงโคจรอย่างไรแต่เจ้าของดาวเทียมจะต้องเป็นผู้ประเมินความเสี่ยงนั้นเอง โดยการให้บริการนี้จะให้บริการเฉพาะเจ้าของดาวเทียมเท่านั้นไม่มีการเปิดเผยให้กับเจ้าของดาวเทียมอื่น ๆ มองว่าบนพื้นโลกก็มีการจัดการจราจร หรือในระดับอากาศยานก็มีการจัดการเส้นทางการบิน ตารางการบิน ในขณะที่อวกาศ ก็มีคนพูดถึงเรื่องของเศรษฐกิจอวกาศหรือ Space Economy มีการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์จากอวกาศ ซึ่งในอดีตประเทศมหาอำนาจก็มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่อวกาศซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง ถามว่าเป็นเรื่องใหม่ไหมก็คงตอบว่าเป็นเรื่องที่ใหม่ เรื่องที่ไกลตัวไหมถือว่าไม่ไกลตัวเลย ดังนั้นก็จะมีหน่วยงานที่เป็นเอเจนซี่ใหญ่ ๆ อาทิ อเมริกา รัสเซีย ฝรั่งเศสหรือทางยุโรปด้วย พยายามที่จะผลักดันเรื่องของการจราจรในอวกาศ ลดการเพิ่มของขยะอวกาศที่เกิดขึ้น ซึ่งการให้บริการในปัจจุบันก็จะมีหน่วยงานที่มีศักยภาพที่กล่าวในข้างต้น ไม่ว่าจะเป็น เครือข่ายเรดาร์ ของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่อย่างไรก็ตาม การให้บริการในประเภทนี้ หน่วยงานเจ้าของดาวเทียมอาจจะไม่ได้ให้ความสำคัญเนื่องจากคิดว่ามีความเสี่ยงที่น้อย แต่หากอุบัติเหตุการชนแล้วจะก่อให้เกิดความเสี่ยงที่สูงมากและไม่อาจประเมินค่าได้เมื่อเทียบกับมูลค่าของดาวเทียมซึ่งมองว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ๆ สำหรับหน่วยงานของเราก็ให้ความสำคัญกับด้านนี้มาก ๆ”

“ใช้บริการแน่นอน และคิดว่า เป็นเรื่องที่น่าดำเนินการอย่างยิ่ง มองว่าการสนับสนุนสิ่งที่คนไทยคิด คนไทยทำ คนไทยเก่ง เป็นเรื่องที่ยอดเยี่ยมมาก ๆ”

“ใช้บริการแน่นอน เนื่องจากจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการปล่อยดาวเทียมสื่อสารวงโคจรต่ำยิ่งมีมากเท่าไหร่ ความเสี่ยงและอันตราย ย่อมมีเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น มีแต่เพิ่ม ไม่มีลด เพราะการกำจัดขยะบนอวกาศ ยังคงทำได้ยาก”

“ใช้บริการแน่นอน เนื่องจาก ดาวเทียมของบริษัทในอนาคตจะมีลักษณะเป็นกลุ่มดาวเทียม Nanosatellite (nanosatellite clusters) ซึ่งมีจำนวนมากจะต้องหลบเลี่ยงการชนจากดาวเทียมในวงโคจรเดียวกัน”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่าง ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต พบว่า มีแนวโน้มการส่งดาวเทียมขึ้นไปบนอวกาศอีกจำนวนหลายหมื่นดวงในแต่ละประเทศ เพื่อให้ครอบคลุมการให้บริการทั่วโลกได้อย่างต่อเนื่องและไม่หยุดชะงัก ซึ่งมีแนวโน้มการเติบโตของ Satellite communication market อาทิ ดาวเทียม IOT โดยในปัจจุบันดาวเทียมสื่อสารใช้ในด้านโทรคมนาคมในประเทศและเชื่อมโยงเครือข่ายต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังมีผลโดยตรง

กับเรื่องการนำทาง การเดินเรือสมุทร การขนส่ง เป็นต้น แนวโน้มดังกล่าวประกอบด้วย จำนวนกลุ่มดาวเทียมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ยังมีวัตถุอวกาศอื่น ๆ ล่องลอยอยู่ในอวกาศอย่างไร้ทิศทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ยิ่งทำให้การจราจรบนอวกาศมีความแออัด หนาแน่น และมีความเสี่ยงอันตรายจากวัตถุอวกาศอย่างรอบทิศทางในระดับที่สูงสุดที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ โดยอาจสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินทั้งในอวกาศและบนพื้นโลก จากการชนกับดาวเทียมปฏิบัติการ สถานีอวกาศ หรือแม้กระทั่งนักบินอวกาศที่กำลังปฏิบัติภารกิจบนอวกาศ ซึ่งจะส่งผลกระทบด้านความปลอดภัยของสิ่งต่าง ๆ ข้างต้น และนำไปสู่วิกฤตการณ์ ‘Kessler Syndrome’ ในอนาคตอันใกล้นี้ได้ ดังนั้น ระบบจัดการจราจรอวกาศจึงเป็นระบบที่จำเป็นการต่อเฝ้าระวัง ติดตาม และช่วยวิเคราะห์วงโคจร เพื่อหลีกหนีอันตรายต่าง ๆ ในห้วงอวกาศข้างต้นนี้ได้

“แนวโน้มในอนาคตมองว่าจากอดีตจนถึงปัจจุบันอย่างเช่นดาวเทียมสื่อสารในอดีตก็จะเป็นวงโคจรค้างฟ้าแต่ในปัจจุบันนี้มีแนวโน้มการส่ง อย่างเช่น Starlink ของ SpaceX ขึ้นสู่วงโคจร ในวงโคจรระดับต่ำดาวเทียมสำรวจโลกก็มีหลากหลายแขนง ไม่ว่าจะเป็นดาวเทียมสำรวจชั้นบรรยากาศอื่น ๆ ดาวเทียมสำรวจไนโตรเจน ซึ่งมีการสำรวจในด้านวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น และคาดว่าในอนาคตจะมีการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร โดยเฉพาะดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำหลายหมื่นดวงเพื่อปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม มีความกังวลว่าจะเกิดการชนกันของดาวเทียมเนื่องจากยิ่งส่งไปจำนวนมาก ดาวเทียมหรือวัตถุอวกาศที่อยู่ข้างบนจะควบคุมได้ยากมากซึ่งมีความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อวินาที มีการบริหารงานที่ยากแน่นอนว่าธุรกิจมีการเติบโตอย่างแน่นอน นอกจากธุรกิจดาวเทียมแล้วยังมีธุรกิจอื่น ๆ อย่างเช่น แพลตฟอร์มอากาศยาน”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

“แนวโน้มในอนาคต คาดว่าจะมีการส่งดาวเทียมขึ้นไปอีกหลายหมื่นดวง เทคโนโลยีมีความก้าวหน้า ในขณะที่ต้นทุนมีราคาต่ำลง ในขณะดาวเทียมแต่ละประเทศ จะมีอายุการใช้งานไม่เกิน 25 ปี ตามหลักการของ The International Telecommunication Union: ITU จะทำให้บนอวกาศภายใต้วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เต็มไปด้วยอันตราย และความเสี่ยงที่ดาวเทียมจะเกิดการผิดพลาดเชิงเทคนิค จึงต้องมีการเฝ้าระวังที่ดี อย่างไรก็ตาม คาดการณ์กลุ่มลูกค้าของระบบนี้จะกระจายอยู่ทั่วโลก มีโอกาสสูงในการทำเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต”

“แนวโน้มกิจกรรมอวกาศของประเทศอินโดนีเซีย คาดว่าจะเป็นตลาดดาวเทียมสื่อสารในเชิงพาณิชย์ที่ใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะเห็นได้ชัดว่ามีการเติบโตของธุรกิจดาวเทียมเชิงพาณิชย์อย่างต่อเนื่อง เหตุที่อินโดนีเซีย จำเป็นต้องใช้ดาวเทียมสื่อสารนั้น มาจากภูมิประเทศของอินโดนีเซียที่มีเกาะจำนวนมาก ยากต่อการบริหารจัดการ แม้แต่การวางโครงข่ายของ ATM ภายใต้การ

บริหารจัดการก็มีการใช้ดาวเทียมสื่อสารในการวางโครงข่ายให้ครอบคลุมทั่วประเทศ ผ่านการใช้อินเทอร์เน็ตดาวเทียม เป็นต้น ดังนั้น จะเห็นได้ชัดว่า แนวโน้มธุรกิจดาวเทียมในอนาคตของประเทศอินโดนีเซีย จะเป็นไปตามแนวโน้มหรือเทรนด์ของโลกเช่นเดียวกัน อย่างที่กล่าวข้างต้นว่า เราได้ดำเนินการทำอยู่แล้วในปัจจุบัน นั่นคือ เทรนด์ดาวเทียมเพื่อการสื่อสาร ผ่าน ICT หรือ IOT”

“สำหรับกิจกรรมด้านอวกาศของสิงคโปร์ เราอาจมองไกลกว่าประเทศของเราไปยังแนวโน้มหรือตลาดของกลุ่มประเทศเอเชีย แปซิฟิก มองเห็นว่า มีการเติบโตของ Satellite communication market หรือตลาดของดาวเทียมสื่อสาร โดยในปัจจุบัน ดาวเทียมสื่อสาร ใช้ในด้านโทรคมนาคมในประเทศ เชื่อมโยงเครือข่ายต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังมีผลโดยตรงกับเรื่องการนำทาง การเดินเรือสมุทร การขนส่ง เป็นต้น นอกจากนี้ตลาดดาวเทียม Nanosatellite จะได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจาก มีการปรับปรุงเทคโนโลยีให้เหมาะสมต่อสถานการณ์เพื่อสร้างความแตกต่างให้กับอุตสาหกรรมอวกาศ และการวิจัยพัฒนา”

“มีโอกาสเยอะในการทำกิจกรรมที่เกี่ยวกับ Space economy ไม่เพียงแต่เฉพาะการสร้างดาวเทียมเท่านั้น ควรเป็นโอกาสของทุกภาคส่วนที่มีส่วนร่วมในการทำทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็น คนทำ SSA คนทำ Spacecraft การวิจัยที่เกี่ยวกับชีววิทยา Microgravity (มีการส่งอะไรขึ้นไปทดลองในอวกาศ) ระบบกล้อง Ground Station โดยช่องทางที่จะทำมีเยอะมาก แต่คนเรามีน้อย ถ้าทำไปแล้วไม่มีแก่นขององค์ความรู้ก็เป็นไปได้ยาก ซึ่งคิดว่าอวกาศตอนนี้จำกัดอยู่ที่กำลังคน ซึ่งไทยไม่มีมหาวิทยาลัยอวกาศแห่งชาติที่สอนด้านนี้โดยตรง จริง ๆ แล้วการสร้าง Spacecraft ก็สามารถแตกไลน์ธุรกิจได้เยอะ เช่น บริษัททำแบตเตอรี่ บริษัทผลิตรถยนต์ (Electric Vehicle: EV) ซึ่งเป็นองค์ความรู้เดียวกันกับการทำแบตเตอรี่บน Spacecraft อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้ต้องเกิดการขับเคลื่อนจากภาครัฐ ว่ารัฐบาลจะซื้อนะคุณไปทำมา เพื่อให้เกิด Supply Chain แบบมหภาค”

“ประเทศไทยมีความตามกระแสโลก โลกเป็นอย่างไร แนวโน้มของประเทศเราก็โอกาส และความต้องการใช้ดาวเทียมเพิ่มมากขึ้น ยิ่งมีมากขึ้น จะเพิ่มความเสี่ยงในอวกาศอย่างทวีคูณ ไม่มีลด”

“ในปัจจุบันแนวโน้มของอุตสาหกรรมอวกาศมีการเติบโตสูง นอกจากการสร้างดาวเทียมแล้ว การพัฒนาในส่วนอื่น ๆ ตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำก็เป็นส่วนที่สำคัญ อย่างอุตสาหกรรมผู้ผลิตชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประกอบดาวเทียม คนในประเทศจะต้องมีความรู้ และความเข้าใจ ที่จะทำให้เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ Local Supply ต้องดำเนินการ หลายประเทศมีความก้าวหน้า ไม่ว่าจะเป็น เวียดนาม ฟิลิปปินส์ อย่างไทยเอง นอกจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศก็มียัง สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ กองทัพอากาศ และบริษัทเอกชนอย่าง มิว สเปซ อย่างไรก็

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาม เพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน หน่วยงานต่าง ๆ ในประเทศ ควรจะมีการหารือและปรับจูนกันให้มีความสอดคล้องกันมากขึ้น ทั้งนี้ ภาครัฐ จะต้องมีการสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรม ทั้ง Supply Chain ด้วย รวมถึงการสร้างมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านอวกาศ ซึ่งถือเป็นต้นน้ำ โดยในปัจจุบันเราทำแต่ปลายน้ำ”

“แนวโน้มของกิจกรรมอวกาศในอนาคต คาดว่าจะมีการใช้การสื่อสารหรือโทรคมนาคมผ่านดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มากขึ้น อย่าง OneWeb ของ Amazon หรือ Starlink ของ Elon Musk เป็นต้น นอกจากนี้ยังมองว่า ดาวเทียม Internet of Thing หรือ IOT ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในยุคนี้ อย่างไรก็ตาม บริษัทมีความสนใจที่จะพัฒนาดาวเทียมตามแนวโน้มทั้งสองอย่างนี้ด้วยในอนาคตอันใกล้นี้”

“มองว่าประเทศไทย มีศักยภาพในการสร้าง พัฒนา และประกอบธุรกิจเกี่ยวกับอวกาศ หรือดาวเทียมได้ เพราะประเทศไทยมีภูมิศาสตร์ที่เอื้ออำนวยต่อการพัฒนา รวมถึงเป็นผู้ผลิตต้นน้ำ และปลายน้ำได้ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการผลิตชิ้นส่วนดาวเทียมต่าง ๆ หรือปลายน้ำเช่นการนำส่งดาวเทียม ซึ่งหากกล่าวถึง การนำส่งดาวเทียม ก็น่าจะเป็นเรื่องที่ดี ถ้าประเทศไทยจะสร้างโครงสร้างพื้นฐานอย่างท่าอวกาศยานหรือ Spaceport Thailand เช่น หากเป็นการนำส่งดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ก็จะทำให้ประเทศไทยมีข้อได้เปรียบมากกว่าประเทศอื่น ๆ และหากมองไปให้ไกลกว่า 100 ปี หรือในระยะยาวนั้น การจะไปยังดาวเคราะห์อื่น ๆ เช่น ดวงจันทร์ ดาวอังคารได้ ไม่ว่าจะเป็นดาวเทียม หรือยานอวกาศ จะต้องอยู่ในวงโคจรที่ระนาบกับเส้นศูนย์สูตร เนื่องจาก ประเทศไทยเอง อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ก็จะทำให้มีความได้เปรียบตรงการประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้นด้วย”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หมายเหตุ: รายละเอียดการผลการสัมภาษณ์ฉบับสมบูรณ์ อยู่ในภาคผนวก ค

บทที่ 5
การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี

5.1 รายละเอียดเทคโนโลยี

ระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือ “ZIRCON” มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและแจ้งเตือนการชน ทำให้สามารถลดและหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับดาวเทียมทุกประเภท อย่างไรก็ตาม แม้ว่าทุกดาวเทียมจะได้รับข้อมูลการแจ้งเตือนการชนกันจากหน่วยงาน Combined Space Operations Center หรือ CSpOC ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในปัจจุบันมีจำนวนวัตถุอวกาศที่ CSpOC ได้ติดตามและเผยแพร่ข้อมูลผ่าน www.space-track.com พบว่า มีจำนวนวัตถุอวกาศอยู่ที่ 21,000 ชิ้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญมาก เนื่องจาก นานาชาติมีการลงทุนและมีภารกิจในการนำส่งดาวเทียม หรือยานอวกาศอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม การรับบริการข้อมูลจากต่างประเทศ มีความเสี่ยงในการที่ผู้ให้บริการไม่สามารถติดต่อได้ อาจระงับการให้บริการซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามการจราจรการชนของดาวเทียม โดยเฉพาะดาวเทียมปฏิบัติการ นอกจากนี้ ยังมีกรอบเวลาที่ต้องรอการแจ้งเตือนซึ่งใช้เวลานานไม่ต่ำกว่า 3 วัน ความล่าช้าจากการส่งข้อมูล GPS ไป-กลับสำหรับการตรวจสอบข้อมูลความถูกต้อง ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการเตือนสูง เนื่องจาก เป็นการให้บริการฟรี ไม่เสียค่าใช้จ่าย

ทั้งนี้ การพัฒนาระบบดังกล่าวเล็งเห็นถึงโอกาส (opportunity) ของประเทศในด้านการสร้างขีดความสามารถการแข่งขันด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมอวกาศซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีปกปิด ไม่มีขาย ตลอดจนการสร้างมูลค่า (value-added) การนำพาประเทศมุ่งสู่ “เศรษฐกิจอวกาศ” (space economy) ให้ก้าวทันการเปลี่ยนแปลงและเทรนด์ของโลกที่จะมีการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรอีกหลายหมื่นดวงในอนาคต ระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือ “ZIRCON” โดยมีฟังก์ชัน คือ

- แจ้งเตือนความเสี่ยงที่จะชนระหว่างดาวเทียมกับดาวเทียม หรือระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ จากการคาดการณ์ความน่าจะเป็นของการชน เมื่อมีผลการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างวัตถุอวกาศ (miss distance) น้อยกว่า 1 กิโลเมตร และความน่าจะเป็นการชน (collision probabilities) อยู่ที่มากกว่า 10^{-4} สามารถแจ้งเตือนความเสี่ยงของการชนได้ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 7 วัน ทำให้เจ้าของดาวเทียมสามารถคาดการณ์และ

เตรียมการปรับวงโคจรรวมทั้งตัดสินใจปรับวงโคจรเพื่อหลบเลี่ยงการชนได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากดาวเทียมอยู่ในสถานะมีความเสี่ยงสูงในการชน นอกจากนี้ข้อมูลทำให้เจ้าของดาวเทียมทราบข้อมูลที่เฉพาะความเสี่ยงสูงจริง ๆ ไม่ใช่ข้อมูลภาพรวมกว้าง ๆ เหมือนในอดีตที่เคยมีอุบัติเหตุการชนของดาวเทียม แม้จะมีข้อมูลการแจ้งเตือนแต่เป็นข้อมูลการแจ้งเตือนที่มากเกินไป ข้อมูลที่เจ้าของดาวเทียมได้รับจึงไม่ใช่ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำ

- วิเคราะห์วงโคจรของวัตถุอวกาศอื่น ๆ มากกว่า 21,000 ชิ้น* โดยใช้จุดเริ่มต้นของแต่ละวัตถุอวกาศจาก Space-track และการวิเคราะห์ระยะห่างจากดาวเทียมกับดาวเทียมหรือระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ แต่ละชิ้น ทำให้เจ้าของดาวเทียมทราบว่าเมื่อตัดสินใจปรับวงโคจรดาวเทียมของตนเองเพื่อหลบเลี่ยงการชนแล้วจะไม่ทำให้ชนกับดาวเทียมหรือวัตถุอวกาศอื่น ๆ ที่อยู่รอบข้าง โดยไม่ต้องใช้ระยะเวลารอนานเหมือนกับผู้ให้บริการรายอื่นทำให้เจ้าของดาวเทียมตัดสินใจปรับวงโคจรได้ทันทีและมีความปลอดภัย

หมายเหตุ วัตถุอวกาศอื่น ๆ มากกว่า 21,000 ชิ้น คือ วัตถุอวกาศขนาดใหญ่ที่สามารถตรวจจับและระบุตัวตนเจ้าของได้*

โดยแสดงขั้นตอนการการทำงานของระบบจัดการจราจรอวกาศ ดังรูปที่ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เพื่อระบุตำแหน่งเริ่มต้นของวัตถุที่โคจรรอบโลก ระบบนี้ใช้กล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นดินเพื่อติดตามวัตถุอวกาศ ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมเชิงยุทธศาสตร์ทั่วโลก เพื่อรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุ	จะทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการชน ถ้าผลวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างวัตถุอวกาศ (miss distance) น้อยกว่า 1 กิโลเมตร และความน่าจะเป็นการชน (collision probabilities) มากกว่า 10^{-4}	เพื่อนำไปวิเคราะห์การตัดสินใจเพื่อเปลี่ยนทิศทางของวงโคจรให้ปลอดภัยจากการชน

ส่วนที่ 1		ส่วนที่ 2		ส่วนที่ 3
“ติดตาม”		“วิเคราะห์”		“แจ้งเตือน”
ระบบสำรวจ (space surveillance system)		ระบบการจัดการจราจรอวกาศ (space traffic management system)		เจ้าของดาวเทียม (user)
อวกาศ (ดาวเทียมที่ปฏิบัติภารกิจและขยะอวกาศ) หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลนี้ให้กับส่วนที่ 2		ข้อมูลวิเคราะห์นี้ จะถูกส่งให้กับ ส่วนที่ 3		

รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการการทำงานของระบบจัดการจราจรอวกาศ
(Sittiporn Channumsin, 2563)

นอกจากนี้ มีการออกแบบระบบให้รับข้อมูลตั้งต้นของวัตถุอวกาศจำนวนโดยเฉลี่ย 21,000 ชิ้น ในรูปแบบข้อมูล Two Line Elements (TLE) จากเว็บไซต์ space-track.org ซึ่งปฏิบัติงานภายใต้หน่วยงานบัญชาการด้านยุทธศาสตร์สหรัฐอเมริกา (United States Strategic Command) และนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณและวิเคราะห์ในการแจ้งเตือนการชนกันของดาวเทียม ซึ่งจะสามารถให้บริการแจ้งเตือนการชนดาวเทียมอื่น ๆ ของประเทศไทยหรือดาวเทียมของต่างประเทศได้

รูปที่ 5.2 Visualization ของระบบจัดการจราจรอวกาศ
(Astrodynamics Research Laboratory: Astrolab, 2564)

5.2 การประเมินด้านเทคโนโลยี (Technology Assessment)

ในการประเมินด้านเทคโนโลยี จะพิจารณาจากสภาพแวดล้อมของตลาด โดยระบบจัดการจราจรอวกาศ หรือ Space Traffic Management อยู่ในลำดับขั้นของ “การพัฒนาเทคโนโลยี หรือ Developing Technology” โดยจะดำเนินการประเมินเทคโนโลยี ประกอบด้วย โอกาสทางการตลาด สภาพแวดล้อมของเทคโนโลยี และความพร้อมของเทคโนโลยี และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอวกาศ ดังนี้

5.2.1 โอกาสทางการตลาด

จากข้อมูลแนวโน้มของอุตสาหกรรมอวกาศ ปี 2562 ของ Bank of America Merrill Lynch พบว่ากว่า 80 ประเทศทั่วโลก มีดาวเทียมเป็นของตัวเองโคจรอยู่บนห้วงอวกาศ และในอนาคตจะมีการส่งดาวเทียมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะจากการที่ดาวเทียมสื่อสารประเภทดาวเทียมค้างฟ้า ซึ่งมีต้นทุนสูงจะลดน้อยลง จะเปลี่ยนมาใช้เป็นกลุ่มดาวเทียมขนาดเล็กวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ซึ่งต้นทุนการดำเนินการจะต่ำกว่า แต่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ต้องเพิ่มจำนวนของดาวเทียมมากขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมทุกพื้นที่บนโลกได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้การส่งดาวเทียมเล็กในวงโคจรต่ำยังมีค่าใช้จ่ายในการส่งดาวเทียมที่ต่ำกว่ามาก โดยเฉพาะดาวเทียมขนาดเล็กที่สามารถส่งได้ครั้งละหลายดวง อาทิ ดาวเทียม Starlink ของบริษัท SpaceX ได้ลงทะเบียนดาวเทียมกว่า 30,000 ดวง กับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ International Telecommunication Union หรือ ITU โดยระยะ 2-3 ปีนี้ มีแผนจะส่งดาวเทียม จำนวนประมาณ 1,500 ดวงขึ้นสู่วงโคจร โดยจะนำส่งไปทีละ 60 ดวงพร้อมกัน ซึ่งดาวเทียมเหล่านี้ เป็นกลุ่มดาวเทียมสื่อสารวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ที่ความสูงประมาณ 350-600 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม ยังมีบริษัทและองค์กรอวกาศของประเทศต่าง ๆ มีกำหนดส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศอีกหลายพันดวงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งดาวเทียมทั้งที่ปฏิบัติการอยู่ในอวกาศขณะนี้ และกำลังทยอยส่งขึ้นไป จำนวนหนึ่งหมดอายุการใช้งานและกำลังจะทยอยตกกลับสู่โลก ดาวเทียมสื่อสารขนาดเล็กจำนวนมากก็จะหมดอายุและจะทยอยตกกลับสู่โลกเช่นกัน ในอีกประมาณ 10 ปีข้างหน้าเป็นต้นไป ในขณะที่ภูมิภาคเอเชีย ได้ตระหนักถึงความสำคัญของกิจกรรมด้านอวกาศมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นประเทศอินโดนีเซีย สิงคโปร์ เวียดนาม ไต้หวัน และไทยที่มีแผนการพัฒนาและอยู่ระหว่างการสร้างดาวเทียม อาทิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ดาวเทียมไทยโชต-1 (THEOS-1) ของ สทอภ.
- ดาวเทียมไทยโชต-2 (THEOS-2) ของ สทอภ.
- ดาวเทียมขนาดเล็กภายใต้โครงการดาวเทียมไทยโชต-2 (THEOS-2 SmallSat) ของ สทอภ.
- ดาวเทียมไทยคมของบริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)
- ดาวเทียม TSC (Thai Space Consortium) อาทิ TSC-P TSC-1 TSC-2 ของกลุ่มภาคีความร่วมมืออวกาศไทย ภายใต้สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
- ดาวเทียมในการให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง และบริการที่รองรับ IOT (Internet of Things) เพื่อก้าวสู้การเป็นผู้นำในการให้บริการและศูนย์กลางเกตเวย์ภาคพื้นดินในการให้บริการ Space IDC และ Space Digital Platform ในอนาคตของบริษัท มิวสเปซ แอนด์ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด เป็นต้น

นอกจากนี้ ประเทศไทย ยังมีแผนการศึกษาความเป็นไปได้เชิงลึกในการสร้างท่าอวกาศยานประเทศไทย (Spaceport Thailand) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นฐานรับ-ส่งจรวดขึ้นสู่อวกาศที่สำคัญในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อีกด้วย ซึ่งในดาวเทียมต่าง ๆ มีความเสี่ยงจากการชนของวัตถุอวกาศ จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อหลบเลี่ยงวัตถุอวกาศ

อย่างไรก็ตาม จากการคาดการณ์ของ ESA พบว่า เมื่อมีการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว จะทำให้มีแนวโน้มของขยะอวกาศสูงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตาม จำนวนของการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรที่มากขึ้น มีผลมาจากต้นทุนของการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีต้นทุนที่ต่ำลง ดังนั้น จำนวนวัตถุอวกาศจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณ และไม่อาจหยุดยั้งปรากฏการณ์เหล่านี้ได้ในอนาคต (ESA, 2563) อย่างไรก็ตาม หน่วยงาน The Combined Space Operations Center (CSpOC) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ติดตามและเผยแพร่ข้อมูลผ่าน www.space-track.com พบว่า มีจำนวนวัตถุบนอวกาศที่สามารถติดตามได้กว่า 21,000 ชิ้น

5.2.2 สภาพแวดล้อมของเทคโนโลยี

<u>แนวทางการบรรเทาความเสี่ยงและปริมาณขยะอวกาศ</u>

จากข้อตกลงของประเทศสมาชิก United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space หรือ UN-COPUOS ได้มีการลงนามความเข้าใจร่วมกัน

ในแนวทางการบรรเทาความเสี่ยงและปริมาณขยะอวกาศ โดยหากไม่ได้รับการแก้ไขหรือลดจำนวนขยะอวกาศลง ก็อาจจะส่งผลให้ดาวเทียมเกิดความเสียหายจากการชนกับขยะอวกาศ หรือระยะเวลาการปฏิบัติภารกิจสั้นลงจากที่กำหนดไว้ เนื่องจากเชื้อเพลิงขับดันถูกใช้เพื่อหลบวัตถุอวกาศ ผลกระทบดังกล่าว อาจจะทำให้เราไม่สามารถใช้เทคโนโลยีอวกาศได้อย่างประสิทธิภาพหรือไม่สามารถใช้ประโยชน์จากวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ได้อีกต่อไป ประกอบด้วย 3 แนวทางการบรรเทาความเสี่ยงและปริมาณขยะอวกาศ ได้แก่

1) การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อพยากรณ์ความเสี่ยงของการปะทะ

โดยการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ประกอบด้วย 3 ส่วน

ส่วนแรก จะต้องระบุตำแหน่งเริ่มต้นของวัตถุที่โคจรรอบโลก โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นดินเพื่อติดตามวัตถุอวกาศ ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมเชิงยุทธศาสตร์ทั่วโลก และดำเนินการจัดเก็บ รวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุอวกาศ

ส่วนที่สอง นำข้อมูลจากส่วนแรกมาใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการชน ถ้าผลวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างวัตถุอวกาศ (miss distance) น้อยกว่า 1 กิโลเมตร และความน่าจะเป็นการชน (collision probabilities) มากกว่า 10^{-4} ข้อมูลวิเคราะห์นี้จะถูกส่งให้กับส่วนต่อไป

ส่วนที่สาม การวิเคราะห์การตัดสินใจ เพื่อเปลี่ยนทิศทางของวงโคจรให้ปลอดภัยและลดความเสี่ยงจากการชนของวัตถุอวกาศ ซึ่งหน้าที่การปรับวงโคจรจะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของเจ้าของดาวเทียม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ความเสี่ยงของการปะทะ ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและชำนาญด้านกลศาสตร์วงโคจรที่มีความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีปกปิด และมีผลต่อความมั่นคงของประเทศ ในปัจจุบัน มีผู้ให้บริการอยู่เพียงไม่กี่รายในโลก อาทิ Space Data Association หรือ SDA ซึ่ง สทอภ. เคยใช้บริการอยู่ตั้งแต่นำส่งดาวเทียมไทยโชต หรือ THEOS-2 ขึ้นสู่วงโคจรจนถึงปี 2563 แต่การรับบริการข้อมูลจากต่างประเทศ มีข้อจำกัด คือ มีความเสี่ยงในการที่ผู้ให้บริการไม่สามารถติดต่อได้ อาจระงับการให้บริการซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามการจราจรการชนของดาวเทียม โดยเฉพาะดาวเทียมปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน สทอภ. เปลี่ยนมาใช้ระบบจัดการ

จราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON” ซึ่งพัฒนาโดยนักวิจัยผู้เชี่ยวชาญทางด้านกลศาสตร์วงโคจรของไทย เรียบร้อยแล้ว

2) การพัฒนาระบบเครือข่ายกล้องโทรทรรศน์เฝ้าระวังทางอวกาศ

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (2563) ระบุว่าปัจจุบันเครือข่ายกล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นดินเป็นเครื่องมือตรวจวัดที่ได้รับความนิยมสูงในการระบุ พิกัด และปรับปรุงข้อมูลตำแหน่งของวัตถุอวกาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง เนื่องจาก มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินการต่ำกว่าอุปกรณ์แบบอื่น อีกทั้งมีสมรรถนะในการตรวจจับขยะอวกาศที่มีขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ปัญหาที่พบของระบบตรวจจับระยะไกลชนิดนี้ คือ ไม่คงทนต่อสัญญาณรบกวน ทั้งนี้ สามารถใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ ในขณะที่ประเทศไทย ภายใต้ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีการติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ณ หอดูดาวในประเทศต่าง ๆ ประกอบด้วย

- หอดูดาว Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) สาธารณรัฐชิลี
- หอดูดาว Gao Mei Gu มณฑลยูนนาน สาธารณรัฐประชาชนจีน
- หอดูดาว Sierra Remote มลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา
- หอดูดาว SpringBrook นิวเซาว์เวลล์ (NWS) ออสเตรเลีย
- หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ ภายใต้ “โครงการเฝ้าติดตามวัตถุที่อาจมีภัยคุกคามต่อโลก” ติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร บริเวณสถานีรายงานดอยอินทนนท์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ รวมถึงนครราชสีมา ฉะเชิงเทรา และสงขลาซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งเครือข่ายกล้องโทรทรรศน์ทางไกลอัตโนมัติของประเทศไทย

อย่างไรก็ตาม สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ได้ดำเนินการ “โครงการวิจัยและพัฒนาระบบสังเกตการณ์วัตถุอวกาศ (Thai National Space-objects Observation: TNSO)” โดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง ขนาด 0.7 เมตร และอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้นแบบในการพัฒนาเชิงโครงสร้างด้านซอฟต์แวร์ระบบควบคุม เพื่อให้กล้องโทรทรรศน์ที่มีอยู่สามารถใช้ในการประมวลผลข้อมูลการวัดทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดาราศาสตร์ สำหรับใช้เป็นฟังก์ชันพื้นฐานในการต่อยอดเทคนิคการประมาณค่าพิกัดดาวเทียมปฏิบัติการ (operation satellites) ขยะอวกาศ (space debris) รวมทั้งวัตถุอวกาศใกล้โลก (near earth-objects) ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถสังเกตการณ์วัตถุอวกาศครอบคลุมทุกระยะวงโคจร ทั้ง วงโคจรใกล้โลก (Low Earth Orbit: LEO) วงโคจรระดับกลาง (Medium-Earth Orbit: MEO) และวงโคจรค้างฟ้า (Geosynchronous Orbit: GEO) ในฟังก์ชันติดตามแบบเวลาจริง (continuous tracking mode) แต่สิ่งที่ยังคงต้องพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพระบบ คือ ระบบการประมวลผลภาพดิจิทัล การประมาณค่าตัวแปร ตัวควบคุมแบบเหมาะสม และเทคนิคการประมวลสัญญาณผ่านทฤษฎีทัศนศาสตร์ ในอนาคตจะสามารถนำข้อมูลการวัดที่ได้บูรณาการร่วมกับ “ระบบจัดการจราจรทางอวกาศ (Space Traffic Management: STM)” เพื่อใช้ต่อยอดในการแจ้งเตือนดาวเทียมของไทย ต่อไป

3) การพัฒนาระบบกำจัดวัตถุอวกาศจากวงโคจร เพื่อบรรเทาความเสี่ยงของการปะทะกันของดาวเทียม

ในการกำจัดวัตถุอวกาศจากวงโคจร เพื่อบรรเทาความเสี่ยงของการปะทะกันของดาวเทียม เริ่มมีความท้าทายมากขึ้นเรื่อย ๆ จากความได้เปรียบทางเทคโนโลยีการทหาร ความมั่นคง และเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ โดยเฉพาะในปัจจุบัน ถือได้ว่าอวกาศได้กลายเป็นสถานที่ที่เข้าถึงได้ง่าย และแออัดไปด้วยจำนวนดาวเทียม และคาดว่าจะมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ และไม่อาจหยุดยั้งปรากฏการณ์เหล่านี้ได้ในอนาคต ตามเอกสารนโยบาย ปี 2561 ของบริษัทการบินอวกาศของสหรัฐอเมริกา ระบุว่าภายในสองทศวรรษ จำนวนดาวเทียมที่โคจรรอบโลกอาจเพิ่มขึ้นจำนวน 10 ถึง 16,000 เท่า ซึ่งทำให้จำนวนการแจ้งเตือนต้องเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

ประเทศต่าง ๆ มีความพยายามที่จะร่วมมือกันพัฒนาแนวทางในกำจัดวัตถุอวกาศจากวงโคจร อาทิ

- ศูนย์อวกาศเซอร์เรย์แห่งมหาวิทยาลัยเซอร์เรย์ สหราชอาณาจักร ได้พัฒนาวิธีการที่จะใช้เชือกลาก พุ่งฉมวก หรือใช้ตาข่ายคลุมขยะอวกาศ แล้วนำเศษซากดังกล่าวลงมาที่ระดับ 200 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก เพื่อให้กลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกและเผาไหม้ไปเองจนหมด (Rebecca Morelle, 2560)

- ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ได้พัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กที่มีชื่อเรียกว่า “Clean Space” ซึ่งเป็นโครงการที่ร่วมกับองค์การการบินอวกาศของยุโรป (European Space Agency: ESA) มีแนวคิดว่าจะใช้ดาวเทียมขนาดเล็กดวงหนึ่งที่มีตัวกลิปเปอร์ (clipper) เพื่อหนีบจับขยะอวกาศและส่งตัวเองกลับมายังโลก เพื่อให้ขยะอวกาศนั้นถูกเผาทำลายโดยชั้นบรรยากาศ นับเป็นการพัฒนาที่ใช้ต้นทุนด้านเทคโนโลยีสูง (พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ, 2560)
- ประเทศออสเตรีย จัดทำระบบซอฟต์แวร์ตรวจจับเป้าหมายแบบเรียลไทม์หรือตามเวลาจริง ที่จะทำนายอย่างแม่นยำว่าเมื่อใดที่วัตถุบางอย่างจะสังเกตได้ โดยรวมแล้วเทคนิคที่คิดค้นขึ้นใหม่นี้สามารถเพิ่มเวลาในการสังเกตการณ์กองขยะนอกโลกได้ถึง 6-22 ชั่วโมงต่อวัน (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)
- ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ใช้เลเซอร์ขนาดใหญ่ที่จะทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้มีขนาดเล็กลง เพื่อป้องกันการชนกับดาวเทียมที่ยังใช้งานอยู่ (อรัชมน พิเชฐวรกุล, 2562)

<u>เทคโนโลยีในการติดตามวัตถุอวกาศใกล้โลก</u>

ในปัจจุบัน มีการใช้เทคโนโลยีในการติดตามวัตถุอวกาศใกล้โลก 3 เทคโนโลยี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เทคโนโลยีในการติดตามวัตถุอวกาศใกล้โลก

เทคโนโลยีในการติดตามวัตถุอวกาศใกล้โลก	รายละเอียด
เทคโนโลยีกล้อง Passive Optical Telescope	มีหลักการคล้ายกับกล้องถ่ายรูปปกติ ใช้การสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ไปกระทบกับวัตถุแล้วยิงเข้ากล้องเรียกว่า Passive วิธีการนี้ มีราคาไม่แพง แต่ควรมีการติดกล้องกระจายไปในตำแหน่งที่เหมาะสมรอบโลก ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยี ต้นน้ำ (upstream) ของระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON”
เทคโนโลยีเรดาร์	ใช้คลื่นวิทยุยิงขึ้นไปแล้ววัดการสะท้อนคลื่นกลับมา วิธีการนี้ ใช้งบประมาณและพลังงานสูงมาก เนื่องจาก ต้องใช้สถานีเรดาร์เป็นเครือข่ายหรือโครงข่ายเรดาร์รอบโลกจำนวนมาก โดยในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เทคโนโลยีในการติดตามวัตถุอวกาศใกล้โลก	รายละเอียด
	CSpOC ของสหรัฐอเมริกา ได้ทำการตรวจการณ์อวกาศด้วยเครือข่ายเรดาร์และเครือข่ายกล้องโทรทรรศน์ภาคพื้น ซึ่งติดตั้งไว้รอบโลก และทำการขึ้นทะเบียนวัตถุในอวกาศทุกชนิดจำนวนมากกว่า 21,000 ชิ้น ที่เว็บไซต์ www.space-track.org นอกจากนี้ยังทำการแจ้งเตือนข่าวสารถึงเจ้าของดาวเทียมทุกประเทศ เพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางโคจรที่มีขยะอวกาศเข้ามาใกล้อีกด้วย ในรูปแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในกลุ่มเจ้าของดาวเทียม แต่การแจ้งเตือนของ CSpOC พบว่า มีข้อจำกัดคือ CSpOC ไม่มีข้อมูลการระบุตำแหน่ง GPS ของดาวเทียมแต่ละดวง (ข้อมูล GPS เป็นข้อมูลที่ไม่ได้เปิดเผย) ทำให้ข้อมูลที่มีการแจ้งเตือนมายังเจ้าของดาวเทียม มีความคลาดเคลื่อนสูง และหากต้องปรับวงโคจรเพื่อหลบวัตถุอวกาศทุกครั้งที่มีการแจ้งเตือน จะทำให้สูญเสียทรัพยากรหรือเชื้อเพลิงอีกด้วย
เทคโนโลยีเลเซอร์	ใช้คลื่นแสงความเข้มสูงยิงขึ้นไป เมื่อกระทบกับวัตถุแล้ววัดเฟสคลื่นที่สะท้อนกลับมา วิธีการนี้ใช้งบประมาณและพลังงานสูงมาก อย่างไรก็ตาม การยิงเลเซอร์จากสถานีภาคพื้นดินไปยังวัตถุอวกาศจะทำให้เกิดความร้อนแล้วจะค่อย ๆ ลดระดับวงโคจรลงมา แต่เทคโนโลยีนี้ ต้องใช้เวลาหลายปีในการที่จะยิงวัตถุอวกาศให้มันตกมาบนโลก เมื่อขยะอวกาศนั้นสลายไปแล้ว จึงจะสามารถใช้วงโคจรในการติดตั้งดาวเทียมดวงใหม่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.3 ความพร้อมของเทคโนโลยี

ความพร้อมของระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON” เมื่อพิจารณาจากระดับของ Technology Readiness Level หรือ TRL จะพบว่า อยู่ในระดับที่ 9 คือ Actual system proven through successful mission operations หรือ ผลงานที่พร้อมส่งมอบและสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยผ่านการพิสูจน์เรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 5.3

TRL	Definition
9	Actual System Proven Through Successful Mission Operations
8	Actual System Completed and Qualified Through Test and Demonstration
7	System Prototype Demonstration in Relevant Environment
6	System/Subsystem Model or Prototype Demonstration in Relevant Environment
5	Component and/or Breadboard Validation in Relevant Environment
4	Component and/or Breadboard Validation in Laboratory Environment
3	Analytical and Experimental Critical Function and/or Characteristic Proof-of-Concept
2	Technology Concept and/or Application Formulated
1	Basic Principals Observed and Reported

รูปที่ 5.3 Technology Readiness Level หรือ TRL ของระบบจัดการจราจรอวกาศ (Brian Sauser, 2549)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 ความพร้อมของเทคโนโลยีระบบจัดการจราจรอวกาศ

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ข้อมูลสนับสนุน
9	Actual system proven through successful mission operations.	ผลงานที่พร้อมส่งมอบและสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยผ่านการพิสูจน์ เรียบร้อยแล้ว หรือเทคโนโลยีที่พร้อมส่งมอบไปสู่การใช้งานจริง จนสามารถทดสอบการใช้งานและการติดตามผลการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง	1) รายงานผลการทดสอบ สามารถดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ข 2) จากการสัมภาษณ์ ผู้อำนวยการสำนักปฏิบัติการดาวเทียม ของ สทอภ.พบว่า ดาวเทียมไทยโชต-1 หรือ THEOS-1 ในปัจจุบันได้เริ่มใช้ระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON” เรียบร้อยแล้ว จากในอดีตที่เป็นสมาชิกของ SDA ตั้งแต่ดาวเทียมเข้าสู่วงโคจร ทำให้หน่วยงานประหยัดงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการเป็นสมาชิกรายปี ประมาณ 600,000 บาท ต่อดวง ต่อปี 3) รายงานสกู๊ปข่าว “คนไทยเก่ง สั่งไทยโชตหนีวัตถุอวกาศเฉียดใกล้สุด 100 เมตร” ระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON” ที่พัฒนาโดยนักวิจัยและวิศวกรจาก Astrolab สทอภ. คำนวณความเป็นไปได้ที่วัตถุอวกาศ (Fengyun 1C DEB) ซึ่งมี NORAD (North American Aerospace Defense) Catalog Number: 31199 จะมีโอกาสชนกับดาวเทียมไทยโชต

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ข้อมูลสนับสนุน
			(NORAD: 33396) ในวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2564 เวลา 19.03 น. (ตามเวลาประเทศไทย) โดยมีระยะใกล้ที่สุด 101 เมตร และจากการวิเคราะห์ทิศทางและระยะของวงโคจร รวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ พบว่า มีความเสี่ยงสูงมากที่จะเกิดการชนกันของดาวเทียมไทยโชต (THEOS) และวัตถุอวกาศ (กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.), 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอวกาศ

การแจ้งเตือนการชนของวัตถุอวกาศ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจให้กับผู้ใช้หรือเจ้าของดาวเทียมให้ปรับวงโคจรหลบวัตถุอวกาศหรือขยะอวกาศหลายหมื่นชิ้นบนอวกาศที่จะพุ่งชนดาวเทียมสำคัญต่าง ๆ อาทิ ดาวเทียมที่ให้บริการการนำทางด้วยระบบจีพีเอส หรือดาวเทียมที่บอกตำแหน่ง เป็นต้น โดยอุบัติเหตุการชนแต่ละครั้งในอดีต ถูกรายงานว่า ไม่มีการเตือนล่วงหน้ามาก่อนถึงความเป็นไปได้ที่ดาวเทียมอาจชนกัน และถึงแม้การแจ้งเตือนถึงความเสี่ยงของวัตถุอวกาศใด ๆ ที่โคจรเข้ามาใกล้กับดาวเทียม แต่ข้อมูลที่ได้รับนั้นมีมากถึงหลายร้อยรายการ ซึ่งการจะปรับเปลี่ยนวงโคจร เพื่อเคลื่อนที่ดาวเทียมหลบตามทุกคำเตือนย่อมเป็นไปไม่ได้ เพราะดาวเทียมแต่ละดวงมีเชื้อเพลิงที่จำกัด การเคลื่อนที่หลบในแต่ละครั้งย่อมส่งผลถึงงบประมาณและการทำงานของดาวเทียมดวงนั้น

อย่างไรก็ตาม การติดตาม วิเคราะห์ และแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้หรือเจ้าของดาวเทียม เป็นการเฝ้าระวังความปลอดภัยในห้วงอวกาศได้อย่างแม่นยำ จะช่วยลดโอกาสการชนกันที่จะนำไปสู่การเกิด “วิกฤตการณ์ Kessler หรือ Kessler Syndrome” ที่จะสร้างเศษขยะอวกาศเพิ่มขึ้นเนื่องจากจะมีการชนกันต่อไปจนเกิดเป็นเศษเล็กเศษน้อยในวงโคจร กระทั่งไม่เหลือพื้นที่ปลอดภัยในอวกาศให้ใช้ประโยชน์ได้อีก ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อดาวเทียมที่ปฏิบัติภารกิจทั้งในปัจจุบันและที่จะนำส่งขึ้นมาใหม่อนาคตอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด

6.1 การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)

ตารางที่ 6.1 การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)	
Political (P)	จุดเปลี่ยนที่สำคัญของประเทศไทยคือมีการแต่งตั้งคณะกรรมการนโยบายอวกาศแห่งชาติที่ประกอบด้วยหน่วยงานรัฐชั้นนำหลายแห่ง และเห็นชอบร่าง พ.ร.บ.กิจการอวกาศ พ.ศ. ... เพื่อให้ประเทศไทยมีกฎหมายรองรับกิจการอวกาศอย่างเป็นทางการ และมีหน่วยงานกลางที่รับผิดชอบในการบูรณาการนโยบายและแผนกิจการอวกาศ รวมถึงพัฒนากิจการอวกาศให้เกิดประโยชน์ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและความมั่นคง ซึ่งจะทำให้ไทยสามารถก้าวสู่ยุคใหม่ของกิจการอวกาศ หรือ New Space Economy (กรุงเทพธุรกิจ, 2564) และเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมและรองรับผลกระทบหรือเกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์จากการตกสู่พื้นโลกของชิ้นส่วนวัตถุอวกาศในอนาคต คณะกรรมการนโยบายอวกาศแห่งชาติ จึงได้มอบหมาย สทอภ. จัดทำ (ร่าง) พระราชบัญญัติกิจการอวกาศ พ.ศ. .... ขึ้น ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการพิจารณาให้ความเห็นจากหน่วยงานต่าง ๆ ก่อนเสนอคณะรัฐมนตรี (ชูเกียรติ น้อยฉิม, 2564) ซึ่งสอดคล้องในยุทธศาสตร์ที่ 1 ภายใต้ (ร่าง) พระราชบัญญัติกิจการอวกาศ พ.ศ. .... คือ การพัฒนากิจการอวกาศเพื่อความมั่นคง โดยมีทิศทางการดำเนินงาน คือ พัฒนาระบบเฝ้าระวังด้านอวกาศเพื่อความปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ประเทศไทยมีเป้าหมายที่จะส่งเสริมการสร้างท่าอวกาศยาน หรือ Spaceport Thailand และเป็นภาครัฐผู้ส่ง (launching state) ดังนั้น การนำระบบจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ จะสอดคล้องกับ (ร่าง) พระราชบัญญัติกิจการอวกาศ พ.ศ. .... ด้านการพัฒนากิจการอวกาศเพื่อความมั่นคง ที่มุ่งเน้นส่งเสริมการพัฒนาระบบเฝ้าระวังด้านอวกาศเพื่อความปลอดภัยในอวกาศ และนำไปใช้รองรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)	
	การสร้างท่าอวกาศยาน หรือ Spaceport Thailand ในอนาคต
Economic (E)	“เทคโนโลยีอวกาศ” มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สงผลให้เกิดการเขาถึงและการเกิดขึ้นของกิจการดานอวกาศซึ่งมีมูลคาการลงทุนที่สูงและสงผลตอภาพรวมดานเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างเลี่ยงไม่ได้ สอดรับกับผลการศึกษาของ สทอภ. ร่วมกับ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ หรือ NIDA ได้มีการวิเคราะห์มูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยที่จะเกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมอวกาศในปี 2561 พบว่า อุตสาหกรรมอวกาศในประเทศไทยจะทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสังคมที่สูงถึงประมาณ 35,559 ล้านบาท โดยเป็นผลกระทบทางเศรษฐกิจมูลค่ากว่า 29,701 ล้านบาท ซึ่งมาจากอุตสาหกรรมฐาน อุตสาหกรรมต้นน้ำ และอุตสาหกรรมปลายน้ำอันเกิดจากการใช้ประโยชน์จากดาวเทียมสื่อสารเป็นส่วนใหญ่ และผลกระทบทางสังคมซึ่งเป็นผลกระทบอื่น ๆ ที่เกิดกับความเป็นอยู่ของประชาชน ซึ่งประเมินเป็นมูลค่าประมาณ 5,858 ล้านบาท (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564) นอกจากนี้ ปัจจุบันประเทศไทยมีกิจการที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอวกาศและอุตสาหกรรมต่อเนื่องจำนวนมากกว่า 35,600 กิจการที่ก่อให้เกิดประโยชน์ทางต่อเศรษฐกิจและสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศได้ประมาณ 56,122 ล้านบาทต่อปี ในห้วงเวลานี้จึงเป็นห้วงเวลาสำคัญที่เศรษฐกิจอวกาศกำลังเริ่มต้นขึ้นในประเทศไทย ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกภาคส่วนจะต้องเริ่มตื่นตัว เตรียมความพร้อมและติดตามความก้าวหน้าในเรื่องดังกล่าว เพื่อสามารถเข้ามาใช้ประโยชน์จากเศรษฐกิจอวกาศแห่งอนาคตนี้ได้ (กรุงเทพธุรกิจ, 2564) อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยกำลังมีการเสนอแนวคิดในการสร้างท่าอวกาศยานประเทศไทย (Spaceport Thailand) เพื่อให้บริการสถานที่ส่งหรือสถานที่ลงจอดของจรวดหรือวัตถุอวกาศ ซึ่งจะเป็นโอกาสที่ดีในการสร้างห่วงโซ่อุปทานใหม่ของกิจการอวกาศ เนื่องจากจะมีการรับ-ส่งจรวดและดาวเทียมอย่างหนาแน่น ทำให้ระบบการจัดการจราจรอวกาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)	
	เป็นระบบที่มีความจำเป็นในการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนการชนกันของการขึ้นลงของจรวด ซึ่งเป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่ท่าอวกาศยานประเทศไทย (Spaceport Thailand) ควรจะต้องมีไว้คล้ายกับการจัดการจราจรอากาศในสนามบิน (airport) ทั่วไป จากการพัฒนานี้เองจะทำให้โครงสร้างภาคธุรกิจภายในประเทศ มีการขยายตัวและเกิดธุรกิจภาคเอกชนรวมถึงความร่วมมือกับนานาชาติในวงกว้าง (กรุงเทพธุรกิจ, 2564)
Social (S)	จากการเสวนาออนไลน์เรื่อง “ถอดรหัสไทยจะไปดวงจันทร์” ของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ สามารถสรุปสาระสำคัญเพื่อตอบคำถามว่า “คนไทยหรือสังคมไทยได้อะไรจากการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ” ได้ดังนี้ ดร.พันธุ์อาจ ชัยรัตน์ ผู้อำนวยการสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ ระบุว่า “การพัฒนาระบบเทคโนโลยีอวกาศ มีอยู่ 2 ส่วน คือจับต้องไม่ได้คือเราไม่รับรู้ได้ว่าเกิดอะไร และจับต้องได้คือระบบดาวเทียม ระบบอินเทอร์เน็ต การสื่อสารด้วยโทรศัพท์ ตลอดไปจนถึงอินเทอร์เน็ตไร้สายที่เราใช้งานกัน และเทคโนโลยีทางอวกาศยังเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนางานวิจัยนำไปสู่ธุรกิจได้ ทำให้เห็นสิ่งที่ตามมาคือหน่วยลงทุน มี Supply chain และจะส่งออกไปในธุรกิจอื่น ๆ ได้” จึงกล่าวได้ว่าอย่างแรกที่สังคมไทยจะได้รับจากการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ คือเส้นทางต่อยอดนวัตกรรมสู่ Start up และการสร้างอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศที่มีเป้าหมายในการมีส่วนร่วมพัฒนาระบบนิเวศนวัตกรรม (Innovation Ecosystem) ให้เกิดขึ้นจริง (กรุงเทพธุรกิจ, 2564) รศ.ดร.ปิติ ศรีแสงนาม ผู้อำนวยการศูนย์เศรษฐกิจระหว่างประเทศ ระบุว่า “เทคโนโลยีอวกาศ จะทำให้เกิดการพัฒนา Basic Science เราจะต้องสร้างและให้โอกาสนักฟิสิกส์เก่ง ๆ ได้พัฒนาตนเองในการคำนวณวงโคจร โดยร่วมมือกับนักคณิตศาสตร์ การบูรณาการข้ามศาสตร์กับนักเคมีที่จะต้องสร้างแหล่งพลังงาน ร่วมกับทีมวิศวกรที่จะต้องสร้างทั้งจรวดขนส่งและยานที่จะใช้ในการโคจร ดังนั้น Space

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)	
	program ไม่ได้ต้องการแค่นักวิทยาศาสตร์ และวิศวกร เพราะในความเป็นจริง เรายังต้องการนักบริหาร ทำงานร่วมกับนักโลจิสติกส์ เราต้องการนักการเงินฝีมือดี ๆ เราต้องการนักเศรษฐศาสตร์ที่จะมาวางแผน เราต้องการนักรัฐศาสตร์ นักความสัมพันธ์ระหว่างประเทศในการบริหารโครงการขนาดใหญ่ของภาครัฐ ให้ได้รับการสนับสนุนทั้งจากประชาชนในประเทศ และประชาคมโลกในการถ่ายทอดเทคโนโลยี" จึงกล่าวได้ว่าอย่างที่สองที่สังคมไทยจะได้รับจากการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ คือ โอกาสในการพัฒนาคน อุตสาหกรรม และเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อแก้โจทย์ยากที่ท้าทายการยกระดับองค์ความรู้ของประเทศ (กรุงเทพธุรกิจ, 2564) ดังนั้น ระบบจัดการจราจรอวกาศ จึงเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางต่อยอดนวัตกรรมสู่ Start up และการสร้างอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศ และมุ่งเน้นโอกาสในการพัฒนาคน อุตสาหกรรม และเศรษฐกิจของประเทศต่อไป
Technology (T)	เทคโนโลยีอวกาศ (space technology) เป็นการนำเอาองค์ความรู้ เทคโนโลยี วิธีการ รวมถึงเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์มาปรับใช้ให้เหมาะสมในการศึกษาด้านดาราศาสตร์ อวกาศ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบริเวณเหนือชั้นบรรยากาศของโลกมาประยุกต์ให้เกิดประโยชน์กับโลก เช่น การสร้างดาวเทียม สถานีอวกาศนานาชาติ หรือยานอวกาศโคจรรอบโลกหรือดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ เพื่อดำเนินภารกิจต่าง ๆ ในปัจจุบันเทคโนโลยีอวกาศโดยเฉพาะดาวเทียม ถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ การถ่ายภาพและส่งข้อมูลเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศกลับมายังโลก การแจ้งเตือนภัยพิบัติ หรือการสร้างเครือข่ายการติดต่อสื่อสาร เป็นต้น ทำให้แนวโน้มของการส่งดาวเทียมในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในประเทศไทย มีภาคีความร่วมมืออวกาศไทย (Thai Space Consortium) ซึ่งเป็นเครือข่ายความร่วมมืออวกาศของ 12 หน่วยงาน เพื่อร่วมวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศภายในประเทศ สร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอวกาศ เป็นก้าวสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)

ของไทยในเวทีการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ เพื่อพลิกโฉมประเทศไทยจาก “ผู้ซื้อ” เป็น “ผู้สร้าง” โดยมีในช่วงปี พ.ศ. 2564 - 2570 กำหนดแผนสร้างดาวเทียมวิจัยวิทยาศาสตร์หลายดวง โดยภาคีดังกล่าว จะก่อให้เกิดอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการสร้างดาวเทียมและธุรกิจอวกาศมากมาย ดังนั้น ภาคีความร่วมมืออวกาศไทย (Thai Space Consortium) จึงเป็นภาคีที่มีความสำคัญและคาดว่าจะเป็นกลุ่มเป้าหมายของการนำระบบจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ในอนาคตด้วย

นอกจากนี้ เทคโนโลยีการสร้างดาวเทียมแล้ว ยังมีเทคโนโลยีอวกาศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถดำเนินการได้ภายในประเทศเพื่อนำไปสู่เศรษฐกิจอวกาศใหม่ (New Space Economy) ในอนาคตได้ไม่ว่าจะเป็น

- เทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอวกาศหรือชิ้นส่วนดาวเทียม (space manufacturing/satellite manufacturing)
- เทคโนโลยีการขนส่งไปยังอวกาศหรือฐานการปล่อยจรวด (space transportation/launch)
- เทคโนโลยีการสำรวจอวกาศและวิทยาศาสตร์ (space science and exploration)
- เทคโนโลยีการสื่อสาร (broadcasting/communication / internet broadband)
- เทคโนโลยีการพยากรณ์อากาศ (meteorology)
- เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งและการนำทาง (Position/Navigation)
- เทคโนโลยีการสำรวจโลกและวิเคราะห์ข้อมูล (earth observation and data analytics)
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับการปฏิบัติการอวกาศ (space operation)
- เทคโนโลยีเฝ้าระวังด้านอวกาศเพื่อความปลอดภัย (space traffic management)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)	
	กล่าวได้ว่าสำหรับประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา มีการนำเทคโนโลยีอวกาศมาใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่องโดยมุ่งเป้าไปสู่การสร้างความยั่งยืน (sustainability) ให้กับประเทศเป็นหลัก (คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (Spaceport) ในประเทศไทย, 2564)
Environment (E)	จากการสัมภาษณ์เชิงลึกหน่วยงาน บริษัท ที่พัฒนาและเป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม พบว่า หน่วยงาน บริษัท ผู้ประกอบการหรือผู้ให้บริการดาวเทียมนั้น นิยมใช้การแจ้งเตือนการชนกันจากหน่วยงาน CSpOC ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้บริการฟรี ไม่มีค่าใช้จ่ายรายปี ต่อมา แต่พบปัญหาว่า มีกรอบเวลาที่ต้องรอการแจ้งเตือนซึ่งใช้เวลานานไม่ต่ำกว่า 3 วัน มีความล่าช้าจากการส่งข้อมูล GPS ไป-กลับสำหรับการตรวจสอบข้อมูลความถูกต้อง ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการเตือนสูง และไม่สามารถวิเคราะห์ความเสี่ยงให้หลบหลีกได้อย่างรวดเร็ว หากมีการให้บริการที่สะดวก รวดเร็ว แจ้งเตือนได้ไวต่อสถานการณ์ อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ผลเพื่อประกอบการตัดสินใจได้ จะเป็นประโยชน์และมีความสนใจอย่างมาก เนื่องจาก มีคู่แข่งที่น้อยราย ภายใต้อุตสาหกรรมอวกาศที่กำลังเติบโตอยู่ในขณะนี้ ดังนั้น การนำระบบจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ จึงเป็นโอกาสที่สำคัญของประเทศไทยและประเทศในภูมิภาคเอเชีย ที่จะเข้าไปช่วยแก้ไขปัญหาของระบบการแจ้งเตือนวัตถุอวกาศในรูปแบบเดิม ช่วยลดระยะเวลา มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และสามารถส่งข้อมูลการแจ้งเตือนให้เจ้าของดาวเทียมได้ทันท่วงที สำหรับมุมมองในประเทศไทย เป็นการส่งเสริมนักวิจัยไทยให้มีความเชี่ยวชาญในการพัฒนาและปรับปรุงระบบซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีปกปิด ลดการพึ่งพาหรือนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ในขณะที่มุมมองกับประเทศในภูมิภาคเอเชียนั้น ถือเป็นโอกาสสำหรับการนำไปใช้เชิงพาณิชย์ ที่สอดรับกับแนวโน้มของอุตสาหกรรมอวกาศในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)	
Legal (L)	ตัวอย่างเหตุการณ์ “ชิ้นส่วนจรวด Long March 5B ของสาธารณรัฐประชาชนจีนตกสู่โลกโดยไม่มีการควบคุม เมื่อวันอาทิตย์ที่ 9 พฤษภาคม 2564 ภายหลังปฏิบัติภารกิจส่งโมดูลอวกาศเทียนเหอไปยังสถานีอวกาศเทียนกงเรียบร้อยแล้ว” ทำให้หลาย ๆ ประเทศหันมาให้ความสนใจในการติดตามเส้นทางที่ชิ้นส่วนวัตถุอวกาศของจรวดดังกล่าวตกสู่พื้นโลก และแม้ว่าชิ้นส่วนจากจรวดที่ตกมาสู่พื้นผิวโลกจะไม่ได้สร้างความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน แต่กฎหมายอวกาศหรือข้อตกลงทางด้านอวกาศ ได้มีการกล่าวถึงรายละเอียดของการชดใช้ความเสียหายที่เกิดจากดาวเทียมหรือสถานีอวกาศ โดยประเทศเจ้าของวัตถุชิ้นนั้นจะต้องเป็นผู้ที่ต้องรับผิดชอบชดใช้ค่าเสียหายดังกล่าวที่เกิดขึ้น กฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ สนธิสัญญาระหว่างประเทศด้านอวกาศ (space treaties) ของสหประชาชาติ จำนวน 3 ฉบับ ได้แก่ 1) ฉบับที่ 1 คือ สนธิสัญญาว่าด้วยหลักเกณฑ์การดำเนินกิจการของรัฐในการสำรวจและการใช้อวกาศภายนอก รวมทั้งดวงจันทร์ และเคหะในท้องฟ้าอื่น ๆ ค.ศ. 1967 (outer space treaty) 2) ฉบับที่ 2 ความตกลงว่าด้วยการช่วยชีวิตนักอวกาศ การส่งคืนนักอวกาศ และการคืนวัตถุที่ส่งออกไปในอวกาศภายนอก ค.ศ. 1968 rescue agreement) 3) ฉบับที่ 3 คืออนุสัญญาว่าด้วยความรับผิดระหว่างประเทศสำหรับความเสียหายที่เกิดจากวัตถุอวกาศ ค.ศ.1972 (liability convention) โดยหน่วยงานที่ดูแลการดำเนินกิจการอวกาศของประชาคมโลก คือ สำนักงานกิจการอวกาศส่วนนอกแห่งสหประชาชาติ (United Nations Office for Outer Space Affairs - UNOOSA) ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยเป็นภาคีใน 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 คือ สนธิสัญญาว่าด้วยหลักเกณฑ์การดำเนินกิจการของรัฐในการสำรวจและการใช้อวกาศภายนอก รวมทั้งดวงจันทร์ และเคหะในท้องฟ้าอื่น ๆ ค.ศ. 1967 (outer space treaty) ฉบับที่ 2 ความตกลงว่าด้วยการช่วยชีวิตนักอวกาศ การส่งคืนนักอวกาศ และการคืนวัตถุที่ส่งออกไปในอวกาศภายนอก ค.ศ. 1968 rescue agreement) ดังนั้น เมื่อมีชิ้นส่วน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PESTEL Analysis)	
	จากอวกาศตกในประเทศไทย ประเทศไทยต้องส่งคืนชิ้นส่วนจากอวกาศนั้น ให้แก่ประเทศผู้เป็นเจ้าของวัตถุอวกาศโดยทันทีหากได้รับการร้องขอ อย่างไรก็ตาม ประเทศไทย ยังไม่ได้เป็นภาคีในฉบับที่ 3 คืออนุสัญญาว่าด้วยความรับผิดระหว่างประเทศสำหรับความเสียหายที่เกิดจากวัตถุอวกาศ ค.ศ.1972 (liability convention) ส่งผลให้ในแง่ของกฎหมาย ประเทศไทยไม่สามารถปรับใช้สนธิสัญญานี้ กับประเทศผู้เป็นเจ้าของวัตถุอวกาศเพื่อเรียกค่าเสียหาย หากชิ้นส่วนวัตถุอวกาศเหล่านั้นก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน (ชูเกียรติ น้อยฉิม , 2564) ดังนั้น การนำระบบจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ สำหรับติดตามเฝ้าระวัง วิเคราะห์ และแจ้งเตือน เพื่อความปลอดภัยของดาวเทียมที่ปฏิบัติภารกิจอยู่ในห้วงอวกาศทั้งปัจจุบันและอนาคตอีกหลายหมื่นดวง รวมถึงชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนบนโลกอีกด้วย

6.2 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT Analysis)

ตารางที่ 6.2 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกและภายใน (SWOT Analysis)

จุดแข็ง (S-Strengths)	จุดอ่อน (W-Weaknesses)
• วิเคราะห์วงโคจรของวัตถุอวกาศที่มีความเสี่ยงในการชน ได้มากกว่า 21,000 ชิ้น แจ้งเตือนความเสี่ยงล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 7 วัน และแจ้งเตือน 4 ครั้งต่อวัน • วิเคราะห์ระยะห่างจากดาวเทียมกับวัตถุอวกาศแต่ละชิ้น และคาดการณ์ความน่าจะเป็นความเสี่ยงการชน และส่งผลการวิเคราะห์ให้กับหน่วยปฏิบัติการดาวเทียม เพื่อประกอบการตัดสินใจและวางแผนการหลบเลี่ยงและปรับโคจรหนีวัตถุอวกาศ ต่อไป • สามารถปรับเปลี่ยนการคัดกรองระยะเข้าใกล้ระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศตาม	• ระบบเป็นเทคโนโลยีปกปิด จึงมีความซับซ้อนต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญหรือหรือมีประสบการณ์เท่านั้นในการแก้ไข/บำรุงรักษา ซึ่งจำนวนผู้เชี่ยวชาญในประเทศไทย มีจำนวนน้อยมาก

(miss distance screening threshold) ที่ต้องการ ● วิเคราะห์ผล โดยใช้ค่าตำแหน่งตั้งต้นของวัตถุอวกาศได้หลายรูปแบบ เช่น Two-Line Element (TLE) และค่า Global Positioning System (GPS) เป็นต้น แสดงถึงความยืดหยุ่นของระบบ ● เป็นการพัฒนาระบบด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ● ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงและลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ	
โอกาส (O-Opportunities)	**อุปสรรค (T-Threats)**
● เป็นการพัฒนาระบบการจัดการจราจรอวกาศด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อพยากรณ์ความเสี่ยงของการปะทะที่แรกของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ● หน่วยงานที่ให้บริการในเชิงพาณิชย์มีน้อยมาก เนื่องจาก เป็นเทคโนโลยีปกปิด ● ก่อให้เกิดรายได้ในอุตสาหกรรมอวกาศต่างประเทศ ผ่านการอนุญาตให้ใช้สิทธิสามารถดำเนินการได้ในตลาดต่างประเทศที่ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิไม่มีความเชี่ยวชาญหรือคุ้นเคย ● การเพิ่มความแพร่หลายของเครื่องหมายการค้า (ระบบจัดการจราจรอวกาศ) ที่ผู้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิได้ช่วยทำการตลาดในภูมิภาคอื่น ๆ ● สร้างความน่าเชื่อและแสดงขีดความสามารถทางเทคโนโลยีอวกาศของ	● ไม่มีหน่วยงานกำกับกิจการอวกาศให้เป็นเอกภาพในภาพรวมอย่างเป็นรูปธรรม ● ไม่มีกฎหมายอวกาศและกฎหมายที่เกี่ยวข้องภายในประเทศอย่างเป็นรูปธรรม (มีเพียงร่าง) ● มีหน่วยงานหรือบริษัทต่างชาติที่มีให้บริการการจัดการจราจรอวกาศ อยู่หลายบริษัท เช่น หน่วยงานของรัฐ CSpOC ประเทศสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งเมื่อปี 2548 และให้บริการฟรี หรือหน่วยงานเอกชน SDA ประเทศสหราชอาณาจักร ก่อตั้งเมื่อปี 2552 เป็นต้น

ประเทศไทยในการก้าวเข้าสู่การเป็นผู้นำ
ด้านอุตสาหกรรมอวกาศของภูมิภาค
เอเชียในทุกภาคส่วน

6.3 การกำหนดกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด (STP Marketing)

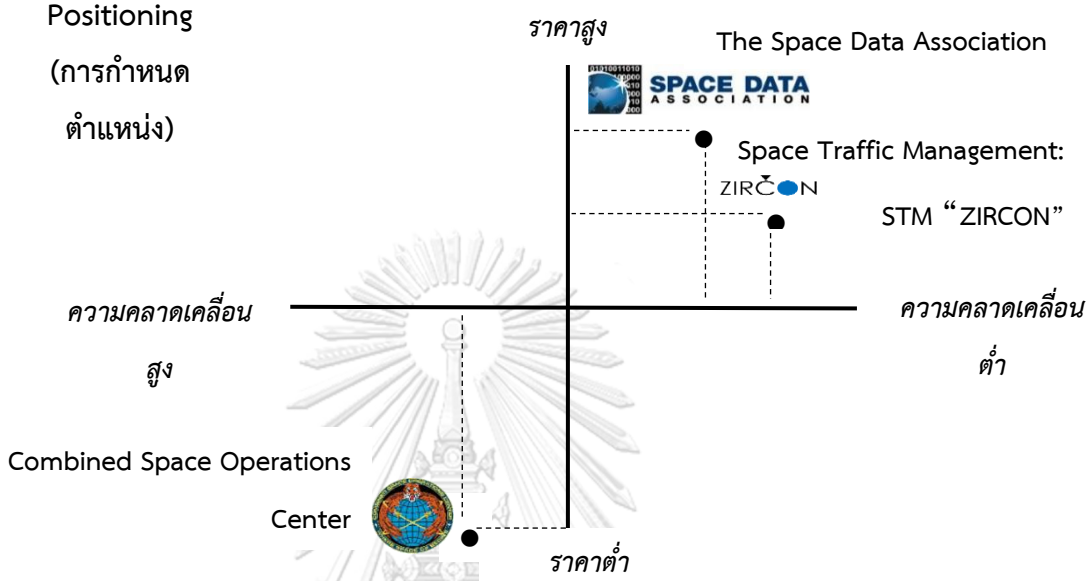
ตารางที่ 6.3 การกำหนดกลุ่มเป้าหมายทางการตลาด (STP Marketing)

STP Marketing	รายละเอียด
Segmentation (การจัดกลุ่มลูกค้า)	แบ่งตามหลักภูมิศาสตร์ (geographic segmentation) ได้แก่ ประเทศไทย และประเทศในภูมิภาคเอเชีย เนื่องจาก อยู่ในช่วงระดับการพัฒนาด้านอวกาศระดับตั้งแต่ระดับสูง กลาง หรือเพิ่งเริ่มต้น ผสมกันไปในภูมิภาค นอกจากนี้ ยังมุ่งเน้นประเทศที่มีความสัมพันธ์ด้านอวกาศกับประเทศไทยเป็นหลักด้วย จากการสรุปข้อมูลของรายงานของสถาบันนโยบายยุทธศาสตร์ออสเตรเลียประจำเดือนมิถุนายน ปี 2562 ระบุว่า “ประเทศต่าง ๆ ในภูมิภาคอินโดแปซิฟิกที่ดำเนินโครงการด้านอวกาศอย่างแข็งขันยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย สิงคโปร์ มาเลเซีย เวียดนาม เกาหลีใต้ ฟิลิปปินส์ และไต้หวัน ต่างกำลังพัฒนาขีดความสามารถการแข่งขันด้านอวกาศ และมีแนวโน้มของการพัฒนาและสร้างดาวเทียมขนาดเล็กที่ผลิตขึ้นในประเทศนั้นปรากฏอย่างเด่นชัดไปทั่วทั้งภูมิภาค”
Targeting (กลุ่มลูกค้า)	ตลาดเฉพาะกลุ่ม (niche market) เนื่องจาก ได้แก่ กลุ่มที่มีดาวเทียมอยู่ในวงโคจรต่ำจะต้องมีการพัฒนาและมีแผนการสร้างดาวเทียมตลอดจนให้บริการดาวเทียม โดยต้องอาศัยองค์ความรู้ ความชำนาญเชี่ยวชาญและงบประมาณสูง ได้แก่ 1) หน่วยงานที่พัฒนา/บริษัทที่เป็นผู้ประกอบการดาวเทียมหรือให้บริการดาวเทียม 2) หน่วยงานหรือบริษัทที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนามีผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต โดยจากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มเป้าหมายตามข้อ 1) และ 2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

STP Marketing	รายละเอียด
	พบว่า หน่วยงานภายในประเทศไทย มีแนวคิดการพัฒนาและการสร้างดาวเทียมสำรวจโลกหรือดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติมากที่สุด (วงโคจรระดับต่ำ) รองลงมาเป็นดาวเทียมสื่อสารหรือโทรคมนาคม (วงโคจรระดับกลาง) และดาวเทียมอินเทอร์เน็ต หรือ IOT (วงโคจรระดับต่ำ) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ต้นทุนที่ต่ำทำให้เทคโนโลยีดาวเทียมถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ ยังพบว่าหลายหน่วยงานมีความตระหนักถึงภัยคุกคามจากอวกาศ อันเนื่องมาจากแนวโน้มและกระแสการส่งดาวเทียมขึ้นไปบนท้องฟ้าได้ปริมาณครั้งละหลายพันดวง โดยในปัจจุบัน ประเทศไทยมีแนวโน้มการสร้างดาวเทียมขนาดเล็ก อาทิ ดาวเทียมขนาดเล็ก ภายใต้โครงการ THEOS-2 (THEOS-2 -Small Satellite) ดาวเทียม Thai Space Consortium (TSC-P TSC-1 TSC-2) และดาวเทียม CuteSat ต่าง ๆ ในขณะที่หน่วยงานประเทศในภูมิภาคเอเชีย อาทิ สาธารณัฐจีน (ไต้หวัน) สิงคโปร์ และอินโดนีเซีย มีแนวคิดการพัฒนาและการสร้างดาวเทียมสำรวจโลกหรือดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติมากที่สุด (วงโคจรระดับต่ำ) รองลงมาเป็นดาวเทียมสื่อสารหรือโทรคมนาคม (วงโคจรระดับกลาง) ตามลำดับโดยมีคาดการณ์ว่าที่ตรงกันว่า การส่งดาวเทียมขึ้นไปในอนาคต จะมีแต่อันตรายจากขยะอวกาศอย่างไม่มีที่สิ้นสุด เมื่อเกิดการชนกันขึ้นมาแล้ว จะก่อให้เกิดขยะอวกาศ เศษซากเหล่านั้น จะชนต่อไปเรื่อย ๆ นอกจากนี้ ยังสูญเสียงบประมาณ สูญเสียกำลังคนในการพัฒนา อีกทั้งสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของนักบินอวกาศที่กำลังปฏิบัติภารกิจ มีเศษซากของการเผาไหม้ ตกลงยังโลกสร้างอันตรายให้แก่มวลมนุษยชาติ ดังนั้นการมีระบบติดตาม วิเคราะห์ และแจ้งเตือนที่แม่นยำ เที่ยงตรง และความคลาดเคลื่อนต่ำ เพื่อนำมาใช้บริการติดตามและแจ้งเตือนดาวเทียมของตนเอง แม้ว่าจะมีการให้บริการฟรี แต่มีความล่าช้าในการติดต่อสื่อสาร ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งสูง เนื่องจาก ผู้ให้บริการฟรีไม่มีค่า GPS ของดาวเทียม เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

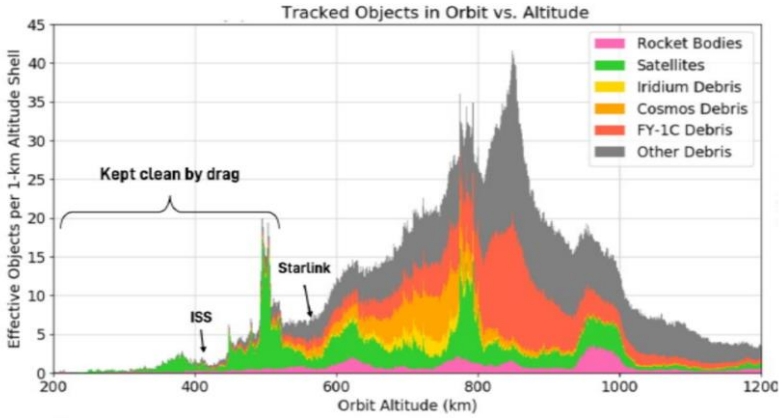
STP Marketing	รายละเอียด
Positioning (การกำหนดตำแหน่ง)	

6.4 การวิเคราะห์สถานการณ์ทางการตลาด (marketing situation analysis)

จากข้อมูลของ Union of Concerned Scientists (2563) ระบุว่า มีดาวเทียมที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติการในอวกาศ จำนวน 3,372 ดวง พบว่าส่วนมากเป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จำนวน 2,612 ดวง วงโคจรระดับปานกลาง (Medium Earth Orbit: MEO) 139 ดวง วงโคจรค้างฟ้า (Geo-Stationary Earth Orbit: GEO) 562 ดวง และวงโคจรรูปวงรี (Highly Elliptical Orbit: HEO) 59 ดวง และจากข้อมูลแนวโน้มของอุตสาหกรรมอวกาศ ปี 2562 ของ Bank of America Merrill Lynch พบว่ากว่า 80 ประเทศทั่วโลก มีดาวเทียมเป็นของตัวเองโคจรอยู่บนห้วงอวกาศ และในอนาคตจะมีการส่งดาวเทียมเพิ่มมากขึ้น อาทิ ดาวเทียม Starlink ของบริษัท SpaceX ได้ลงทะเบียนดาวเทียมกว่า 30,000 ดวงกับ International Telecommunication Union หรือ ITU โดยระยะ 2-3 ปีนี้ มีแผนจะส่งดาวเทียม จำนวนประมาณ 1,500 ดวงขึ้นสู่วงโคจร โดยจะนำส่งไปทีละ 60 ดวงพร้อมกัน ซึ่งดาวเทียมเหล่านี้ เป็นกลุ่มดาวเทียมสื่อสารวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) อย่างไรก็ตาม ยังมีบริษัทและองค์กรอวกาศของประเทศต่าง ๆ มีกำหนดส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศอีกหลายพันดวงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ภูมิภาคเอเชีย ได้ตระหนักถึง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความสำคัญของกิจกรรมด้านอวกาศมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ประเทศอินโดนีเซีย สิงคโปร์ เวียดนาม และไทยที่มีแผนการพัฒนาและสร้างดาวเทียมหลายพันดวงภายในระยะเวลา 7 ปีข้างหน้านี้ โดยจากการคาดการณ์ของ European Space Agency หรือ ESA พบว่า เมื่อมีการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว จะทำให้มีแนวโน้มของขยะอวกาศสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.1 บ่งชี้ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงบริเวณวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ที่ระยะประมาณ 1,000 กิโลเมตร พบว่า เป็นบริเวณที่มีขยะอวกาศประเภท Other Debris จำนวนมาก ซึ่งจะเป็นภัยต่อดาวเทียมปฏิบัติการดวงอื่น ๆ ตลอดจนชีวิตของนักบินอวกาศที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติภารกิจด้วย



รูปที่ 6.1 จำนวนขยะอวกาศในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO)
(Ramish Zafar, 2563)

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกหน่วยงาน/บริษัทที่พัฒนาและเป็นผู้ประกอบการดาวเทียมหรือให้บริการดาวเทียม พบว่า หน่วยงาน บริษัท ผู้ประกอบการหรือผู้ให้บริการดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) นั้น นิยมใช้การแจ้งเตือนการชนกันจากหน่วยงาน CSpOC ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้บริการฟรี ไม่มีค่าใช้จ่ายรายปี ต่อมาพบปัญหาและข้อจำกัด อาทิ มีกรอบเวลาที่ต้องรอการแจ้งเตือน ซึ่งใช้เวลานาน มีความคลาดเคลื่อนในการเตือนสูง มีความล่าช้าจากการส่งข้อมูล GPS ไป-กลับสำหรับการตรวจสอบข้อมูลพิกัดความถูกต้อง และไม่สามารถวิเคราะห์ความเสี่ยงให้หลบหลีกได้ทันที

ในขณะที่กลุ่ม หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต มีความตระหนักถึงความปลอดภัยในอวกาศ เนื่องจาก แนวโน้มการส่งดาวเทียมขนาดเล็กที่สูงขึ้น ทำให้เพิ่มความเสี่ยงและอันตรายใน

ห้วงอวกาศเป็นอย่างมาก การพัฒนาและสร้างดาวเทียมใช้งบประมาณสูง รวมถึงกำลังคนที่ต้องอาศัยความชำนาญและความเชี่ยวชาญ จึงเป็นที่น่าเสียดายหากไม่มีการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนที่สะดวกรวดเร็ว ไวต่อสถานการณ์ จะทำให้สามารถวิเคราะห์ผลของความเสี่ยง เพื่อประกอบการตัดสินใจในการปรับวงโคจรได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันได้ อย่างไรก็ตาม ระบบการแจ้งเตือนการชนของดาวเทียมเป็นระบบที่น่าสนใจ มองว่ามีโอกาสสูงในการทำการตลาดสอดคล้องกับแนวโน้มดาวเทียมในอนาคต อีกทั้งยังมีคู่แข่งที่น้อยราย ภายใต้อุตสาหกรรมอวกาศที่กำลังเติบโตอยู่ในขณะนี้

6.5 การวิเคราะห์ลูกค้า (consumer analysis)

ผู้วิจัยสามารถแบ่งกลุ่มลูกค้าตามลักษณะของธุรกิจ ซึ่งมีกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย คือ “กลุ่มลูกค้าที่เป็นลูกค้าองค์กร หน่วยงาน หรือบริษัท หรือเรียกว่า Business to Business (B2B)” ประกอบด้วย

1) หน่วยงาน/บริษัทที่พัฒนาและเป็นผู้ประกอบการดาวเทียมหรือให้บริการดาวเทียม
2) หน่วยงาน/บริษัท/โครงการหรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต ซึ่งมีแผนการพัฒนาดาวเทียมในปัจจุบันจนถึงอีก 7 ปีข้างหน้า

6.6 การวิเคราะห์คู่แข่ง (competitor analysis)

ในการวิเคราะห์คู่แข่งสามารถเปรียบเทียบการใช้งานของระบบการแจ้งเตือนการชน ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.4 ผลการเปรียบเทียบการใช้งานของระบบการแจ้งเตือนการชน

การใช้งาน (FEATURES)	**“ZIRCON”**	**“SDA”**	**“CSpOC”**
ติดตามความเสี่ยง ที่จะชนระหว่างดาวเทียมกับดาวเทียม หรือระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ อาทิ ขยะอวกาศ	√	√	√
วิเคราะห์วงโคจร ของวัตถุอวกาศอื่น ๆ มากกว่า 21,000 ชิ้น และวิเคราะห์ระยะห่างจากดาวเทียมกับดาวเทียม หรือระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ แต่ละชิ้น	√	√	√
คาดการณ์ความน่าจะเป็น ของการชน เมื่อมีผลการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างวัตถุอวกาศ (MISS DISTANCE) น้อยกว่า 10 กิโลเมตร	√	√	×

การใช้งาน (FEATURES)	“ZIRCON”	“SDA”	“CSpOC”
คาดการณ์ความน่าจะเป็น ของการชน เมื่อมีผลการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างวัตถุอวกาศ (MISS DISTANCE) น้อยกว่า 1 กิโลเมตร	√	√	√
วิเคราะห์ผล โดยใช้ TWO-LINE ELEMENT (TLE) และค่า GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) จากดาวเทียมได้ทันที ทำให้เจ้าของดาวเทียมสามารถปรับวงโคจรได้ทันทีเมื่อได้รับการแจ้งเตือน	√	×	×
วิเคราะห์ผล โดยใช้ TWO-LINE ELEMENT (TLE) และต้องรอค่า GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) จากเจ้าของดาวเทียม ทำให้มีความล่าช้า	×	√	√
ความถี่ของการแจ้งเตือนความเสี่ยง ที่จะชนระหว่างดาวเทียมกับดาวเทียม หรือระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 3 วัน (วันละ 1 ครั้ง)	√	√	×
ความถี่ของการแจ้งเตือนความเสี่ยง ที่จะชนระหว่างดาวเทียมกับดาวเทียม หรือระหว่างดาวเทียมกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 7 วัน (วันละไม่ต่ำกว่า 4 ครั้ง)	√	×	×
ให้บริการฟรี ไม่มีค่าใช้จ่าย	×	×	√

หมายเหตุ:

1) Space Traffic Management: STM หรือ “ZIRCON”
2) The Space Data Association (SDA)
3) Combined Space Operations Center (CSpOC)

6.7 แผนธุรกิจ

1) Problem (ปัญหาของกลุ่มเป้าหมาย)

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกหน่วยงาน บริษัท ที่พัฒนาและเป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม พบว่า หน่วยงาน บริษัท ผู้ประกอบการหรือผู้ให้บริการดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) นั้น นิยมใช้การแจ้งเตือนการชนกันจากหน่วยงาน CSpOC ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้บริการฟรี ไม่มีค่าใช้จ่ายรายปี ต่อมา แต่พบปัญหาและข้อจำกัด อาทิ มีกรอบเวลาที่ต้องรอการแจ้งเตือน ซึ่งใช้เวลานาน มีความคลาดเคลื่อนในการเตือนสูง มีความล่าช้าจากการส่งข้อมูล GPS ไป-กลับสำหรับการตรวจสอบข้อมูลพิกัดความถูกต้อง และไม่สามารถวิเคราะห์ความเสี่ยงให้หลบหลีกได้ทันที

ในขณะที่หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต มีความตระหนักถึงความปลอดภัยในอวกาศ เนื่องจากแนวโน้มการส่งดาวเทียมขนาดเล็กที่สูงขึ้น ทำให้เพิ่มความเสี่ยงและอันตรายในห้วงอวกาศเป็นอย่างมาก การพัฒนาและสร้างดาวเทียมใช้งบประมาณสูง รวมถึงกำลังคนที่ต้องอาศัยความชำนาญและความเชี่ยวชาญ จึงเป็นที่น่าเสียดายหากไม่มีการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนที่สะดวก รวดเร็ว ไวต่อสถานการณ์ จะทำให้สามารถวิเคราะห์ผลของความเสี่ยง เพื่อประกอบการตัดสินใจในการปรับวงโคจรได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันได้ อย่างไรก็ตาม ระบบการแจ้งเตือนการชนของดาวเทียม เป็นระบบที่น่าสนใจ มีโอกาสสูงในการทำการตลาดสอดคล้องกับแนวโน้มดาวเทียมในอนาคต อีกทั้งยังมีคู่แข่งที่น้อยรายภายใต้อุตสาหกรรมอวกาศที่กำลังเติบโตอยู่ในขณะนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) Customer Segment (กลุ่มเป้าหมาย)

กลุ่มเป้าหมาย ประกอบด้วย หน่วยงาน บริษัท ผู้ประกอบการหรือผู้ให้บริการดาวเทียม และหน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต ภายในประเทศไทย และประเทศในภูมิภาคเอเชีย

3) Unique Value Proposition (ธุรกิจนี้สร้างคุณค่าหรือมีจุดเด่นเช่นไร)

- วิเคราะห์วงโคจรของวัตถุอวกาศ ได้มากกว่า 21,000 ชิ้น แจ้งเตือนความเสี่ยงล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 7 วัน และแจ้งเตือน 4 ครั้งต่อวัน

- วิเคราะห์ระยะห่างจากดาวเทียมกับวัตถุอวกาศแต่ละชิ้น และคาดการณ์ความน่าจะเป็นของการชน
- คาดการณ์ความน่าจะเป็นของการชน เมื่อมีผลการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างวัตถุอวกาศ (miss distance) น้อยกว่า 1 กิโลเมตร
- วิเคราะห์ผล โดยใช้ Two-Line Element (TLE) และค่า Global Positioning System (GPS) จากดาวเทียมได้ทันที ทำให้เจ้าของดาวเทียม สามารถปรับวงโคจรได้ทันทีเมื่อได้รับการแจ้งเตือน
- เป็นการพัฒนาระบบด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อพยากรณ์ความเสี่ยงของการปะทะที่แรกของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

4) Solution (จะแก้ปัญหาให้กลุ่มเป้าหมายได้เช่นไร)

การแจ้งเตือนการชนของวัตถุอวกาศ ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจให้กับผู้ใช้หรือเจ้าของดาวเทียมให้ปรับวงโคจรหลบวัตถุอวกาศ หรือขยะอวกาศหลายหมื่นชิ้นบนอวกาศ โดยอุบัติเหตุการชนแต่ละครั้งในอดีต ถูกรายงานว่า ไม่มีการเตือนล่วงหน้ามาก่อนถึงความเป็นไปได้ที่ดาวเทียมอาจชนกัน และถึงแม้การแจ้งเตือนถึงความเสี่ยงของวัตถุอวกาศใด ๆ ที่โคจรเข้ามาใกล้กับดาวเทียม แต่ข้อมูลที่ได้รับนั้นมีมากถึงหลายร้อยรายการต่อสัปดาห์ ซึ่งการจะปรับวงโคจร เพื่อเคลื่อนที่ดาวเทียมหลบตามทุกคำเตือนย่อมเป็นไปไม่ได้ เพราะดาวเทียมแต่ละดวงมีเชื้อเพลิงที่จำกัด การเคลื่อนที่หลบในแต่ละครั้งย่อมส่งผลถึงงบประมาณและการทำงานของดาวเทียมดวงนั้น

อย่างไรก็ตาม การแจ้งเตือนการชนของวัตถุอวกาศจะช่วยลดปัจจัยเสี่ยงของปัญหาที่เรียกว่า “วิกฤตการณ์ Kessler หรือ Kessler Syndrome” คือ สถานการณ์ที่ความหนาแน่นของวัตถุในวงโคจรโลกต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ที่เกิดการชนกันระหว่างวัตถุอวกาศ และการชนกันแต่ละครั้ง จะสร้างเศษขยะอวกาศเพิ่มขึ้น และจะมีการชนกันต่อไปจนเกิดเศษเล็กเศษน้อยในวงโคจร กระทั่งไม่เหลือพื้นที่ปลอดภัยในอวกาศระดับชั้นวงโคจรให้ใช้ประโยชน์ได้อีก ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อดาวเทียมที่จะปฏิบัติภารกิจในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) Channels คือ (จะนำเสนอสินค้าไปยังกลุ่มเป้าหมายอย่างไร)

การอนุญาตให้ใช้สิทธิ (licensing) คือ การที่ผู้พัฒนาระบบจัดการจราจรอวกาศ (licensor) อนุญาตให้หน่วยงานผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิ (licensee) สามารถใช้ระบบจัดการจราจรอวกาศได้ตามขอบเขตและเงื่อนไขที่ตกลงกัน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเป็นเจ้าของ (สำนักงานจัดการสิทธิเทคโนโลยี, ม.ป.ป.) ในรูปแบบอนุญาตให้ใช้สิทธิ โดยไม่จำกัดจำนวนผู้รับอนุญาต (non-exclusive licensing) ซึ่งจะสามารถดำเนินการได้ แม้จะไม่มีผู้เชี่ยวชาญหรือชำนาญด้านระบบดังกล่าว

6) Revenue Streams (ประมาณการรายได้)

ผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) จะต้องจ่ายค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (disclosure fee) และค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **ค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (disclosure fee)** เป็นค่าธรรมเนียมที่ผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ชำระให้แก่ผู้พัฒนาระบบจัดการจราจรอวกาศ (licensor) เพื่อตอบแทนการเข้าถึงเทคโนโลยี อีกทั้งยังเป็นการแสดงถึงความพร้อมและความตั้งใจของผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ในการขอใช้สิทธิระบบจัดการจราจรอวกาศ จะต้องจ่ายค่าตอบแทนทันทีในวันทำสัญญา หรือภายในวันที่กำหนดตามสัญญาถัดจากวันลงนามตกลงรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี เมื่อตกลงรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีแล้วจะต้องจ่ายจำนวน 6,000,000 บาท จำนวน 1 ครั้ง โดยมีข้อมูลประกอบการพิจารณา ดังนี้
  - **อัตราคิดลดของระบบการจัดการจราจรอวกาศ เท่ากับร้อยละ 40** เนื่องจากระบบจัดการจราจราจรอวกาศ มีความเสี่ยงสูง ต้องสร้างความเข้าใจ ความตระหนักและการรับรู้ในระบบเพื่อนำไปสู่กลุ่มตลาดที่มีอยู่แล้ว โดยอ้างอิงจากอัตราคิดลดที่ใช้ในการเจรจาต่อรองการอนุญาตใช้สิทธิ แบ่งตามลักษณะธุรกิจและเทคโนโลยี ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 อัตราคิดลดที่ใช้ในการเจรจาต่อรองการอนุญาตใช้สิทธิ แบ่งตามลักษณะธุรกิจและเทคโนโลยี

อัตราคิดลด	ลักษณะของธุรกิจและเทคโนโลยี
10 – 18%	กรณีไม่มีความเสี่ยงเลย
15 - 20%	กรณีความเสี่ยงต่ำมาก เช่น สิทธิบัตรที่มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงไปจากเทคโนโลยีหรือสิทธิบัตรเดิม ลักษณะของเทคโนโลยีเป็นประเภทที่ตลาดหรือลูกค้าเข้าใจและรับรู้เป็นอย่างดี มีความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์สูงอยู่แล้ว
20 – 30%	กรณีมีความเสี่ยงต่ำ เช่น สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าที่ใช้สอยหรือคุณลักษณะใหม่ ลักษณะของเทคโนโลยีเป็นประเภทที่ตลาดหรือลูกค้าเข้าใจและรับรู้เป็นอย่างดี และมีข้อมูลหลักฐานที่แสดงถึงความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์
25 -35%	กรณีมีความเสี่ยงปานกลาง เช่นเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ลักษณะของเทคโนโลยีเป็นประเภทที่ตลาดหรือลูกค้าเข้าใจและรับรู้เป็นอย่างดี และมีข้อมูลหลักฐานที่แสดงถึงความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์
30 – 40%	กรณีมีความเสี่ยงสูง เช่น ผลิตภัณฑ์ใหม่ ต้องสร้างความเข้าใจ ความตระหนัก และการรับรู้ในเทคโนโลยีหรือสิทธิบัตร เป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำการตลาดไปสู่กลุ่มตลาดที่มีปรากฏอยู่แล้ว
35 – 45%	กรณีมีความเสี่ยงสูงมาก เช่นเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่ใช้เทคโนโลยีใหม่ และมุ่งเน้นการสร้างตลาดกลุ่มใหม่
50 - 70%	กรณีมีความเสี่ยงรุนแรง เช่น เป็นลักษณะของบริษัทจัดตั้งใหม่ ผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่ได้มีการทดลองพิสูจน์ กรณีนี้มีความเสี่ยงสูงมาก เนื่องจากโอกาสในการล้มเหลวที่จะพัฒนาเทคโนโลยีไม่สำเร็จ และทำให้ไม่ได้รับผลตอบแทนตามที่คาดการณ์ไว้ หรือผลตอบแทนมีค่าเป็นศูนย์

(สิทานนท์ อมตเวทย์, 2559 อ้างถึง Razgaitis, 2546)

- **จำนวนของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ในปี 2564 จำนวน 2,612 ดวง (UCSUSA, 2564)** แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง
- **คิดส่วนแบ่งการตลาดจำนวนร้อยละ 0.5** ของจำนวนของดาวเทียมระดับวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ทั้งหมด
- **อัตราค่าให้บริการ จำนวน 300,000 บาท** ต่อดาวเทียม 1 ดวง จะได้เป็นตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ส่วนแบ่งการตลาดของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO)

ดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Leo Earth Orbit: LEO) (2,612 ดวง ข้อมูล ณ วันที่ 1 มกราคม 2564)	ปีที่ 1	ปีที่ 2 ส่วนแบ่งตลาด 0.5% (หน่วย: ดวง)	ปีที่ 3 ส่วนแบ่งตลาด 1% (หน่วย: ดวง)	ปีที่ 4 ส่วนแบ่งตลาด 1.5% (หน่วย: ดวง)	ปีที่ 5 ส่วนแบ่งตลาด 2% (หน่วย: ดวง)
	-	13	26	39	52

ซึ่งมีแผนประมาณการทางการเงิน ประกอบด้วย รายได้และค่าใช้จ่าย ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 แผนประมาณการทางการเงิน

รายได้	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
รายได้	0.00	3,900,000.00	7,800,000.00	11,700,000.00	15,600,000.00
รายได้รวม	0.00	**3,900,000.00**	**7,800,000.00**	**11,700,000.00**	**15,600,000.00**
ค่าใช้จ่าย					
1. เครื่องประมวลผลระดับสูง พร้อมชุดโปรแกรมระบบปฏิบัติการ	3,000,000.00				
2. อุปกรณ์สนับสนุนการประมวลผลระดับสูง	1,000,000.00				
3. ค่าบำรุงรักษาระบบ		300,000.00	300,000.00	300,000.00	300,000.00
4. ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร		1,170,000.00	2,340,000.00	3,510,000.00	4,680,000.00
ค่าใช้จ่ายจ่าย	**4,000,000.00**	**1,470,000.00**	**2,640,000.00**	**3,810,000.00**	**4,980,000.00**
กระแสเงินสดสุทธิ	**(4,000,000.00)**	**2,430,000.00**	**5,160,000.00**	**7,890,000.00**	**10,620,000.00**
กระแสเงินสดสุทธิรวม					**22,100,000.00**

จากตารางที่ 6.8 ข้างต้น จึงนำกระแสเงินสดสุทธิในปีที่ 2-5 มาพิจารณาหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) โดยใช้อัตราคิดลดร้อยละ 40 และมีสูตรดังนี้

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^{T} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยมีตัวแปร คือ C_0 = งบประมาณลงทุนครั้งแรก

T = ระยะเวลาในการใช้สิทธิ

C_0 = กระแสเงินสด ณ ปีที่ i

r = อัตราคิดลด (ในกรณีนี้ มีค่าร้อยละ 40)

จะได้เป็น

$$NPV = -4{,}000{,}000 + \frac{2{,}430{,}000}{(1+0.40)^1} + \frac{5{,}160{,}000}{(1+0.40)^2} + \frac{7{,}890{,}000}{(1+0.40)^3} + \frac{10{,}620{,}000}{(1+0.40)^4}$$

$$NPV = 6{,}008{,}204.91$$

ดังนั้น ระบบจัดการจราจรอวกาศ จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ จำนวน 6,008,204.91 บาท (-หกล้านแปดพันสองร้อยสี่บาท เก้าสิบเอ็ดสตางค์-) จึงคิดเป็นค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (disclosure fee) โดยผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) จะต้องจ่าย 1 ครั้ง จำนวน 6,000,000.00 บาท (-หกล้านบาทถ้วน-)

- **ค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee)** จะเป็นค่าธรรมเนียมที่ผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ชำระให้แก่ผู้พัฒนาระบบจัดการจราจรอวกาศ (licensor) เพื่อตอบแทนการใช้ระบบและคิดเป็นร้อยละของรายได้ของการนำระบบจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ในแต่ละปี และจะมีการทบทวน (revised) ค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) ทุก 2 ปี โดยพิจารณาจากผลการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลอัตราค่าตอบแทนการใช้สิทธิแบ่งตามรายอุตสาหกรรม จำนวน 1,533 รายการ จากฐานข้อมูล Royalty Source ในช่วงปี 2523-2543 ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 อัตราค่าตอบแทนการใช้สิทธิแบ่งตามรายอุตสาหกรรม

ประเภทของอุตสาหกรรม	จำนวนการอนุญาตใช้สิทธิ	อัตราค่าตอบแทนการใช้สิทธิ (Royalty Fee) คิดเป็นร้อยละจากรายได้		
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่ามัธยฐาน
ยานยนต์	35	1.0	15.0	4.0
เคมีภัณฑ์	72	0.5	25.0	3.6
คอมพิวเตอร์	68	0.2	15.0	4.0
สินค้าอุปโภคบริโภค	90	0.0	17.0	5.0
ระบบหรืออุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์	132	0.5	15.0	4.0
พลังงานและสิ่งแวดล้อม	86	0.5	20.0	5.0
อาหาร	32	0.3	7.0	2.8
สินค้าสุขภาพ	280	0.1	77.0	4.8
เครือข่ายอินเตอร์เน็ต	47	0.3	40.0	7.5
เครื่องกลึง เครื่องตัดชิ้นส่วนโลหะ	84	0.5	25.0	4.5
สื่อและบันเทิง	19	2.0	50.0	8.0
ยาและเทคโนโลยีชีวภาพ	328	0.1	40.0	5.1
สารกึ่งตัวนำไฟฟ้า	78	0.0	30.0	32
เทคโนโลยีสื่อสาร	63	0.4	25.0	4.7
โปรแกรมคอมพิวเตอร์	119	0.0	30.0	3.2

(สิทานนท์ อมตเวทย์, 2559 อ้างถึง Smith and Perr, 2548)

ในการศึกษานี้เลือกค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) ของระบบจัดการจราจรอวกาศในช่วงร้อยละ 4.0 – 7.0 มาจากช่วงค่ามัธยฐานถึงค่ากึ่งกลางระหว่างสูงสุดและต่ำสุด และจากผลการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมาย เช่น บริษัท SPIRE GLOBAL, INC. ของสาธารณรัฐสิงคโปร์ และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) พบว่าอัตราค่าตอบแทนการใช้สิทธิในช่วงร้อยละ 4.0 – 7.0 เป็นอัตราที่ยอมรับได้

จึงสรุปในส่วน Revenue Streams (ประมาณการรายได้) ได้ว่าผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) จะต้องจ่ายค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (disclosure fee) จำนวน 6,000,000 บาท และค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) ในช่วงร้อยละ 4.0 – 7.0 ของรายได้ทั้งหมดต่อปี

- **การประมาณการรายได้ของระบบจัดการจราจรอวกาศ** อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยพบว่ามีผู้สนใจที่จะขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ระบบจัดการจราจรอวกาศจำนวน 7 หน่วยงาน ซึ่งมาจากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่างการศึกษา เช่น บริษัท มิว สเปซ แอนด์ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เป็นต้น จึงตั้งสมมติฐานดังนี้ “ระบบจัดการจราจรอวกาศ มีผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) จำนวน 1 ราย โดยมีรายได้จากค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (disclosure fee) จำนวน 6,000,000 บาท และมีอัตราค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) อยู่ที่ 5.5% จากส่วนแบ่งการตลาดของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO)” โดยมีตัวแปร ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ตัวแปรต้น</u>

ส่วนแบ่งการตลาดของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO)

- กรณีที่แย่ที่สุด (worse case) เพิ่มขึ้นปีละ 0.1%
- กรณีที่เป็นไปได้มากที่สุด (most likely) เพิ่มขึ้นปีละ 0.5%
- กรณีที่ดีที่สุด (best case) เพิ่มขึ้นปีละ 1%

<u>ตัวแปรควบคุม</u>

- ระบบจัดการจราจรอวกาศมีผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) จำนวน 1 ราย
- ค่าบริการในการแจ้งเตือนความเสี่ยงความชนของดาวเทียม 300,000 บาทต่อดวง
- ค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) ร้อยละ 5.5

(มาจากกึ่งกลางของค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) ระบบจัดการจราจรอวกาศในช่วงร้อยละ 4.0 – 7.0) ดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ประมาณการรายได้จากส่วนแบ่งการตลาดของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ

ดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Leo Earth Orbit: LEO) (2,612 ดวง ข้อมูล ณ วันที่ 1 มกราคม 2564)	กรณีแย่ที่สุด (worse case) เพิ่มขึ้นปีละ 0.1%	ส่วนแบ่งการตลาด (หน่วย: ดวง)	ปีที่ 1	ปีที่ 2 0.1%	ปีที่ 3 0.2%	ปีที่ 4 0.3%	ปีที่ 5 0.4%
			-	3	5	8	10
		รายได้ที่จะได้รับค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (หน่วย: บาท)	6,000,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		รายได้ที่จะได้รับ ค่าอนุญาตตอบแทนใช้สิทธิ 5.5%	0.00	49,500.00	82,500.00	132,000.00	165,000.00
	กรณีที่เป็นไปได้มากที่สุด (most likely) เพิ่มขึ้นปีละ 0.5%	ส่วนแบ่งการตลาด (หน่วย: ดวง)	ปีที่ 1	ปีที่ 2 0.5%	ปีที่ 3 1.0%	ปีที่ 4 1.5%	ปีที่ 5 2.0%
			-	13	26	39	52
		รายได้ที่จะได้รับค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (หน่วย: บาท)	6,000,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		รายได้ที่จะได้รับ ค่าอนุญาตตอบแทนใช้สิทธิ 5.5%	0.00	214,500.00	429,000.00	643,500.00	858,000.00
	กรณีที่ดีที่สุด (best case) เพิ่มขึ้นปีละ 1%	ส่วนแบ่งการตลาด (หน่วย: ดวง)	ปีที่ 1	ปีที่ 2 1.0%	ปีที่ 3 2.0%	ปีที่ 4 3.0%	ปีที่ 5 4.0%
			-	26	52	78	104
		รายได้ที่จะได้รับค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (หน่วย: บาท)	6,000,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		รายได้ที่จะได้รับ ค่าอนุญาตตอบแทนใช้สิทธิ 5.5%	-	429,000.00	858,000.00	1,287,000.00	1,716,000.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7) Cost Structure (ต้นทุน ทั้งการผลิต การกระจายสินค้า หรือการตลาด)

- เครื่องประมวลผลระดับสูง ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ประมวลผลระดับสูง พร้อมชุดโปรแกรมระบบปฏิบัติการ
- อุปกรณ์สนับสนุนการประมวลผลระดับสูง ได้แก่ ตู้สำหรับจัดเก็บเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ อุปกรณ์กระจายสัญญาณ และเครื่องสำรองไฟฟ้า เป็นต้น

8) Key Metrics (การประเมินผล)

ใช้การประเมินผลในรูปแบบ OKR หรือ Objective and Key Results ซึ่งประกอบด้วย เป้าหมายหลัก และการวัดผลความสำเร็จของเป้าหมายหลัก

- **การประเมินผลระยะสั้น (ปี 2564-2566)**

O: Objective 1	ระบบการจัดการจราจรอวกาศ” (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า “ZIRCON”) สามารถให้บริการเชิงพาณิชย์ภายในประเทศได้
KR: Key Result 1.1	มีผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ในรูปแบบขออนุญาตให้ใช้สิทธิ โดยไม่จำกัดจำนวนผู้รับอนุญาต (non-exclusive licensing) ของระบบการจัดการจราจรอวกาศ” (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า “ZIRCON”) ภายในประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 5 ราย (กลุ่มเป้าหมายดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ Low Earth Orbit: LEO)
KR: Key Result 1.2	มีผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ของระบบการจัดการจราจรอวกาศ” (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า “ZIRCON”) ภายในประเทศ มีความพึงพอใจต่อระบบฯ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85

- **การประเมินผลระยะยาว (ปี 2565-2569)**

O: Objective 2	ระบบการจัดการจราจรอวกาศ” (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า “ZIRCON”) สามารถให้บริการเชิงพาณิชย์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ
KR: Key Result 2.1	**มีผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ในรูปแบบขออนุญาตให้ใช้สิทธิ โดยไม่จำกัดจำนวนผู้รับอนุญาต (non-exclusive licensing) ของระบบการจัดการจราจรอวกาศ” (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า “ZIRCON”) ภายในประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 10 ราย (กลุ่มเป้าหมายดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ Low Earth Orbit: LEO)**

KR: Key Result 2.2	**มีผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ในรูปแบบขออนุญาตให้ใช้สิทธิ โดยไม่จำกัดจำนวนผู้รับอนุญาต (non-exclusive licensing) ของระบบการจัดการจราจรอวกาศ" (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า "ZIRCON") ต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 20 ราย (กลุ่มเป้าหมายดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ Low Earth Orbit: LEO)**
KR: Key Result 2.3	**มีผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) ของระบบการจัดการจราจรอวกาศ" (Space Traffic Management: STM หรือเรียกว่า "ZIRCON") ต่างประเทศ มีความพึงพอใจต่อระบบฯ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85**

9) Unfair Advantage (ข้อได้เปรียบที่ธุรกิจเราเหนือกว่าคู่แข่ง)

- สามารถวิเคราะห์วงโคจรของวัตถุอวกาศอื่น ๆ มากกว่า 21,000 ชิ้น โดยใช้จุดเริ่มต้นของแต่ละวัตถุอวกาศจาก Space Track ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 7 วัน และแจ้งเตือนวันละ 4 ครั้ง
- สามารถวิเคราะห์ระยะห่างจากดาวเทียมกับวัตถุอวกาศแต่ละชิ้น และคาดการณ์ความน่าจะเป็นของการชน เพื่อประกอบการตัดสินใจในการหลบเลี่ยงและปรับโคจรหนีวัตถุอวกาศได้ทันที (สามารถปรับได้ทันที โดยไม่ต้องรอค่า GPS)
- ราคาที่ต่ำกว่าผู้ให้บริการอื่น และมีความแม่นยำมากกว่า
- อนุญาตให้ใช้สิทธิ (licensing) สามารถใช้ในการบริหารจัดการดาวเทียมไม่จำกัดจำนวนดวง ในขณะที่หากใช้บริการอื่น ๆ จะคิดค่าบริการเป็นรายดวง (ดาวเทียม) ตัวอย่างเช่น บริษัท A คิดค่าบริการ จำนวน 1 ดวง เป็นเงิน 600,000 ต่อปี
- เป็นเทคโนโลยีปกปิด ไม่มีขาย มีการลอกเลียนแบบได้ยาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7

อภิปรายผลและสรุปผล

7.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่าง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำระบบจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยพบประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการนำระบบจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ จำนวน 4 ประเด็น ประกอบด้วย

ประเด็นที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท พบว่า ส่วนมากเป็นหน่วยงานภาครัฐ มีภารกิจในการวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีอวกาศ อาทิ การสร้าง ประกอบ และทดสอบดาวเทียม การนำข้อมูลดาวเทียมไปใช้ประโยชน์ภายในประเทศในด้านการบริหารทรัพยากรธรรมชาติ การจัดการภัยพิบัติ การพยากรณ์อากาศ และเพื่อความมั่นคง เป็นต้น โดยการดำเนินกิจกรรมหรือธุรกิจด้านอวกาศของโลก มีกระแสการเปลี่ยนแปลงไปจากยุคเดิม ที่เรียกว่า ‘Old Space’ ซึ่งในอดีตกิจกรรมอวกาศเป็นเรื่องเฉพาะทางการทหารหรือความมั่นคง เพื่อสร้างอำนาจการต่อรองให้กับประเทศมหาอำนาจเท่านั้น มีการลงทุนด้านงบประมาณหรือโครงสร้างพื้นฐานมาจากภาครัฐเพียงอย่างเดียว แต่ในปัจจุบัน พบว่า ‘มีผู้เล่นหน้าใหม่’ ที่เข้ามาลงทุนและดำเนินกิจกรรมหรือธุรกิจด้านอวกาศ ได้แก่ บริษัทเอกชนหรือสตาร์ทอัพต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากอวกาศในเชิงพาณิชย์ อาทิ การพัฒนากลุ่มดาวเทียมขนาดเล็ก (constellation) การพัฒนาดาวเทียม Internet of Thing: IOT เพื่อประโยชน์ด้านการสื่อสารเป็นหลัก เรียกว่า ‘New Space’ **สอดคล้องกับแนวคิดของไพโรจน์ ไววานิชกิจ (2563)** อ้างถึงรายงานจากบริษัทวิจัย Morgan Stanley Aaron Pressman **ระบุว่าในปี 2567 กิจกรรมอวกาศทั่วโลกจะเติบโตและมีมูลค่าสูงถึง 22 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (68,948 ล้านบาท) และในปี 2569 จะเพิ่มเป็น 41 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (128,494 ล้านบาท) ซึ่งเกิดจากการก้าวเข้ามาเป็นผู้เล่นทางธุรกิจของบริษัทยักษ์ใหญ่ระดับโลก** เช่น SpaceX OneWeb Google และ Facebook เป็นต้น **และสอดคล้องกับแนวคิดของ BRYCE Space and Technology (2563) ระบุว่าในปี 2563 ภาพรวมกิจกรรมอวกาศทั่วโลก มีดาวเทียมถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรกว่า 1,085 ดวง ประกอบด้วย ดาวเทียมเชิงพาณิชย์จากบริษัทเอกชนหรือสตาร์ทอัพ มากเป็นอันดับ 1 ประมาณ 971 ดวง** รองลงมา เป็นดาวเทียมของหน่วยงานภาครัฐและพลเรือน 41 ดวง องค์กรไม่แสวงหาผลกำไร 38 ดวง และดาวเทียมทางการทหาร 35 ดวง ตามลำดับ **ดังนั้น บริษัทเอกชน หรือสตาร์ทอัพด้านอวกาศทั่วโลก จึงเป็นอีก**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มเป้าหมายที่มีนัยสำคัญต่อการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) ไปใช้ในเชิงพาณิชย์

ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์กับหน่วยงานหรือภาคธุรกิจที่มีการนำส่งดาวเทียมที่อยู่วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มากกว่าดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรค้างฟ้า (Geo-Stationary Earth Orbit: GEO)" เนื่องจาก ดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เป็นวงโคจรอยู่ใกล้พื้นผิวโลกมาก ข้อดีคือ สามารถถ่ายภาพที่มีรายละเอียดสูง เช่น ดาวเทียมไทยโชต-2 (THEOS-2) มีรายละเอียดของภาพสีอยู่ที่ประมาณ 0.5 เมตร ซึ่งสามารถมองเห็นคนได้ชัดมาก แต่ข้อเสียของดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) คือ มีอายุการใช้งาน (lifetime) ที่สั้นอยู่ที่ประมาณ 3-5 ปี ไม่สามารถถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ได้ทั้งหมด และจะใช้เวลาอยู่บริเวณนั้นได้ไม่นาน เนื่องจากดาวเทียมต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากจนมีคำกล่าวว่า "การเคลื่อนที่ของดาวเทียมมีความเร็วมากกว่ากระสุนปืน" โดยมีความเร็วการเคลื่อนที่ในวงโคจรประมาณ 7-8 กิโลเมตรต่อวินาที หรือประมาณ 20,000-28,000 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อที่จะเอาชนะแรงโน้มถ่วงโลก หากดาวเทียมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกินไปจะทำให้หลุดออกไปจากเส้นทางวงโคจรที่กำหนดไว้ แต่หากดาวเทียมเคลื่อนที่ช้าเกินไปจะทำให้แรงโน้มถ่วงของโลกดึงดาวเทียมตกลงสู่พื้นผิวโลกเช่นกัน ดังนั้น หากต้องการใช้งานดาวเทียมในวงโคจรนี้ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด รองรับความต้องการที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน ให้บริการทั่วโลกได้อย่างต่อเนื่องและไม่หยุดชะงัก จึงต้องมีการนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรในปริมาณมาก ทำให้วงโคจรนี้มีการจราจรบนอวกาศที่หนาแน่น มีความแออัดและความเสี่ยงอันตรายจากวัตถุอวกาศอย่างรอบทิศทางในระดับที่สูงสุดที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ **สอดคล้องกับแนวคิดของวัฐพล เมฆดี (2562) ระบุว่าเทคโนโลยีกิจการอวกาศมีแนวโน้มการสร้างดาวเทียมขนาดที่เล็กลง และมีแนวโน้มการนำส่งขึ้นสู่วงโคจรครั้งละจำนวนมากหลายร้อยหลายพันดวงในลักษณะ "กลุ่มดาวเทียม" (constellation) ที่ตำแหน่งวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO)** ที่ระดับความสูงไม่เกิน 2,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก ดาวเทียมแต่ละดวงสามารถติดต่อสื่อสารปฏิบัติงานร่วมกันในลักษณะเครือข่าย (network) สามารถออกแบบกลุ่มดาวเทียมให้มีขีดความสามารถเป็นได้ทั้งดาวเทียมสื่อสารและดาวเทียมถ่ายภาพ ปัจจุบัน บริษัทชั้นนำระดับโลกมีแผนพัฒนากลุ่มดาวเทียม เช่น บริษัท SpaceX, บริษัท Boeing, บริษัท WorldVu หรือ OneWeb, บริษัท Kepler Communications, บริษัท Telesat Canada, บริษัท Theia Holdings A, Inc. เป็นต้น นอกจากนี้ **สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2560) ระบุ**

ว่าการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กเป็นสิ่งที่ทั่วโลกให้ความสนใจและจะมีการใช้งานมากขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลานี้เป็นต้นไป โดยจะเข้ามามีบทบาทในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เนื่องจาก ราคาถูกและสามารถส่งขึ้นได้เรื่อย ๆ มีอายุการใช้งานของดาวเทียมขนาดเล็กประมาณ 5 ปี ขึ้นอยู่กับขนาดและภารกิจของดาวเทียม ข้อดีของดาวเทียมขนาดเล็ก คือ มีความซับซ้อนน้อยกว่าดาวเทียมขนาดใหญ่ ใช้งบประมาณต่ำกว่าการสร้างดาวเทียมขนาดใหญ่ ใช้เวลาสร้างน้อยกว่าดาวเทียมขนาดใหญ่ ข้อเสียของดาวเทียมขนาดเล็ก คือ อายุใช้งานสั้น เป็นการเพิ่มจำนวนขยะอวกาศ มีน้ำหนักน้อยทำให้ควบคุมการเคลื่อนที่และเสถียรภาพได้ยาก **ในขณะที่ดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า (Geo-Stationary Earth Orbit: GEO) แม้จะมีความหนาแน่น แต่พบว่ามีความเสี่ยงต่อวัตถุอวกาศน้อยกว่าดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO)** เนื่องจากอยู่ห่างจากพื้นโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตรขึ้นไป ทำให้ไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก เพื่อจะเอาชนะแรงโน้มถ่วงโลกเหมือนกับดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) โดยจะหมุนรอบโลกด้วยระยะเวลาเท่ากับโลกหมุนรอบตัวเอง (รอบละ 23 ชั่วโมง และ 56 นาที) ซึ่งเรียกว่า Geosynchronous จึงทำให้ดูเหมือนลอยนิ่งอยู่เหนือพื้นผิวโลกตำแหน่งเดิมอยู่ตลอดเวลา ส่วนมากดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรนี้จะถูกนำมาใช้งานทางด้านอุตุนิยมวิทยา การถ่ายภาพโลกทั้งดวง การเฝ้าสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ และการสื่อสารหรือโทรคมนาคมข้ามทวีปที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ดาวเทียมไทยคม 4 ดาวเทียมไทยคม 6 ดาวเทียมไทยคม 7 และดาวเทียมไทยคม 8 เป็นต้น อย่างไรก็ตาม **ระบบการจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) สำหรับติดตาม เฝ้าระวัง และคาดการณ์การเคลื่อนที่ของดาวเทียมนั้น สามารถใช้งานกับดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า (Geo-Stationary Earth Orbit: GEO) นี้ได้แต่พบว่าไม่เป็นที่นิยมนัก**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเด็นที่ 2 ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม พบว่า หน่วยงานที่มีดาวเทียมอยู่ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีแผนการดำเนินงานซึ่งเป็นไปตาม Guideline ของ United Nations Office for Outer Space Affairs: UNOOSA ที่ระบุว่าจะต้องมีการจะขับดันเพื่อให้ลดระดับลงมายังชั้นบรรยากาศและเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และไม่ก่อให้เกิดเศษขยะอวกาศภายใน 25 ปี ในขณะที่ดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit: GEO) จะมีการขับดันขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศที่สูงกว่าเพื่อเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และไม่ก่อให้เกิดเศษขยะอวกาศเช่นกัน ซึ่ง Guideline ข้างต้นนี้ ทำให้ต้องมีการเฝ้าระวัง ติดตาม คาดการณ์ความเสี่ยง และวิเคราะห์วงโคจรเพื่อหลบเลี่ยงดาวเทียมหรือวัตถุอวกาศอื่น ๆ เพื่อไม่ก่อให้เกิดความเสียหายอีกด้วย อย่างไรก็ตาม หากเป็นดาวเทียมที่ไม่มีระบบขับดัน วิศวกรผู้ออกแบบดาวเทียมจะต้องออกแบบและประเมิน

ศักยภาพดาวเทียม ให้สามารถตกลงมายังชั้นบรรยากาศเองและเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เช่นกัน ซึ่งจะใช้ระยะเวลาไม่เกิน 10-15 ปี

ประเด็นที่ 3 ข้อมูลการติดตามและแจ้งเตือนมีความเสี่ยงของการชนของดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ จากการสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่า หน่วยงานส่วนมากมีความตระหนักและให้ความสำคัญในการที่จะต้องการรับทราบข้อมูลและการสื่อสารเกี่ยวกับวัตถุอวกาศ (ดาวเทียม) ของตนเองว่าอยู่ในสถานะที่ปลอดภัยหรือมีความเสี่ยงอันตรายจากวัตถุอวกาศอื่น ๆ บนอวกาศ โดยส่วนมากรู้จักระบบการติดตามของ The Combined Space Operations Center: CSpOC ของสหรัฐอเมริกาที่มีการให้บริการฟรี ไม่เสียค่าใช้จ่าย รวมถึงบางหน่วยงานมีการใช้บริการจากบริษัทเอกชน ได้แก่ Space Data Association: SDA มีค่าบริการประมาณ 600,000 บาทต่อดวง/ต่อปี แต่พบปัญหาจากการใช้บริการในต่างประเทศ ได้แก่ การรับบริการข้อมูลจากต่างประเทศ มีความเสี่ยงในการที่ผู้ให้บริการไม่สามารถติดต่อได้ อาจระงับการให้บริการซึ่งจะส่งผลต่อการติดตามดาวเทียมของหน่วยงาน โดยเฉพาะดาวเทียมปฏิบัติการในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) นอกจากนี้ ยังมีกรอบเวลาที่ต้องรอการแจ้งเตือนซึ่งใช้เวลานานไม่ต่ำกว่า 3 วัน มีความล่าช้าจากการส่งข้อมูลการระบุตำแหน่งสำหรับการตรวจสอบข้อมูลความถูกต้อง ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการเตือน นอกจากนี้ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าดาวเทียมแต่ละดวงมีต้นทุนหรือมูลค่าของการพัฒนาดาวเทียมต่อดวงตั้งแต่หนึ่งพันล้านบาทขึ้นไป ซึ่งเป็นมูลค่าการลงทุนที่สูงมาก ดาวเทียมจึงเป็นทรัพย์สินหรือสมบัติของหน่วยงาน อย่างไรก็ตาม ในการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วหนีแรงโน้มถ่วงของดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เมื่อปะทะกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ ก็จะก่อให้เกิดพลังงานอย่างมหาศาล ยกตัวอย่าง เช่น เมื่อดาวเทียมปะทะกับเศษขยะอวกาศขนาด 1 กิโลกรัม ที่เคลื่อนด้วยความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อวินาที จะก่อให้เกิดพลังงานเทียบเท่ารถบัสขนาด 16 ตัน เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 216 กิโลเมตรต่อชั่วโมง **สอดคล้องกับแนวคิดขององค์การอวกาศยุโรป (2563) ระบุว่ามีอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมสื่อสารที่อยู่ระหว่างปฏิบัติภารกิจของสหรัฐอเมริกา “Iridium-33” และดาวเทียมสื่อสารหมดอายุการใช้งานของรัสเซีย “Kosmos-2251” แม้จะมีการแจ้งเตือนแต่ไม่สามารถหลบเลี่ยงวัตถุอวกาศได้ตามทุกคำแจ้งเตือนดังกล่าว จนทำให้มีขยะอวกาศเกิดขึ้นจำนวนมากครั้งหนึ่งของประวัติศาสตร์นั้น ส่งผลให้นักบินอวกาศที่ประจำอยู่บนสถานีอวกาศที่โคจรอยู่รอบ ๆ ในเวลานั้น ต้องหลบเศษขยะอวกาศถึง 2 รอบ ทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงและต้องยุติภารกิจทันที ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าระบบการแจ้งเตือนในอดีตยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่สูง และขาดการวิเคราะห์ข้อมูลที่ดีและแม่นยำ** ในส่วนของ Space Debris Office ได้เปิดเผยข้อมูลว่า “ในช่วงปี 2552 ถึง 2559 ยาน

สำรวจอวกาศของ ESA ต้องหลบหลีกขยะอวกาศเฉลี่ยจำนวน 1.8 รอบต่อปี” **สอดคล้องกับแนวคิดขององค์การอวกาศยุโรป (2563) กล่าวว่า อุบัติเหตุการชนกันมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยจำนวนของการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรที่มากขึ้น อันเนื่องมาจากต้นทุนของการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีต้นทุนที่ต่ำลง จำนวนวัตถุอวกาศจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณและไม่อาจหยุดยั้งปรากฏการณ์เหล่านี้ได้ในอนาคต** ดังนั้น เมื่อพิจารณา ความเสียหายที่จะได้รับจากอุบัติเหตุการชนกันของดาวเทียมกับดาวเทียม ดาวเทียมกับขยะอวกาศจะสูญเสียโอกาสอย่างมหาศาล ส่งผลกระทบต่อทุกคนที่ใช้ดาวเทียมในการติดต่อสื่อสาร มีการสูญหายของข้อมูล ทำให้ขาดทุนและเสียงบประมาณในภาคเศรษฐกิจทั้งในระดับมหภาคและจุลภาค เสียเวลาในการสร้างหรือพัฒนา และเสียกำลังคนในการพัฒนาใหม่อีกด้วยนอกจากนี้ สอดคล้องกับแนวคิดของ อรัชมน พิเชฐวรกุล (2562) กล่าวว่า ผลกระทบจากขยะอวกาศที่มีต่อมนุษย์และโลก จะเป็นเรื่องของการส่งดาวเทียมสื่อสาร การตรวจอากาศ การสำรวจทรัพยากร ซึ่งปัจจุบันมีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนคลื่นของสัญญาณดาวเทียม หรือสัญญาณวิทยุซึ่งจะส่งผลต่อการติดต่อสื่อสาร การถ่ายทอดสัญญาณจากดาวเทียมได้ และแนวคิดขององค์การเพื่อความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (2563) ระบุว่าแนวโน้มของขยะอวกาศมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากเกิดอุบัติเหตุการชนของดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าหรือวงโคจรประจำที่ (Geostationary Orbit: GEO) จะสร้างความเสียหายประมาณ ร้อยละ 5-10 ของค่าใช้จ่ายรวมในภารกิจทั้งหมด ซึ่งอาจมีมูลค่าหลายร้อยล้านดอลล่าร์ ในขณะที่อุบัติเหตุการชนของดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะสร้างความเสียหายเช่นกัน แต่จะมีมูลค่ามากกว่า ร้อยละ 5-10 ของค่าใช้จ่ายรวมในภารกิจทั้งหมด นอกจากนี้ ยังมีความเสี่ยงที่ดาวเทียมจะชนกันแบบลูกโซ่หรือเรียกว่า วิกฤตการณ์ Kessler ส่งผลต่อการดำเนินงานหรือการทำหน้าที่บางอย่างในดาวเทียม ทำให้ไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ สร้างความเสียหายต่อชีวิตของนักบินอวกาศ และทรัพย์สิน เช่น ดาวเทียมของแต่ละหน่วยงาน ส่งผลต่อการศึกษาวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์ ระบบโลก และภูมิอากาศ หยุดชะงัก สร้างความแออัดและเพิ่มความเสี่ยงให้แก่วงโคจรอื่น ๆ ส่งผลต่อแนวโน้มการเติบโตของภาคเศรษฐกิจและการลงทุนชะลอตัว และส่งผลกระทบเชิงลบต่อพื้นที่ห่างไกลความเจริญและประเทศรายได้ต่ำ **การนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจที่จะช่วยลดความเสี่ยงของการชนกันได้**

ประเด็นที่ 4 ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่าง ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พบว่า กลุ่มบริษัทเอกชนอาทิ บริษัท มิว สเปซ แอนด์ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด มีแผนจะพัฒนาและนำส่งกลุ่มดาวเทียม (constellation) ประมาณ 5,000 - 10,000 ดวง ในระดับวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่เป็นการเก็บข้อมูล และประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ และให้บริการ Data Center เหมือนบนโลก **สอดคล้องกับแนวคิดของ Marit Undseth (2564) กล่าวว่ามีการใช้งานวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าในปัจจุบันมีกลุ่มดาวเทียม Starlink ของ SpaceX กลุ่มดาวเทียม OneWeb ซึ่งเป็นกลุ่มดาวเทียมสื่อสารเป็นจุดเปลี่ยนที่สำคัญอย่างแท้จริง ทำให้จำนวนดาวเทียมที่พร้อมปฏิบัติในอนาคตมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากกว่า 2-3 เท่าในอีก 5 ปีข้างหน้า หรือเพิ่มขึ้นอีกประมาณหลายหมื่นดวงในปี 2030 จากในปัจจุบันมีประมาณ 3,000 ดวง ทำให้ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีความหนาแน่นและแออัด และหากมีการตั้งถามคงไม่ใช่คำถามว่า “ดาวเทียมมีความเสี่ยงจะชนหรือไม่ แต่ควรจะเป็นดาวเทียมจะมีการชนเมื่อใดมากกว่า” ซึ่งนับเป็นประเด็นความท้าทายและเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องให้ความสำคัญที่นับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนขยะอวกาศ** อย่างไรก็ตาม ทั่วโลกมีแนวโน้มการส่งดาวเทียมขึ้นไปบนอวกาศอีกจำนวนหลายหมื่นดวง เพื่อให้ครอบคลุมการให้บริการทั่วโลกได้อย่างต่อเนื่องและไม่หยุดชะงัก จึงมองเห็นแนวโน้มการเติบโตของ Satellite communication market ได้ในอนาคต ในปัจจุบัน พบว่ามีบริษัทเอกชนเข้ามาทำให้เทคโนโลยีและนวัตกรรมมีความทันสมัยมากขึ้น ลดขั้นตอน ลดระยะเวลา สามารถนำจรวดนำส่งดาวเทียมกลับมาใช้ได้อีก มีทรัพยากรที่หลากหลายให้เลือกสรร ไม่ผูกขาดกับภาครัฐ ส่งผลให้ต้นทุนต่ำลง สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีด้านอวกาศได้มากขึ้น และขยายออกเป็นธุรกิจได้อีกมากมาย เริ่มตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนดาวเทียม การประกอบและทดสอบดาวเทียม การนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศ และการสร้างท่าอวกาศยานอวกาศ (spaceport) นำไปสู่ระบบเศรษฐกิจใหม่ที่น่าจับตามองที่จะสร้างมูลค่าสูงให้กับโลก เรียกว่า ‘New Space Economy’ หรือ ‘เศรษฐกิจอวกาศใหม่’ ในอนาคต จากแนวโน้มดังกล่าวจึงคาดการณ์ว่าจะมีการพัฒนาและนำส่งจำนวนกลุ่มดาวเทียมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ไปยังอวกาศจำนวนมาก ยิ่งทำให้การจราจรบนอวกาศมีความแออัด หนาแน่น และมีความเสี่ยงอันตรายจากวัตถุอวกาศอย่างรอบทิศทางในระดับที่สูงสุดที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ นอกจากนี้ยังรวมถึงภัยจากวัตถุอวกาศอื่น ๆ ล่องลอยอยู่ในอวกาศอย่างไร้ทิศทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) และอาจสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินทั้งในอวกาศและบนพื้นโลก จากการชนกับดาวเทียมปฏิบัติการ สถานีอวกาศ หรือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แม้กระทั่งนักบินอวกาศที่กำลังปฏิบัติภารกิจบนอวกาศ ซึ่งจะส่งผลกระทบด้านความปลอดภัยของสิ่งต่าง ๆ ข้างต้น และนำไปสู่วิกฤตการณ์ ‘Kessler Syndrome’ ในอนาคตอันใกล้นี้ได้ **ดังนั้น การนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจที่จะช่วยลดความเสี่ยงของการชนกันได้**

7.2 สรุปผลการวิจัย

มีความเป็นไปได้ในการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ด้านเทคโนโลยี เนื่องจาก ระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON” เป็นระบบที่มีความพร้อมทางเทคโนโลยีอยู่ในระดับที่ 9 (Actual system proven through successful mission operations.) สามารถนำไปใช้งานได้จริงภายใน สทอภ. แทนการใช้ระบบจัดการจราจรอวกาศของผู้ให้บริการเดิมในภาคเอกชนของประเทศสหราชอาณาจักร อย่าง Space Data Association: SDA ในช่วงปลายปี 2563 นอกจากนี้ ยังมีผลการทดสอบยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่ผ่านการพิสูจน์แล้วว่า ระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON” สามารถคำนวณความเป็นไปได้ที่วัตถุอวกาศ (Fengyun 1C DEB) ได้อย่างแม่นยำ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนของวัตถุอวกาศที่มี NORAD (North American Aerospace Defense) Catalog Number: 31199 ที่มีโอกาสชนกับดาวเทียมไทยโชต (NORAD: 33396) ในวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2564 เวลา 19.03 น. (ตามเวลาประเทศไทย) โดยมีระยะใกล้ที่สุดเพียง 101 เมตร สามารถวิเคราะห์ทิศทางและระยะของวงโคจร รวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ที่พบมีความเสี่ยงสูงมากที่จะเกิดการชนกันของดาวเทียมไทยโชต-1 (THEOS-1) และวัตถุอวกาศ (Fengyun 1C DEB) ได้สำเร็จ นอกจากนี้ ยังพบว่า ระบบดังกล่าวได้พัฒนามาจากแบบจำลองคณิตศาสตร์แห่งแรกในเอเชีย ซึ่งจะต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและชำนาญด้านกลศาสตร์วงโคจรที่มีความรู้ ความเข้าใจในเทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีปกปิด ไม่มีขาย และมีผลต่อความมั่นคงของแต่ละประเทศ **และในด้านการตลาด พบว่า มีความเป็นไปได้ในการนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยฉพาะในกลุ่มดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO)** เนื่องจาก แนวโน้มการส่งดาวเทียมขนาดเล็กหรือกลุ่มดาวเทียม ขึ้นสู่วงโคจรในอนาคตเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ **จากข้อมูลของ Union of Concerned Scientists (2563) ระบุว่า มีดาวเทียมที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติการในอวกาศ จำนวน 3,372 ดวง พบว่าส่วนมากเป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จำนวน 2,612 ดวง วงโคจรระดับปานกลาง (Medium Earth Orbit: MEO) 139 ดวง วงโคจรค้างฟ้า (Geo-Stationary Earth**

Orbit: GEO) 562 ดวง และวงโคจรรูปวงรี (Highly Elliptical Orbit: HEO) 59 ดวง ในส่วนของประเทศไทยนั้น บริษัท มิว สเปซ แอนด์ แอดวานซ์ เทคโนโลยี จำกัด มีแผนจะพัฒนาและนำส่งกลุ่มดาวเทียม (constellation) ประมาณ 5,000 - 10,000 ดวง ในระดับวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ และให้บริการ Data Center เหมือนบนโลก นอกจากนี้ ยังรวมถึงแนวโน้มการพัฒนาดาวเทียมวิจัยวิทยาศาสตร์และดาวเทียมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นสิ่งที่ทั่วโลกให้ความสนใจและจะมีการใช้งานมากขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลานี้เป็นต้นไป โดยจะเข้ามามีบทบาทในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เช่นเดียวกัน เนื่องจากราคาถูกและสามารถส่งขึ้นได้เรื่อย ๆ ไม่มีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพราะว่าอายุการใช้งานของดาวเทียมขนาดเล็กมีอายุประมาณ 5 ปี มีความซับซ้อนน้อยกว่าดาวเทียมขนาดใหญ่ ใช้งบประมาณต่ำกว่าการสร้างดาวเทียมขนาดใหญ่ และใช้เวลาสร้างน้อยกว่าดาวเทียมขนาดใหญ่ แต่มีข้อเสีย คือ เป็นการเพิ่มขยะอวกาศ ทำให้วงโคจรมีความแออัดและหนาแน่น อย่างไรก็ตาม ทุกหน่วยงานล้วนให้ความสำคัญ มีความตระหนัก ความรับผิดชอบ และความต้องการที่จะบริหารจัดการทรัพย์สินของตนเองให้ปลอดภัยจากสภาพแวดล้อมบนอวกาศ รวมทั้งไม่สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินบนอวกาศของประเทศใด ๆ ตลอดจนชีวิตของนักบินอวกาศที่ปฏิบัติภารกิจอยู่นอกโลก และชีวิตผู้คนที่อยู่บนโลกอีกด้วย

ดังนั้น ระบบจัดการจราจรอวกาศ (Space Traffic Management: STM) หรือที่เรียกว่า “ZIRCON” จึงเป็นระบบที่น่าสนใจ มีประโยชน์ต่อการบริหารจัดการจราจรอวกาศที่ยุ่งเหยิง แออัดและหนาแน่นในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแนวทางสำหรับการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ที่มีความเป็นไปได้ คือ ดำเนินธุรกิจแบบ Business to Business (B2B) ไปยังตลาดเฉพาะกลุ่ม (niche market) ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมอวกาศ (องค์กร หน่วยงาน หรือบริษัท) ของประเทศไทยและประเทศในภูมิภาคเอเชีย โดยการอนุญาตให้ใช้สิทธิ (licensing) ในรูปแบบการอนุญาตให้ใช้สิทธิโดยไม่จำกัดแต่เพียงผู้เดียว (non-exclusive licensing) ซึ่งมีข้อดีคือได้รับผลตอบแทนทางธุรกิจที่สูงและสม่ำเสมอ สามารถพัฒนาต่อยอดและใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีต่อไปได้ ช่วยลดความเสี่ยงจากการดำเนินงาน เนื่องจาก ระบบจัดการจราจรอวกาศ เป็นเทคโนโลยีที่มีความเสี่ยงสูง เพราะเป็นเทคโนโลยีใหม่จะต้องสร้างความตระหนักต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นในอวกาศต่อวัตถุอวกาศจำนวนหลายหมื่นดวงในอนาคต รวมถึงสร้างการรับรู้เกี่ยวกับประโยชน์ของเทคโนโลยีนี้ ซึ่งผู้ขออนุญาตใช้สิทธิ (licensee) จะต้องจ่ายค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (disclosure fee) จำนวน 6,000,000 บาท เป็นจำนวน 1 ครั้ง และค่าตอบแทนการอนุญาตใช้สิทธิ (royalty fee) อยู่ในช่วงร้อยละ 4.0 - 7.0 จากรายได้

ทั้งหมดต่อปี ซึ่งคิดจากวิธีคิดรายได้จากกระแสเงินสดสุทธิและทอนเป็นมูลค่าปัจจุบันด้วยด้วยวิธีการประเมินรายได้ในอนาคต และจากสัมภาษณ์เชิงลึกหนึ่งในผู้ให้สัมภาษณ์ ได้แก่ บริษัท Spire Global จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่จัดหาและให้บริการเกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศ มีดาวเทียมปฏิบัติการอยู่ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จำนวน 105 ดวง และมีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ซานฟรานซิสโก โบลเดอร์ และวอชิงตัน ดีซี ประเทศสหรัฐอเมริกา เมืองกลาสโกว์ ประเทศสหราชอาณาจักร ประเทศสิงคโปร์ และประเทศลักเซมเบิร์ก ได้แสดงความสนใจ ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าบริษัทดังกล่าวมีความพร้อมและศักยภาพที่จะนำระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้เชิงพาณิชย์ ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

แนวคำถามเพื่อการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง
เรื่อง “ความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์”
ของ นางสาวธันย์ชนก คล่องแคล่ว
นิสิตมหาบัณฑิตสาขาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **กลุ่มเป้าหมายที่ 1: หน่วยงานที่พัฒนา บริษัทที่เป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม (ลูกค้าปัจจุบัน)**
- **พื้นที่การศึกษา: ประเทศไทย และประเทศในภูมิภาคเอเชีย**

ประเด็น	รายละเอียด
1. ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท	1.1 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน ประกอบกิจการโดยมีภารกิจ พันธกิจ หรือ Business Objective อะไร
	1.2 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน มีข้อมูลพื้นฐานประกอบด้วย 1.2.1 มีดาวเทียมที่รับผิดชอบอยู่กี่ดวง 1.2.2 ลักษณะของดาวเทียมเป็นประเภทใด ทำหน้าที่อะไร 1.2.3 อยู่ในวงโคจรระดับใด 1.2.4 ปล่อยเข้าสู่วงโคจรเมื่อใด มีอายุการใช้งานกี่ปี 1.2.5 ประมาณราคาต้นทุนของดาวเทียม 1.2.6 ผลิตกับบริษัทอะไร หรือผลิตเอง 1.2.7 ในอนาคต มีแผนการพัฒนาดาวเทียมอย่างไร
2. ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม	2.1 ดาวเทียมในการกำกับดูแลของหน่วยงานหรือบริษัทท่านเคยมีการส่งสัญญาณขัดข้องเชิงเทคนิคกลับมาหรือไม่ (หากมี) หน่วยรับสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Station) มีวิธีการแก้ปัญหาอย่างไร
	2.2 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน มีวิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุอย่างไร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประเด็น	รายละเอียด
	2.3 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน มีวิธีการปรับเปลี่ยนวงโคจรเพื่อให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรปฏิบัติการ (orbital mission) หรือ เปลี่ยนวงโคจรเพื่อลดความเสี่ยงการชนของวัตถุอวกาศ หรือไม่ และการดำเนินการอย่างไร
3. ข้อมูลการติดตามและแจ้งเตือนมีความเสี่ยงของการชนของดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ	3.1 หากดาวเทียมของหน่วยงานหรือบริษัทท่าน ได้รับความเสียหาย จากอุบัติเหตุการชนของขยะอวกาศ จนทำให้ไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด (คุณภาพชีวิตของคนบนโลกด้านใด / มูลค่า (งบประมาณที่สูญเสีย) / ต้นทุนการเสียโอกาส / ความเสี่ยงภัยต่อวัตถุอวกาศอื่น ๆ
	3.2 หน่วยงานหรือบริษัทท่าน มีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศ เพื่อลดความเสี่ยงในการชนของดาวเทียมของท่านหรือไม่ เพราะเหตุใดจึงเลือกใช้บริการระบบดังกล่าว
	3.3 ค่าบริการระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือ การแจ้งเตือนการชนกับวัตถุอวกาศ ที่ท่านใช้อยู่ มีราคาแพคเกจเท่าใด และใช้ของหน่วยงานใด ประเทศใด เพราะเหตุใด
	3.4 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน เคยมีสถานการณ์เสี่ยงภัยหรือได้รับการแจ้งเตือนเกี่ยวกับความปลอดภัยของดาวเทียมหรือไม่ เป็นสถานการณ์อะไร มีความถี่อย่างไร และเมื่อใด
	3.5 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน เคยพบปัญหาและอุปสรรคจากการใช้บริการหรือไม่
	3.6 หากในประเทศไทย มีระบบที่ตอบโจทย์ตามปัญหาและอุปสรรคที่ท่านกล่าวมา สนใจจะใช้หรือไม่ และหากไม่สนใจ เพราะเหตุใด
4. ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต	ท่านคิดว่า ประเทศมีแนวโน้มเกี่ยวกับธุรกิจดาวเทียมในอนาคตอย่างไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แนวคำถามเพื่อการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง
เรื่อง “ความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์”
ของ นางสาวธันย์ชนก คล่องแคล่ว
นิสิตมหาบัณฑิตสาขาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **กลุ่มเป้าหมายที่ 2: หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต (ลูกค้าในอนาคต)**
- **พื้นที่การศึกษา: ประเทศไทย**

ประเด็น	รายละเอียด
1. ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท	1.1 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน ประกอบกิจการโดยมีภารกิจ พันธกิจ หรือ Business Objective อะไร
	1.2 หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน มีแผนการดำเนินงานเพื่อพัฒนาดาวเทียมในอนาคต ประกอบด้วย 1.2.1 มีดาวเทียมที่รับผิดชอบอยู่กี่ดวง 1.2.2 พื้นที่ให้บริการ อยู่ที่บริเวณใดในโลก 1.2.3 เป็นดาวเทียมชนิดใด ทำหน้าที่อะไร 1.2.4 อยู่ในวงโคจรระดับใด 1.2.5 ปล่อยเข้าสู่วงโคจรเมื่อใด มีอายุการใช้งานกี่ปี 1.2.6 ผลิตกับบริษัทอะไร หรือผลิตเอง 1.2.7 ประมาณราคาต้นทุนของดาวเทียม
2. ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม	หน่วยงานหรือบริษัทของท่าน มีแนวทางหรือวิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุอย่างไร
3. ข้อมูลการระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือ การแจ้งเตือนการชนกับวัตถุอวกาศ ดาวเทียม	3.1 ในอนาคต หากดาวเทียมของหน่วยงานหรือบริษัทท่านได้รับความเสียหาย จากอุบัติเหตุการชนของขยะอวกาศจนทำให้ไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด (คุณภาพชีวิตของคนบนโลกด้านใด / มูลค่า (งบประมาณที่สูญเสีย) / ต้นทุนการเสียโอกาส / ความเสี่ยงภัยต่อวัตถุอวกาศอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเด็น	รายละเอียด
	3.2 หน่วยงานหรือบริษัทท่าน จะมีการใช้บริการระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนการชนกับวัตถุอวกาศเพื่อความปลอดภัยดาวเทียมของท่านหรือไม่
	3.3 ท่านคิดว่า ค่าบริการระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือการแจ้งเตือนการชนกับวัตถุอวกาศ ควรจะมีราคาแพคเกจกี่บาทต่อดวง และคาดว่าจะใช้ของหน่วยงานใดประเทศใด เพราะเหตุใด
	3.4 หากในประเทศไทย มีระบบที่ตอบโจทย์ตามปัญหาและอุปสรรคที่ท่านกล่าวมา สนใจจะใช้หรือไม่ และหากไม่สนใจ เพราะเหตุใด
4. ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต	ท่านคิดว่า ประเทศมีแนวโน้มเกี่ยวกับธุรกิจดาวเทียมในอนาคตอย่างไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ZIRCON			SDA						
NORAD	TCA	Miss Distance	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)
42220	2020-08-18 18:50:08.381000	9.928031902	42220	2020-08-18 18:50:08.378000	9.928699134	1.34346E-07	0.003	0.000667231	0.00672023
31988	2020-08-18 22:55:40.249000	7.10899877	31988	2020-08-18 22:55:40.248000	7.172331656	2.57447E-07	0.001	0.063332886	0.883016689
33640	2020-08-18 23:51:54.702000	8.240538908	33640	2020-08-18 23:51:54.701000	8.253091134	1.94435E-07	0.001	0.012552226	0.152091206
22454	2020-08-19 00:57:52.752000	1.177633573	22454	2020-08-19 00:57:52.749000	1.116211885	1.06296E-05	0.003	0.061421687	5.50269067
40681	2020-08-19 02:32:35.543000	7.76311603	40681	2020-08-19 02:32:35.541000	7.733656163	2.21431E-07	0.002	0.029459867	0.38093065
40681	2020-08-19 03:23:20.183000	7.209146902	40681	2020-08-19 03:23:20.181000	7.192104031	2.56033E-07	0.002	0.017042872	0.236966421
21369	2020-08-19 05:00:20.706000	2.868714458	21369	2020-08-19 05:00:20.706000	2.849563266	1.63099E-06	0	0.019151191	0.672074615
28973	2020-08-19 06:45:43.119000	9.673727161	28973	2020-08-19 06:45:43.117000	9.681076793	1.41306E-07	0.002	0.007349631	0.0759175
28973	2020-08-19 07:36:26.144000	2.456674022	28973	2020-08-19 07:36:26.143000	2.469343582	2.17193E-06	0.001	0.01266956	0.513074014
27848	2020-08-19 07:36:53.917000	5.131157231	27848	2020-08-19 07:36:53.915000	5.119657952	5.05273E-07	0.002	0.011499279	0.224610305

ZIRCON			SDA						
NORAD	TCA	Miss Distance	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)
28973	2020-08-19 09:17:51.927000	8.821543776	28973	2020-08-19 09:17:51.926000	8.809955785	1.70632E-07	0.001	0.011587991	0.131532911
31322	2020-08-19 17:21:46.451000	8.294799642	31322	2020-08-19 17:21:46.451000	8.326181497	1.91037E-07	0	0.031381855	0.376905728
41663	2020-08-19 20:16:00.973000	5.673088895	41663	2020-08-19 20:16:00.967000	5.67137448	4.11748E-07	0.006	0.001714415	0.030229264
31194	2020-08-20 03:00:07.228000	5.428117606	31194	2020-08-20 03:00:07.233000	5.410343412	4.52438E-07	0.005	0.017774193	0.328522456
41092	2020-08-20 04:41:57.932000	9.065060256	41092	2020-08-20 04:41:57.931000	9.074343698	1.60834E-07	0.001	0.009283442	0.102304281
28327	2020-08-20 04:44:34.141000	9.301960911	28327	2020-08-20 04:44:34.136000	9.299281713	1.53147E-07	0.005	0.002679198	0.028810801
39119	2020-08-20 06:27:28.474000	6.756163175	39119	2020-08-20 06:27:28.472000	6.750300326	2.90645E-07	0.002	0.005862849	0.08685316
35256	2020-08-20 17:25:37.096000	9.273283445	35256	2020-08-20 17:25:37.094000	9.269125509	1.54145E-07	0.002	0.004157936	0.044857911
37430	2020-08-20 18:16:06.462000	3.961430933	37430	2020-08-20 18:16:06.469000	3.970245694	8.40182E-07	0.007	0.008814761	0.222020553
35256	2020-08-20 19:07:04.859000	9.101633631	35256	2020-08-20 19:07:04.857000	9.099097766	1.5996E-07	0.002	0.002535865	0.027869412
35256	2020-08-20 20:48:32.597000	9.105601562	35256	2020-08-20 20:48:32.595000	9.105026624	1.59752E-07	0.002	0.000574937	0.006314505

ZIRCON			SDA						
NORAD	TCA	Miss Distance	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)
35256	2020-08-20 22:30:00.307000	9.196816664	35256	2020-08-20 22:30:00.304000	9.197464958	1.56557E-07	0.003	0.000648294	0.007048612
39603	2020-08-20 22:42:27.888000	9.776928289	39603	2020-08-20 22:42:27.886000	9.743425725	1.39503E-07	0.002	0.033502565	0.343847899
35256	2020-08-21 00:11:28.014000	9.417262102	35256	2020-08-21 00:11:28.011000	9.41784604	1.49316E-07	0.003	0.000583938	0.006200337
32178	2020-08-21 01:02:57.576000	6.856710272	32178	2020-08-21 01:02:57.574000	6.901462807	2.78052E-07	0.002	0.044752534	0.64844998
35256	2020-08-21 01:52:55.749000	9.653576202	35256	2020-08-21 01:52:55.746000	9.652367673	1.42148E-07	0.003	0.001208529	0.012520543
32450	2020-08-21 02:47:38.601000	4.449628702	32450	2020-08-21 02:47:38.600000	4.463382876	6.64783E-07	0.001	0.013754174	0.308155813
22802	2020-08-21 02:47:50.784000	9.45847214	22802	2020-08-21 02:47:50.772000	9.54595062	1.45335E-07	0.012	0.087478481	0.9163936
41090	2020-08-21 06:55:27.096000	8.47305513	41090	2020-08-21 06:55:27.098000	8.45245388	1.85371E-07	0.002	0.02060125	0.243730991
28319	2020-08-21 12:53:17.187000	8.840941595	28319	2020-08-21 12:53:17.187000	8.838165597	1.69545E-07	0	0.002775999	0.031409218
27640	2020-08-23 13:55:28.540000	1.860834148	27640	2020-08-23 13:55:28.539000	1.85650143	3.84253E-06	0.001	0.004332719	0.233380835
33691	2020-08-23 16:31:37.459000	7.034276519	33691	2020-08-23 16:31:37.459000	7.001526861	2.70161E-07	0	0.032749658	0.467750232

ZIRCON			SDA						
NORAD	TCA	Miss Distance	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)
38274	2020-08-23 17:17:47.721000	7.215932445	38274	2020-08-23 17:17:47.720000	7.226242152	2.5362E-07	0.001	0.010309707	0.142670373
470	2020-08-23 18:24:45.666000	3.454559609	470	2020-08-23 18:24:45.670000	3.50497794	1.07805E-06	0.004	0.050418332	1.438477858
38274	2020-08-23 18:59:17.542000	5.304897353	38274	2020-08-23 18:59:17.540000	5.298915026	4.71666E-07	0.002	0.005982326	0.112897196
38274	2020-08-23 21:31:26.911000	7.538163738	38274	2020-08-23 21:31:26.909000	7.549598095	2.3236E-07	0.002	0.011434357	0.151456504
38274	2020-08-23 23:12:56.654000	0.913685651	38274	2020-08-23 23:12:56.651000	0.91358484	1.58676E-05	0.003	0.000100812	0.011034729
29890	2020-08-23 23:15:20.447000	8.590925611	29890	2020-08-23 23:15:20.447000	8.584629239	1.79707E-07	0	0.006296372	0.073344715
38274	2020-08-24 00:54:26.407000	7.431819426	38274	2020-08-24 00:54:26.404000	7.431628284	2.39795E-07	0.003	0.000191142	0.002572007
12746	2020-08-24 00:55:02.177000	8.625614294	12746	2020-08-24 00:55:02.163000	8.673107028	1.76059E-07	0.014	0.047492734	0.547586163
40693	2020-08-24 14:36:10.064000	8.768748275	40693	2020-08-24 14:36:10.065000	8.812904918	1.70518E-07	0.001	0.044156643	0.501045268
31834	2020-08-24 19:31:40.748000	7.296797944	31834	2020-08-24 19:31:40.749000	7.281672599	2.49773E-07	0.001	0.015125346	0.207718016
41212	2020-08-24 22:01:16.651000	9.567763407	41212	2020-08-24 22:01:16.646000	9.54776342	1.4528E-07	0.005	0.019999987	0.209473003

ZIRCON			SDA						
NORAD	TCA	Miss Distance	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)
31338	2020-08-25 10:31:57.518000	8.193320964	31338	2020-08-25 10:31:57.519000	8.203503418	1.96793E-07	0.001	0.010182454	0.124123239

ZIRCON				SDA								
NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)	Max Probability Diff	Max Probability Diff(%)
25454	2020-09-16 13:43:46.112000	5.823934302	9.79212E-07	25454	2020-09-16 13:43:46.111000	5.821349312	3.90806E-07	0.001	0.002584989	0.044405331	5.88407E-07	150.5624914
39721	2020-09-16 15:32:12.110000	3.040977271	3.56316E-06	39721	2020-09-16 15:32:12.108000	3.089526854	1.38747E-06	0.002	0.048549583	1.571424519	2.17569E-06	156.8092578
22562	2020-09-16 20:45:34.161000	6.509688875	3.15134E-07	22562	2020-09-16 20:45:34.128000	6.557046336	3.08029E-07	0.033	0.047357461	0.722237705	7.10529E-09	2.306693399
30529	2020-09-16 22:59:17.249000	9.880866982	2.00563E-07	30529	2020-09-16 22:59:17.252000	9.942556742	1.33971E-07	0.003	0.06168976	0.620461738	6.6592E-08	49.70610565
35329	2020-09-17 00:36:27.322000	8.147250465	4.61861E-07	35329	2020-09-17 00:36:27.320000	8.112689515	2.01223E-07	0.002	0.03456095	0.426011002	2.60637E-07	129.5262701
22405	2020-09-17 01:22:25.951000	9.962233659	3.34182E-07	22405	2020-09-17 01:22:25.950000	9.965700817	1.3335E-07	0.001	0.003467158	0.034790911	2.00833E-07	150.6057144
5529	2020-09-17 18:35:33.552000	8.39288627	4.57538E-07	5529	2020-09-17 18:35:33.550000	8.349715959	1.89961E-07	0.002	0.043170311	0.5170273	2.67577E-07	140.8586264
5507	2020-09-17 21:11:47.361000	5.573742262	1.0378E-06	5507	2020-09-17 21:11:47.371000	5.524602164	4.33917E-07	0.01	0.049140099	0.889477599	6.0388E-07	139.1694965
40468	2020-09-17 21:51:40.291000	4.671446762	7.96257E-07	40468	2020-09-17 21:51:40.280000	4.577611591	6.32019E-07	0.011	0.093835171	2.049871842	1.64237E-07	25.98613556

ZIRCON				SDA								
NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)	Max Probability Diff	Max Probability Diff(%)
31456	2020-09-18 02:54:30.300000	4.073683252	7.51583E-07	31456	2020-09-18 02:54:30.300000	4.063729672	8.01971E-07	0	0.00995358	0.244937066	5.03877E-08	6.28298205
33691	2020-09-18 03:00:09.610000	9.124089125	3.61599E-07	33691	2020-09-18 03:00:09.609000	9.117439583	1.59317E-07	0.001	0.006649542	0.072932119	2.02282E-07	126.9678601
14407	2020-09-18 03:16:26.525000	9.157052735	3.96692E-07	14407	2020-09-18 03:16:26.534000	9.236239315	1.55245E-07	0.009	0.079186579	0.857346552	2.41447E-07	155.5262902
14407	2020-09-18 04:58:18.130000	1.848901134	9.73004E-06	14407	2020-09-18 04:58:18.140000	1.79223339	4.12306E-06	0.01	0.056667744	3.161850678	5.60699E-06	135.991078
31300	2020-09-18 05:32:32.909000	8.015240532	4.67998E-07	31300	2020-09-18 05:32:32.907000	8.020507422	2.05875E-07	0.002	0.00526689	0.065667785	2.62122E-07	127.3206406
4326	2020-09-18 06:55:19.780000	4.523677277	1.62454E-06	4326	2020-09-18 06:55:19.778000	4.517876833	6.48843E-07	0.002	0.005800444	0.128388715	9.75697E-07	150.3748923
22803	2020-09-18 09:33:55.980000	8.635974474	2.84512E-07	22803	2020-09-18 09:33:55.976000	8.626778116	1.77955E-07	0.004	0.009196358	0.106602468	1.06557E-07	59.87827846
31288	2020-09-18 11:21:55.816000	8.29745889	1.64595E-07	31288	2020-09-18 11:21:55.825000	8.294690118	1.9249E-07	0.009	0.002768772	0.033380056	2.78947E-08	14.49150166
15338	2020-09-18 17:07:18.376000	9.786430255	1.96247E-07	15338	2020-09-18 17:07:18.369000	9.802745291	1.3782E-07	0.007	0.016315036	0.166433336	5.8427E-08	42.39364201
40435	2020-09-18 19:14:55.136000	9.693549935	3.46426E-07	40435	2020-09-18 19:14:55.038000	9.746826447	1.39406E-07	0.098	0.053276512	0.54660368	2.0702E-07	148.5013088
28388	2020-09-19 01:41:13.614000	9.966078774	2.18191E-07	28388	2020-09-19 01:41:13.610000	9.976556006	1.3306E-07	0.004	0.010477232	0.10501852	8.51309E-08	63.97936798
38823	2020-09-19 03:27:06.014000	9.893695327	1.45143E-07	38823	2020-09-19 03:27:06.011000	9.881918677	1.35621E-07	0.003	0.01177665	0.119173724	9.52236E-09	7.021321466
26236	2020-09-19 04:19:27.401000	3.239869896	2.39651E-06	26236	2020-09-19 04:19:27.398000	3.256605243	1.24876E-06	0.003	0.016735346	0.513889318	1.14776E-06	91.91184639

ZIRCON				SDA								
NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)	Max Probability Diff	Max Probability Diff(%)
38326	2020-09-19 05:05:52.405000	4.743894301	9.92639E-07	38326	2020-09-19 05:05:52.405000	4.757440287	5.85143E-07	0	0.013545986	0.284732653	4.07497E-07	69.64057412
42235	2020-09-19 08:23:51.169000	7.793332313	5.36015E-07	42235	2020-09-19 08:23:51.167000	7.760673315	2.19892E-07	0.002	0.032658998	0.420826867	3.16123E-07	143.7628846
41135	2020-09-19 08:29:30.757000	6.056286417	4.23992E-07	41135	2020-09-19 08:29:30.759000	6.040184573	3.63001E-07	0.002	0.016101844	0.266578682	6.09916E-08	16.80204634
12740	2020-09-19 09:20:51.845000	9.598205815	3.53108E-07	12740	2020-09-19 09:20:51.836000	9.585769509	1.4413E-07	0.009	0.012436306	0.129737169	2.08978E-07	144.9926368
30944	2020-09-19 10:18:12.790000	7.425170827	5.59527E-07	30944	2020-09-19 10:18:12.790000	7.445946857	2.38874E-07	0	0.02077603	0.279024689	3.20653E-07	134.2352406
12740	2020-09-19 11:02:17.813000	5.710934999	9.97139E-07	12740	2020-09-19 11:02:17.805000	5.705692077	4.0681E-07	0.008	0.005242922	0.091889319	5.9033E-07	145.1119868
31948	2020-09-19 11:11:08.021000	9.716941399	3.35131E-07	31948	2020-09-19 11:11:08.021000	9.692413082	1.40976E-07	0	0.024528317	0.253067189	1.94155E-07	137.7223073
13718	2020-09-19 11:50:41.448000	2.541278336	3.71463E-06	13718	2020-09-19 11:50:41.450000	2.567892829	2.00842E-06	0.002	0.026614493	1.03643318	1.70621E-06	84.9527094
12740	2020-09-19 12:43:43.775000	9.739347116	3.42766E-07	12740	2020-09-19 12:43:43.767000	9.75464136	1.39183E-07	0.008	0.015294244	0.156789402	2.03584E-07	146.2705525
12740	2020-09-19 13:34:31.324000	4.197800816	1.84493E-06	12740	2020-09-19 13:34:31.315000	4.17624428	7.59341E-07	0.009	0.021556536	0.516170375	1.08559E-06	142.965234
12740	2020-09-19 15:15:57.323000	4.262472105	1.7889E-06	12740	2020-09-19 15:15:57.314000	4.292787106	7.1867E-07	0.009	0.030315001	0.706184578	1.07023E-06	148.9174667
32202	2020-09-19 15:16:43.286000	6.612313244	2.99038E-07	32202	2020-09-19 15:16:43.288000	6.610813377	3.03039E-07	0.002	0.001499867	0.022688087	4.00091E-09	1.320261698
32006	2020-09-19 16:01:28.480000	5.768582093	9.6113E-07	32006	2020-09-19 16:01:28.479000	5.780077785	3.96406E-07	0.001	0.011495693	0.198884741	5.64724E-07	142.4608381

ZIRCON				SDA								
NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)	Max Probability Diff	Max Probability Diff(%)
20793	2020-09-19 16:59:18.104000	6.339240739	4.91121E-07	20793	2020-09-19 16:59:18.101000	6.373402618	3.26036E-07	0.003	0.034161879	0.536006924	1.65085E-07	50.63399024
42352	2020-09-19 20:20:10.850000	7.048180304	2.4788E-07	42352	2020-09-19 20:20:10.845000	7.091551969	2.63345E-07	0.005	0.043371665	0.611596238	1.54655E-08	5.872696762
30288	2020-09-19 22:08:35.960000	9.201292	3.63583E-07	30288	2020-09-19 22:08:35.960000	9.210354118	1.56119E-07	0	0.009062118	0.098390552	2.07464E-07	132.8881289
6276	2020-09-19 23:38:00.535000	9.392114694	3.46254E-07	6276	2020-09-19 23:38:00.534000	9.395930091	1.50013E-07	0.001	0.003815398	0.04060692	1.96241E-07	130.8159073
31505	2020-09-19 23:50:20.363000	7.12903898	5.94755E-07	31505	2020-09-19 23:50:20.362000	7.176317672	2.57161E-07	0.001	0.047278692	0.658815481	3.37594E-07	131.2772812
40434	2020-09-20 03:09:51.021000	3.416139737	2.30653E-06	40434	2020-09-20 03:09:51.018000	3.384092566	1.15644E-06	0.003	0.032047171	0.946994515	1.15009E-06	99.45045678
22341	2020-09-20 22:38:18.577000	3.340885576	2.67873E-06	22341	2020-09-20 22:38:18.583000	3.33438808	1.19118E-06	0.006	0.006497497	0.194863243	1.48756E-06	124.8812518
40498	2020-09-21 08:44:10.145000	8.987402004	2.73227E-07	40498	2020-09-21 08:44:10.143000	8.980980691	1.64195E-07	0.002	0.006421313	0.071499014	1.09031E-07	66.40337992
12200	2020-09-21 18:53:33.665000	2.420291945	4.30217E-06	12200	2020-09-21 18:53:33.667000	2.425291007	2.25155E-06	0.002	0.004999061	0.206122119	2.05062E-06	91.07614755
4973	2020-09-21 19:53:35.002000	9.034064607	3.9385E-07	4973	2020-09-21 19:53:34.979000	9.035087988	1.62235E-07	0.023	0.001023381	0.011326736	2.31615E-07	142.7654074
30662	2020-09-22 00:48:09.004000	3.833423181	1.49197E-06	30662	2020-09-22 00:48:09.003000	3.84151992	8.97433E-07	0.001	0.008096739	0.210769159	5.94541E-07	66.24900039
36729	2020-09-22 04:09:53.910000	7.389300006	2.7461E-07	36729	2020-09-22 04:09:53.907000	7.399366527	2.41891E-07	0.003	0.010066521	0.136045713	3.27194E-08	13.52652211
24753	2020-09-22 04:10:15.723000	8.7878631	2.1645E-07	24753	2020-09-22 04:10:15.728000	8.82370686	1.70101E-07	0.005	0.035843761	0.406221117	4.63491E-08	27.24803877

ZIRCON				SDA								
NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	NORAD	TCA	Miss Distance	Max Probability	TCA Diff(s)	Miss DT Diff(km)	Miss DT Diff(%)	Max Probability Diff	Max Probability Diff(%)
42231	2020-09-22 12:03:33.659000	7.422782085	6.03879E-07	42231	2020-09-22 12:03:33.659000	7.500922794	2.35385E-07	0	0.078140709	1.04174795	3.68494E-07	156.5492949
36182	2020-09-22 12:32:16.499000	8.703572482	3.76535E-07	36182	2020-09-22 12:32:16.499000	8.710369463	1.74556E-07	0	0.006796981	0.078033206	2.01978E-07	115.7097453
35091	2020-09-22 13:26:23.348000	1.613649711	4.75552E-06	35091	2020-09-22 13:26:23.301000	1.615052591	5.07733E-06	0.047	0.00140288	0.086862816	3.21802E-07	6.338027005
31219	2020-09-22 13:31:12.979000	8.193319625	4.2616E-07	31219	2020-09-22 13:31:12.979000	8.175465205	1.98145E-07	0	0.017854419	0.218390254	2.28015E-07	115.0744959
42231	2020-09-22 13:45:16.688000	3.955492804	2.12656E-06	42231	2020-09-22 13:45:16.688000	3.878284021	8.805E-07	0	0.077208783	1.99079753	1.24606E-06	141.517819
1943	2020-09-22 17:22:43.169000	9.362660242	3.79458E-07	1943	2020-09-22 17:22:43.206000	9.316083354	1.52595E-07	0.037	0.046576888	0.49996212	2.26862E-07	148.6691836
1943	2020-09-22 19:54:39.557000	4.283231595	1.81329E-06	1943	2020-09-22 19:54:39.601000	4.285104134	7.2125E-07	0.044	0.001872539	0.043698794	1.09204E-06	151.4088057
42325	2020-09-22 23:37:12.698000	8.021023206	2.82819E-07	42325	2020-09-22 23:37:12.698000	7.99222853	2.07335E-07	0	0.028794676	0.360283445	7.54844E-08	36.40698825
23815	2020-09-23 05:58:00.442000	3.603367518	8.93592E-07	23815	2020-09-23 05:58:00.332000	3.559429487	1.04532E-06	0.11	0.0439380318	1.234412188	1.51724E-07	14.51462249

ภาคผนวก ค

ผลการสัมภาษณ์ กลุ่มเป้าหมายที่ 1

จากการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่ 1 ได้แก่ หน่วยงานที่พัฒนา บริษัทที่เป็นผู้ประกอบการดาวเทียม หรือให้บริการดาวเทียม (ลูกค้าปัจจุบัน) จำนวน 5 ท่าน ได้แสดงความเห็นเกี่ยวกับ “ความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์” โดยบทสัมภาษณ์จะไม่ระบุชื่อผู้ให้สัมภาษณ์ จะแสดงรายละเอียดเป็นชื่อดาวเทียมเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ และมีผลการสัมภาษณ์ ดังนี้

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท (กลุ่มเป้าหมายที่ 1)

รายละเอียด
“มีภารกิจบริหารจัดการดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติหรือดาวเทียมสำรวจโลกของประเทศ โดยดำเนินการควบคุมดาวเทียม และทำให้ดาวเทียมปฏิบัติงานได้ดี ในปัจจุบันมีดาวเทียมที่รับผิดชอบอยู่จำนวน 1 ดวง คือ A1 ที่สามารถบริหารจัดการได้ ลักษณะของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติหรือดาวเทียมสำรวจโลก จะถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูง ซึ่งเป็นช่วงคลื่นมาประกอบกันที่ภาคพื้นดินกลายเป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม มีความละเอียดเป็นภาพขาวดำอยู่ที่ 2 เมตร ในขณะที่ภาพสี (multispectral image) อยู่ที่ 15 เมตร ประกอบด้วย 4 Bands มีระดับความสูงจากพื้นดินอยู่ที่ 822 กิโลเมตร หรือเรียกว่าเป็นวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีมูลค่าการสร้างประมาณ 6,000 ล้านบาท ในขณะที่มีพันธมิตรของกลุ่มดาวเทียมมีจำนวน 9 ดวง ซึ่งเป็น Partner แต่ไม่สามารถควบคุมหรือบริหารจัดการได้ ผู้ที่จะสามารถบริหารจัดการดาวเทียมได้ คือ เจ้าของดาวเทียมเท่านั้น อย่างไรก็ตาม หน่วยงาน A สามารถวางแผนการถ่ายภาพให้ได้ ในอนาคต แผนการพัฒนาดาวเทียมในอนาคตของหน่วยงาน จะมีการพัฒนาโครงการดาวเทียมโดยดาวเทียมดวงนี้จะไม่ใช่เป็นเพียงแค่ดาวเทียม แต่เป็นโครงสร้างพื้นฐานทางด้านอวกาศของประเทศ ประกอบด้วย ดาวเทียม 2 ดวง ได้แก่ ดาวเทียมดวงหลักและดาวเทียมขนาดเล็ก ขนาด 120 - 125 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามคาดว่าดาวเทียมดวงหลักจะปล่อยขึ้นสู่วงโคจรในเดือนมีนาคม 2565 และดาวเทียมขนาดเล็กจะส่งในช่วงกลางปี 2566”
“ปัจจุบัน ดาวเทียมของหน่วยงานมีการปฏิบัติการอยู่จำนวน 4 ดวงที่ให้บริการอยู่ และอยู่ในวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit: GEO) มีพื้นที่ให้บริการซึ่งสามารถรองรับการใช้งานของลูกค้าได้เทียบเท่าสองในสามของประชากรโลก ให้บริการทางด้านการสื่อสารโทรคมนาคมในภูมิภาคเอเชีย แอฟริกา และโอเชียเนีย สามารถรับส่งข้อมูลและวิดีโอระดับพรีเมียมได้อย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียด
น่าเชื่อถือและปลอดภัย พื้นที่ให้บริการที่ครอบคลุมกว้างขวางนี้ จะช่วยให้ผู้ประกอบการกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ มีโอกาสขยายธุรกิจด้านดิจิทัลไปสู่ตลาดใหม่ ๆ อีกทั้งช่วยให้ผู้ประกอบการธุรกิจโทรคมนาคม สามารถให้บริการเครือข่ายบรอดแบรนด์ที่คุ้มค่าแก่ผู้ใช้งาน ในพื้นที่ห่างไกลได้ นอกจากนั้น ยังช่วยเพิ่มศักยภาพให้หน่วยงานภาครัฐ ขยายการบริการไปได้ทั่วทั้งประเทศอีกด้วย ในอนาคต มีแผนจะพัฒนาดาวเทียมอีกจำนวน 1 ดวง เนื่องจากมี 1 ดวงที่ใกล้จะหมดอายุ นอกจากนี้ ยังมีแนวโน้มในการพัฒนาดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) อีกระยะเวลาไม่เกิน 5 ปี คาดว่าจะเป็นดาวเทียม SmallSat หรือ MicroSat แต่คงไม่ใช่ดาวเทียมสื่อสารเพราะไม่ใช่ Global Scale หรือ Global Market เนื่องจากทางหน่วยงานเป็น Regional Player ยังไม่สนใจจะสร้างพวกกลุ่มดาวเทียม (LEO Satellite Constellation) แต่สามารถเป็น Partner ได้ โดยอาจจะสร้างเป็นดาวเทียม Earth Observation: EO หรือดาวเทียม Internet of Things: IOT แทน”
“มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินกิจการด้านอวกาศของประเทศเพื่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสร้างประโยชน์ให้กับประชาชนเป็นหลัก และมีภารกิจด้านการพัฒนาและวิจัยเทคโนโลยีการบินและอวกาศสำหรับพลเรือนและทหาร มีการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก ดาวเทียมวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และดาวเทียมสื่อสารโทรคมนาคม ปัจจุบัน ทีมนักวิจัยมีการพัฒนาดาวเทียมจำนวน 3 ดวง ประกอบด้วย C1 และ C2 เป็นดาวเทียมสื่อสาร, C3 เป็นดาวเทียมขนาด Microsatellites ดาวเทียมดวงนี้ เป็นดาวเทียมวิจัยวิทยาศาสตร์เพื่อการสำรวจโลกที่เกิดจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี (transfer of knowledge) อยู่ในวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-Synchronous Orbit: SSO) อยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 635 กิโลเมตร ปล่อยเข้าสู่วงโคจรตั้งแต่ปี 2550 2558 และ 2559 ทั้งนี้ มีแผนการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต ช่วงปี 2565-2567 ร่วมกับนักวิจัยแห่งเยอรมนี โดยภาพรวมแล้ว ส่วนมากทางหน่วยงานจะพัฒนาและสร้างดาวเทียมประเภท Remote Sensing เพื่อใช้ในการติดตามทรัพยากรธรรมชาติ แต่ในอนาคตมีแผนการพัฒนาดาวเทียมสื่อสารทั้งในระดับวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) และวงโคจรค้างฟ้าด้วย นอกจากนี้ ในอนาคตมีแผนที่จะสร้างศูนย์อวกาศแห่งแรกของของประเทศบนเกาะแห่งหนึ่ง โดยกำลังอยู่ระหว่างการเจรจากับพันธมิตรต่างประเทศ โดยศูนย์อวกาศดังกล่าว จะพัฒนาจรวดและฐานปล่อยจรวด (spaceport) ขึ้นสู่วงโคจรโลก ซึ่งมีกำหนดที่จะทดสอบจรวดครั้งแรกในปี 2567”

รายละเอียด
“ทำหน้าที่จัดหาและให้บริการเกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศ ไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม เครือข่ายภาคพื้นดิน (ground station) และการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ รวมถึงแพลตฟอร์มด้านอวกาศต่าง ๆ (space operations) ให้นำไปสู่ “Space Ecosystem” ร่วมกับภาครัฐและเอกชน โดยมีเป้าหมายในการถ่ายภาพดวงจันทร์ในอนาคต นอกจากนี้ บริษัทยังมีกลุ่มดาวเทียมขนาดใหญ่หรือเรียกว่า Nanosatellites เป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) สำหรับใช้ในการติดตามข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับโลกอีกด้วย ดาวเทียมของเรามีภารกิจติดตามสภาพอากาศ ติดตามการกระทำผิดทางทะเล การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศของโลก (atmosphere profile) นอกจากนี้ ยังมีการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กที่พัฒนาเองกว่า 100 ดวง ขึ้นสู่วงโคจร โดยได้ออกแบบและสร้างเองตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2557 และพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีการปล่อยดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรทุก ๆ ไตรมาส สำหรับแผนการพัฒนาในอนาคต หน่วยงาน D อยู่ระหว่างการเตรียมนำดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร 2 ใน 3 ดวง ประจำไตรมาสนี้ (ไตรมาสที่ 2/2564) และจะเพิ่มโครงข่ายของดาวเทียมให้สามารถเข้าถึงได้จากทั่วโลก เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลและเป็นจุดเริ่มต้นของการเชื่อมโยงข้อมูลของโลกต่อไป”
“เป็นหน่วยงานด้านอวกาศของประเทศในภูมิภาคเอเชีย มีภารกิจในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอวกาศ ตลอดจนผลักดันให้เกิดอุตสาหกรรมอวกาศภายในประเทศ ปัจจุบัน มีดาวเทียมที่ดูแลทั้งหมด 7 ดวง มีลักษณะเป็นดาวเทียมสำรวจโลกใช้ถ่ายภาพพื้นผิวโลก ความละเอียดภาพขาวดำ 2 เมตร ภาพสี 4 เมตร ใช้ประโยชน์ในการป้องกันภัยสำรวจเขตเกิดภัยพิบัติ ความมั่นคงประเทศ การควบคุมสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีด้านการทูต การวิจัยค้นคว้าด้านวิทยาศาสตร์ ความช่วยเหลือด้านมนุษยธรรม และศึกษาชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere) อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีราคาประมาณการในการสร้างอยู่ที่ 3,000 ล้านบาทต่อดวง (รวมสถานีภาคพื้นดินด้วย) ประกอบด้วย 1) ดาวเทียม E1 จำนวน 1 ดวง ปล่อยเข้าสู่วงโคจร ในปี 2560 2) ดาวเทียม E2 เป็นกลุ่มดาวเทียม (constellation) จำนวน 6 ดวง ปล่อยเข้าสู่วงโคจร ในปี 2562 เป็นโครงการร่วมทุนกับองค์การสหรัฐอเมริกา โดยดาวเทียมกลุ่มนี้ มีภารกิจรวบรวมข้อมูล ซึ่งจะใช้ทั้งในด้านอุตุนิยมวิทยาและการลาดตระเวน รวมถึงการสอดแนม”

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 2 ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม (กลุ่มเป้าหมายที่ 1)

มีวิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุอย่างไร	มีวิธีการปรับเปลี่ยนวงโคจรเพื่อให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรปฏิบัติการ (orbital mission) หรือ เปลี่ยนวงโคจรเพื่อลดความเสี่ยงการชนของวัตถุอวกาศอย่างไร
“สำหรับดาวเทียมที่ยุติภารกิจหรือหมดอายุทางสหประชาชาติหรือยูเอ็นก็ได้มีแนวปฏิบัติให้ดาวเทียมเหล่านั้นตกกลับสู่โลกภายใน 25 ปี และเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศ โดยดาวเทียม A กรณีแผนการคร่าว ๆ จะมีการปรับวงโคจรจากที่ระดับความสูง 822 กิโลเมตร อย่างที่บอกข้างต้นให้เหลือประมาณ 480 กิโลเมตรจากพื้นดิน ก็คาดว่าไม่เกิน 25 ปีจะตกกลับสู่ชั้นบรรยากาศแล้วก็มีการเผาไหม้จนหมด”	“ในข้อนี้กล่าวไว้ว่า การปรับเปลี่ยนวงโคจรจะมีอยู่ 2 อย่าง อย่างแรกคือการรักษาตำแหน่งของดาวเทียม อย่างที่บอกข้างต้นคือจะต้องรักษาไว้ให้ได้ 822 กิโลเมตรจากพื้นโลก เราจะพบว่าปัจจัยที่ทำให้ดาวเทียมมีการเลื่อนระดับลงมาก็เกิดได้จากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของแรงโน้มถ่วงและแรงดึงดูดของโลก เป็นต้น ซึ่งพบว่า การบริหารจัดการดาวเทียม A ในช่วง 12 ปีครึ่ง มีการปรับวงโคจรทั้งหมด 19 ครั้ง ในส่วนที่สอง การปรับวงโคจรเพื่อหลีกเลี่ยงวัตถุอวกาศ เราก็ได้มีการปรับวงโคจรเพื่อหลีกเลี่ยงการชนจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งเหตุการณ์ล่าสุดก็เป็นในปี 2564 เดือนกุมภาพันธ์ก็ได้ปรับวงโคจรหนีวัตถุอวกาศ ซึ่งเป็นดาวเทียมดวงหนึ่งมีระยะห่างกับดาวเทียม A ประมาณ 100 เมตร ซึ่งในอวกาศถือว่าใกล้มาก ๆ ก็มีการปรับวงโคจรลงมาอีกประมาณ 60 เมตร”
“ก่อนหมดอายุการใช้งาน จะต้องเหลือเชื้อเพลิงไว้ใช้ในการบังคับให้ดาวเทียมลอยสูงขึ้นไปอีก 300 กิโลเมตร เข้าไปอยู่ในวงโคจรสุสาน (graveyard orbit) และดาวเทียมทุกชนิดจะต้องเผาเชื้อเพลิงที่คงเหลืออยู่ทิ้งไป และมีการออกแบบแบตเตอรี่ป้องกันการระเบิด”	“เนื่องจากเป็นวงโคจรค้างฟ้า จึงมีการปรับเปลี่ยนวงโคจรน้อย และมีการดำเนินการโดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญของหน่วยงาน”
“สำหรับดาวเทียมที่ขึ้นสู่วงโคจร ทางหน่วยงานจะรายงานต่อ United Nations Office for	“เป็นไปตามกระบวนการของวิศวกรในหน่วยงาน โดยจะมีการปรับเมื่อได้รับแจ้งถึง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มีวิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุอย่างไร	มีวิธีการปรับเปลี่ยนวงโคจรเพื่อให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรปฏิบัติการ (orbital mission) หรือ เปลี่ยนวงโคจรเพื่อลดความเสี่ยงการชนของวัตถุอวกาศอย่างไร
Outer Space Affairs: UNOOSA และจะดำเนินการบริหารจัดการสิ่งที่อยู่ในอวกาศ เพื่อความสงบเรียบร้อยต่อไป มีอยู่ 2 วิธี สำหรับดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit: GEO) จะมีการขับดันขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศที่สูงกว่า ในขณะที่ดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะขับดันลงมาชั้นบรรยากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้”	ความผิดปกติ อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถปรับได้หากไม่มีคำสั่ง”
“ดาวเทียมของเราอยู่ในระดับวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะกลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก (re-enter) และถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น ดาวเทียมของเราจะถูกกำจัดอย่างมีความรับผิดชอบต่อนานาชาติและไม่ก่อให้เกิดเศษขยะอวกาศ”	“มีแผนที่จะ Reloading Software เพื่อจัดการปัญหาเป็นรายครั้ง ๆ ไป เพื่อจะยังคงให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรเดิม”
“สำหรับดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) จะใช้เชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ของดาวเทียม (thruster) ทำให้มันเคลื่อนที่ช้าลงส่งผลให้ดาวเทียมหลุดจากวงโคจร จากนั้นจะเกิดการเสียดสีและเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศ”	“การปรับโคจร ควบคุมโดยวิศวกร อย่างไรก็ตามดาวเทียมของเรายังไม่เคยต้องหลบขยะอวกาศจนต้องปรับวงโคจร แต่แน่นอนว่าดาวเทียมก็เคยส่งสัญญาณกลับมายังโลก ว่าพบปัญหาบางอย่างในการทำงาน อาทิ ระบบ GPS การเข้าสู่โหมดปิดตัวเอง”

สถาบันวิทยบริการ
Chulalongkorn University

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 3 ข้อมูลการติดตามและแจ้งเตือนมีความเสี่ยงของการชนของดาวเทียมกับวัตถุอวกาศ (กลุ่มเป้าหมายที่ 1)

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	มีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศหรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่
“แน่นอนว่าดาวเทียมคือทรัพย์สินหรือสมบัติของชาติซึ่งมีมูลค่าการลงทุนที่สูงมากหากเกิดความเสียหายจะมีการสูญเสียโอกาสอย่างมหาศาลถ้าเรามองในด้านของงบประมาณหมายถึงงบประมาณของชาติที่สูญเสียไปหลายพันล้านยังไม่รวมในส่วนของ Output Outcome ก็คือสิ่งที่ได้จากดาวเทียมนั้นหมายถึงข้อมูลภูมิสารสนเทศข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่นำมาบริหารจัดการเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในเชิงนโยบายหรือประเด็นเร่งด่วนต่าง ๆ ในประเทศซึ่งเราก็จะมีการรับข้อมูลเหล่านี้ทุกวันจะทำให้เราอยู่ในภาวะของการสูญเสียข้อมูลซึ่งจะมีการถ่ายภาพอย่างต่อเนื่องลักษณะเดียวกันก็จะขาดข้อมูลข่าวสารในสถานะการเร่งด่วนตัวอย่างเหตุการณ์คือในเรื่องของความมั่นคงเราจะให้ดาวเทียมของประเทศอื่นถ่ายภาพประเทศของเราไม่ได้ซึ่งในส่วนนี้หากเราต้องการข้อมูลจะต้องถ่ายภาพเองสรุปสั้น ๆ ว่าถ้าเกิดว่าเราจะมีความเสียหาย ประการแรกก็คือจะเสียหายในด้านของงบประมาณของชาติ ประการที่สองคือการสูญเสียข้อมูลการถ่ายภาพอย่างมหาศาลและประการที่สาม คือขาดข้อมูลในสถานการณ์เร่งด่วนในเรื่องของความมั่นคงของชาติ”	“มีการใช้บริการระบบการแจ้งเตือนการชนวัตถุอวกาศโดยใช้หลายหน่วยงานอย่างหน่วยงานแรกก็คือ The Combined Space Operations Center: CSpOC ซึ่งเป็นหน่วยงานของกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเป็นแม่งานหลัก ซึ่งจะมีเครื่องมืออย่างเรดาร์คอยติดตามวัตถุอวกาศ หน่วยงานนี้ให้บริการฟรี นอกจากนี้ยังใช้ Space Data Association: SDA ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายเป็นรายปีตกปีละ 15,000 US ดอลลาร์สหรัฐ หากถามว่า SDA ต่างจาก CSpOC อย่างไร ก็คือ SDA เอาข้อมูลจาก CSpOC มาวิเคราะห์โดยจะพบวัตถุอวกาศที่มีขนาด 10 เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งในปัจจุบันพบว่ามีจำนวนหลายแสนชิ้นในวงโคจรระดับต่ำก็จะแจ้งเตือนในระยะ 1 กิโลเมตรล่วงหน้า 2-3 วัน โดยทางหน่วยงานเป็นสมาชิกของ SDA มาตั้งแต่ปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร แต่ปัจจุบันเลิกเป็นสมาชิกแล้ว เนื่องจากมาใช้ระบบ ZIRCON ที่พัฒนาขึ้นเอง”

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	มีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่
“กระทบต่อมูลค่าหรืองบประมาณในการลงทุน นอกจากนี้ ดาวเทียมของเราเป็นดาวเทียมแห่งการสื่อสาร ส่งผลกระทบต่อทุกคนที่ใช้ดาวเทียมในการติดต่อสื่อสาร ทำให้สูญเสียและขาดทุนทั้งในระดับมหภาคและจุลภาค”	“ยังไม่มีการใช้บริการ เนื่องจาก เป็นวงโคจรค้างฟ้า มีความเสี่ยงต่อการชนน้อย โอกาสเกิดน้อย แต่โอกาสเกิดสูงจะอยู่ในวงโคจรระดับต่ำ”
“กระทบต่อการสื่อสารหรือการเก็บข้อมูลผ่านการใช้ดาวเทียม ไม่ว่าจะการใช้ในเรื่องของการสูญเสียข้อมูลการสำรวจทรัพยากรของชาติ หากมีภัยพิบัติเกิดขึ้นในขณะนั้น จะไม่สามารถคาดการณ์หรือติดตามแบบเรียลไทม์ได้ กล่าวได้ว่าส่งผลกระทบต่อการเก็บข้อมูลของชาติ นอกจากนี้ หากกล่าวถึงในส่วนของดาวเทียมจะพบว่าทำให้สูญเสียงบประมาณของประเทศในการสร้างจำนวนมาก”	“มีการเฝ้าระวังและมีระบบติดตามวัตถุอวกาศ อย่างไรก็ตาม มีความตระหนักและให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของประชาชนในประเทศเป็นอย่างมาก”
“ในส่วนแรกมองว่ากระทบต่อธุรกิจและความมั่นคงของบริษัทเพราะการที่ดาวเทียมเสียหายหมายถึงงบประมาณการลงทุนของบริษัท ทั้งนี้ยังส่งผลต่อความมั่นคงหรือชื่อเสียงของบริษัทอีกด้วย ถ้ามองอีกมุมจะเห็นว่าการสื่อสารจากดาวเทียมคงได้รับผลกระทบไม่มากก็น้อย เนื่องจากไม่มีการเตรียมรับมือกับสถานการณ์ฉุกเฉิน อาจทำให้กิจกรรมบางอย่างหยุดชะงักลงได้”	“ยังไม่มีการใช้บริการ แต่รู้จักระบบการแจ้งเตือนการชนวัตถุอวกาศ CSpOC ของสหรัฐอเมริกา”
“สูญเสียงบประมาณของประเทศ เนื่องจากดาวเทียมมีงบประมาณที่สูงมาก หลักพันล้าน เสียเวลาในการสร้าง เสียกำลังคน”	“มีการใช้บริการระบบการแจ้งเตือนการชนวัตถุอวกาศโดยใช้ CSpOC ซึ่งเป็นหน่วยงานของกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา เป็นแม่งานหลัก ซึ่งจะมีเครื่องมืออย่างเรดาร์คอยติดตาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	มีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่
	วัตถุอวกาศ หน่วยงานนี้ให้บริการฟรี”

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 4 ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต (กลุ่มเป้าหมายที่ 1)

ประเทศมีแนวโน้มเกี่ยวกับกิจกรรมอวกาศและธุรกิจดาวเทียมในอนาคตอย่างไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร
“แนวโน้มในอนาคตมองว่าจากอดีตจนถึงปัจจุบันอย่างเช่นดาวเทียมสื่อสารในอดีตก็จะเป็นวงโคจรค้างฟ้าแต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มการส่ง เช่น Starlink ของ SpaceX ขึ้นสู่วงโคจรมากกว่า 30 ดวงในวงโคจรระดับต่ำ ดาวเทียมสำรวจโลกก็มีหลากหลายแขนง ไม่ว่าจะเป็นดาวเทียมสำรวจชั้นบรรยากาศอื่น ๆ ดาวเทียมสำรวจไนโตรเจน ซึ่งมีการสำรวจในด้านวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น และคาดว่าในอนาคตจะมีการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร โดยเฉพาะดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำหลายหมื่นดวงเพื่อปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม มีความกังวลว่าจะเกิดการชนกันของดาวเทียม เนื่องจากยิ่งส่งไปจำนวนมากดาวเทียมหรือวัตถุอวกาศที่อยู่ข้างบนจะควบคุมได้ยากมากซึ่งมีความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อวินาที มีการบริหารงานที่ยากแน่นอนว่าธุรกิจมีการเติบโตอย่างแน่นอน นอกจากธุรกิจดาวเทียมแล้วยังมีธุรกิจอื่น ๆ อย่างเช่น แพลตฟอร์มอากาศยาน”
“แนวโน้มในอนาคต คาดว่าจะมีการส่งดาวเทียมขึ้นไปอีกหลายหมื่นดวง เทคโนโลยีมีความก้าวหน้า ในขณะที่ต้นทุนมีราคาต่ำลง ในขณะดาวเทียมแต่ละประเทศ จะมีอายุการใช้งานไม่เกิน 25 ปี ตามหลักการของ The International Telecommunication Union: ITU จะทำให้บนอวกาศ ภายใต้วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เต็มไปด้วยอันตราย และความเสี่ยงที่ดาวเทียมจะเกิดการผิดพลาดเชิงเทคนิค จึงต้องมีการเฝ้าระวังที่ดี อย่างไรก็ตาม คาดการณ์กลุ่มลูกค้าของระบบนี้จะกระจายอยู่ทั่วโลก มีโอกาสสูงในการทำเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต”
“แนวโน้มกิจกรรมอวกาศของประเทศคาดว่าจะเป็นตลาดดาวเทียมสื่อสารในเชิงพาณิชย์ที่ใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะเห็นได้ชัดว่ามีการเติบโตของธุรกิจดาวเทียมเชิงพาณิชย์อย่างต่อเนื่อง เหตุที่ประเทศของเราจำเป็นต้องใช้ดาวเทียมสื่อสารนั้น มาจากภูมิประเทศที่มีเกาะจำนวนมาก ยากต่อการบริหารจัดการ แม้แต่การวางโครงข่ายของ ATM ภายใต้การบริหารจัดการก็มีการใช้ดาวเทียมสื่อสารในการวางโครงข่ายให้ครอบคลุมทั่วประเทศ ผ่านการใช้อินเทอร์เน็ตดาวเทียม เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ชัดว่าแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมในอนาคตของประเทศจะเป็นไปตามแนวโน้มหรือเทรนด์ของโลกเช่นเดียวกัน อย่างที่กล่าวข้างต้นว่า เราได้ดำเนินการทำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประเทศมีแนวโน้มเกี่ยวกับกิจกรรมอวกาศและธุรกิจดาวเทียมในอนาคตอย่างไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร
อยู่แล้วในปัจจุบัน คือ เทรนด์ดาวเทียมเพื่อการสื่อสาร ผ่าน ICT หรือ IOT”
“สำหรับกิจกรรมด้านอวกาศ เราอาจมองไกลกว่าประเทศของเราไปยังแนวโน้มหรือตลาดของกลุ่มประเทศเอเชีย แปซิฟิก มองเห็นว่า มีการเติบโตของ Satellite communication market หรือตลาดของดาวเทียมสื่อสาร โดยในปัจจุบัน ดาวเทียมสื่อสารใช้ในด้านโทรคมนาคมในประเทศ เชื่อมโยงเครือข่ายต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังมีผลโดยตรงกับเรื่องการนำทาง การเดินเรือสมุทร การขนส่ง เป็นต้น นอกจากนี้ตลาดดาวเทียม Nanosatellite จะได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจาก มีการปรับปรุงเทคโนโลยีให้เหมาะสมต่อสถานการณ์เพื่อสร้างความแตกต่างให้กับอุตสาหกรรมอวกาศและการวิจัยพัฒนา”
“แน่นอนว่ากระแสของดาวเทียมอินเทอร์เน็ต Starlink เป็นที่กล่าวถึงไปทั่วโลก เทรนด์การทำดาวเทียมของประเทศเราคงหนีไม่พ้นดาวเทียมอินเทอร์เน็ตหรือดาวเทียม Internet of Things: IOT โดยในปัจจุบัน มีการรวมกลุ่มภาคีของบริษัทเอกชนที่รับทำเป็น Hub Station ซึ่งถือเป็น Big Market ในเอเชียก็ว่าได้ นอกจากนี้สิ่งที่ประเทศเรามีความถนัดมาก คือ ดาวเทียมติดตามสภาพอากาศ (remote sensing) เนื่องจาก ไต้หวันเป็นประเทศที่มีภัยพิบัติ พายุเข้าตลอด จึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการตรวจสภาพอากาศ ซึ่งจะดำเนินการสร้างตามแผน”

ผลการสัมภาษณ์ กลุ่มเป้าหมายที่ 2

จากการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่ 2 ได้แก่ หน่วยงาน บริษัท โครงการ หรือภาคีความร่วมมือที่เป็นผู้อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการพัฒนาดาวเทียมในอนาคต (ลูกค้าในอนาคต) จำนวน 7 ท่าน ได้แสดงความเห็นเกี่ยวกับ “ความเป็นไปได้ของระบบการจัดการจราจรอวกาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์” โดยบทสัมภาษณ์จะไม่ระบุชื่อผู้ให้สัมภาษณ์จะแสดงรายละเอียดเป็นชื่อดาวเทียมเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ และมีผลการสัมภาษณ์ ดังนี้

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานหรือบริษัท (กลุ่มเป้าหมายที่ 2)

รายละเอียด
“การวิจัยด้านดาราศาสตร์ อวกาศ วิทยาศาสตร์บรรยากาศและสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเทคนิควิศวกรรมเพื่อสร้างนวัตกรรมด้านดาราศาสตร์ นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาโดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมต่าง ๆ มาประกอบกันอีกด้วย มีแผนในการพัฒนาดาวเทียมใน

รายละเอียด
รูปแบบ Series ในช่วงแรกจะเริ่มพัฒนา A1 เป็นดาวเทียมดวงแรก ซึ่งมีราคาประมาณการสร้าง จำนวน 120 ล้านบาท อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ซึ่งถือว่าเป็นการนำทางของแผนพัฒนาดาวเทียมในรูปแบบ Series ในอนาคต โดยหลัก ๆ แล้วจะดำเนินการสร้างในส่วนของโครงสร้างดาวเทียม ประกอบด้วย Payload และ Spacecraft (ยานอวกาศ) ซึ่งดาวเทียมก็ถือเป็นยานอวกาศหนึ่งเช่นเดียวกันที่โคจรอยู่ในวงโคจรระดับต่ำ ดาวเทียมดวงนี้มีขนาดเป็น Micro Sat หรือประมาณ 80 - 100 กิโลกรัม โดยการพัฒนาดาวเทียมในรูปแบบ Series หลัก ๆ จะมีอยู่ประมาณ 6 ดวง (ไม่ได้นับรวมดวงเล็กที่เกิดจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี) ซึ่งแผนการดำเนินงานที่ชัดเจนก็จะเป็นที่ A1 A2 และ A3 ในขณะที่ A4 ยังมีแผนการพัฒนาไม่ชัดเจน เนื่องจาก รองบประมาณในการดำเนินการ โดย A1 จะเน้นการสร้างและพัฒนากำลังคน และนำไปสู่การสร้างดาวเทียม A2 และ A3 ซึ่งมีเป้าหมายการไปให้ถึงดวงจันทร์ Mission ‘Moon Lunar Orbiter’”
“วัตถุประสงค์ของการสร้างดาวเทียม A2 (Micro Sat น้ำหนัก 100 กิโลกรัม) มีราคาประมาณการสร้าง จำนวน 500-700 ล้านบาท มุ่งเน้น Capacity Building ของคนหลายองค์กรมารวมกันภายใต้ภาคีฯ ไม่ว่าจะเป็นนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร นักวิจัย และนักศึกษา ทั้งนี้ สิ่งที่ควรจะทำคือการสร้าง Ecosystem ผ่านโจทย์ที่ยากและท้าทาย โดยมีเป้าหมายว่าเราจะทำอย่างไรให้บุคลากรของเราเก่งขึ้นไป อย่างไรก็ตาม การสร้างดาวเทียม เหมือนกับการสร้างบ้าน เราไม่สามารถสร้างทุกอย่าง เพื่อมาประกอบได้ แต่เราสามารถออกแบบ Mission หรือออกแบบดาวเทียมได้ มีแผนในการพัฒนาดาวเทียมในรูปแบบ Series ประมาณ 8 ดวง โดยในปี 2564 นี้ อยู่ระหว่างการดำเนินงานของดาวเทียม A1 (ดาวเทียม Earth Observation: EO) เป็นความร่วมมือของประเทศไทยและต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังจะมีดาวเทียม 2 ดวงเล็ก ซึ่งเป็นการถ่ายทอดเทคโนโลยี ต่อมาจะเป็น ดาวเทียม A2 จะติดตั้งกล้อง Hyperspectral ด้วย ในขณะที่ดาวเทียม A3 มีเป้าหมายการไปให้ถึงดวงจันทร์ Mission ‘Moon Lunar Orbiter’ โดยที่ A4 A5 และ A6 ยังไม่มีแผนที่แน่ชัดเนื่องจาก รองบประมาณจากภาครัฐเช่นเดียวกัน”
“ภารกิจหลัก คือ ส่วนแรกคือ การพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ ทั้งในภาคพื้นดินและในอวกาศด้วย ส่วนที่สอง เป็นการให้บริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อแก้ปัญหาเชิงพื้นที่ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการเกษตร ภัยพิบัติ ในปัจจุบัน หน่วยงาน C มีหน้าที่พัฒนาดาวเทียมด้วยที่ผ่านมามีดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ คือ C1 อายุการใช้งานประมาณ 12 ปี 6 เดือนแล้ว และยังอยู่ในวงโคจรตอนนี้ ปัจจุบันถือว่าสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ดาวเทียมนี้เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ มีหน้าที่ถ่ายภาพรายละเอียดสูง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเป็นข้อมูลสารสนเทศใช้ประกอบการ

รายละเอียด
ตัดสินใจเชิงนโยบายและภารกิจอื่น ๆ มีความละเอียดอยู่ที่ 2 เมตร สำหรับภาพขาวดำ ส่วนภาพสีมีความละเอียดอยู่ที่ 15 เมตร เพื่อเป็นการสร้างความต่อเนื่อง ภาครัฐได้อนุมัติให้ดำเนินโครงการ C2 โดยได้ลงนามกับต่างประเทศ โดยภายใต้สัญญาจะมีการพัฒนาดาวเทียมจำนวน 2 ดวง ในขณะนี้อยู่ในการดำเนินงานเดือนที่ 32 จากระยะเวลาโครงการทั้งหมด 60 เดือน ประกอบด้วยดาวเทียมดวงหลัก ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติรายละเอียดสูง เป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีความละเอียดอยู่ที่ 0.5 เมตร สำหรับภาพสี หรือประมาณ 50 เซนติเมตร ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงจากต่างประเทศ ดาวเทียมขนาดเล็กดวงที่ 2 มีความละเอียดอยู่ที่ 1 เมตร มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อการสร้างบุคลากรภายในประเทศ นอกจากนี้ ไม่เพียงแต่เป็นการสร้างดาวเทียมแต่ยังมีระบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น Application ที่หลากหลาย การพัฒนาระบบภาคพื้นดิน (ground station) เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ติดต่อกับดาวเทียม รวมมูลค่าการสร้างดาวเทียม 2 ดวง Application ต่าง ๆ และระบบภาคพื้นดิน (ground station) ประมาณ 7,800 ล้านบาท”
“สามารถแบ่งภารกิจ ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพัฒนาและให้บริการข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ และการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ ไม่ว่าจะเป็น การพัฒนาดาวเทียม การพัฒนาระบบภาคพื้นดิน เช่น การวางแผน-เตรียมคำสั่งในการถ่ายภาพ (mission ground segment) ติดต่อกับดาวเทียมและบริหารจัดการดาวเทียม (control ground segment) การรับสัญญาณและผลิตภาพถ่ายดาวเทียม (image ground segment) นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างพื้นฐานด้านอวกาศอีกด้วย มีดาวเทียมขนาดเล็กที่รับผิดชอบโดยตรง จำนวน 1 ดวง จะมีการเคลื่อนที่อยู่ในวงโคจรที่ระดับความสูงประมาณ 500 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) คาดว่าจะแล้วเสร็จในไตรมาสที่ 3 ของปี 2565 และจะมีอายุการใช้งาน (lifetime) ประมาณ 3 ปี ดาวเทียมขนาดเล็ก มีขนาด 100 กิโลกรัม เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ โดยมีภารกิจ ถ่ายภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว เป็นดาวเทียมที่ใช้งานได้เหมือนดาวเทียมหลัก แต่มีรายละเอียดอยู่ที่ 2 เมตร และยังสามารถติดตามอากาศยานและเรือที่มีระบบติดตามได้เมื่ออยู่ในทัศนวิสัย ดาวเทียมเล็กถือเป็นดาวเทียมที่จะพัฒนาขีดความสามารถของประเทศไทยในการสร้างดาวเทียมด้วยตนเอง และสร้างพื้นฐานของอุตสาหกรรมอวกาศของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาชิ้นส่วนดาวเทียม และที่สำคัญไปกว่านั้น คือ เพื่อให้บุคลากรของไทยมีความรู้ความสามารถในการออกแบบ พัฒนา ประกอบ ทดสอบ ดาวเทียมได้เองอีกด้วย รวมมูลค่าการสร้างดาวเทียมดวงเล็ก ประมาณ 800 ล้านบาท (รวมค่า Training Course ด้วย)”
“เป็นหน่วยงานที่เกิดจากการควบรวมกิจการระหว่างบริษัท E1 และ E2 ซึ่งภายหลังการควบรวมสำเร็จจะส่งผลให้หน่วยงาน E มีโครงสร้างพื้นฐานครบวงจรมากที่สุด มีศักยภาพในการ

รายละเอียด
ให้บริการโดยเฉพาะเรื่อง 5G และดาวเทียม ทั้งการนำเอาดิจิทัลมาให้บริการภาคการสาธารณสุข การเกษตร และคมนาคม เพื่อประโยชน์ของประชาชนและประเทศชาติเป็นสำคัญ ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพ ในการใช้งานโครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคมและดิจิทัล การสร้างความแข็งแกร่งเพื่อเสริมสร้างความแข็งแกร่งและความมั่นคงด้านการสื่อสารและดิจิทัลให้กับประเทศ การสื่อสารที่ทั่วถึงเพื่อให้บริการด้านการสื่อสารที่ทั่วถึงและขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัลอย่างยั่งยืน และการขับเคลื่อนธุรกิจขับเคลื่อนนโยบายภาครัฐ และขับเคลื่อนธุรกิจ โดยสร้างผลกำไรอย่างยั่งยืนในธุรกิจที่ต้องแข่งขัน ปัจจุบัน ยังไม่มีแผนการสร้างดาวเทียมที่ชัดเจน แต่มีความสนใจในกลุ่มธุรกิจดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เพราะเชื่อว่าเป็นเทคโนโลยีที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และเป็นจุดเปลี่ยนที่สำคัญ (game changer) ของอุตสาหกรรมอวกาศ โดยหวังว่าจะเป็นแหล่งรายได้ใหม่ให้องค์กรในอนาคตได้ เนื่องจากผู้บริโภคมีความต้องการใช้อินเทอร์เน็ตที่เร็วและครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ซึ่งดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ตอบโจทย์ได้ นอกจากนี้ โดยส่วนตัว มองว่ามีความสนใจในดาวเทียม Earth Observation: EO หรือดาวเทียมสำรวจโลก”
“เป็นบริษัทสตาร์ทอัพไทยรายแรกที่ได้รับใบอนุญาตทำธุรกิจดาวเทียมในประเทศไทย จากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เป็นบริษัทเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและดาวเทียมเพียงรายเดียว (หน่วยงานเอกชน) ที่ได้เข้ามาพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมในไทย ตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงขั้นตอนการปล่อยเข้าสู่วงโคจร (ภายใต้ความร่วมมือกับบริษัทเอกชนของสหรัฐอเมริกา) มีวัตถุประสงค์ทางธุรกิจ (business objective) คือ การมุ่งมั่นพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศให้เข้าถึงได้ทุกคน นอกจากนี้ ยังมีแผนที่จะสร้างอาณานิคมบนดวงจันทร์ (colonization of the moon) ภายในปี 2571 อีกด้วย ขณะนี้ มีแผนการพัฒนากลุ่มดาวเทียม (constellation) ประมาณ 5,000 - 10,000 ดวง ที่คาดหวังว่าจะให้บริการทุกพื้นที่ครอบคลุมทั่วโลก อย่างไรก็ตามในเฟสแรกจะให้บริการพื้นที่เฉพาะไปก่อน มีอายุการใช้งาน (lifetime) ประมาณ 5 ปี ดาวเทียมนี้เป็นดาวเทียมสำหรับการเก็บข้อมูล และประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงให้บริการ Data Center เหมือนบนพื้นโลก อย่างไรก็ตาม การพัฒนา Space Internet Data Center: IDC หรือศูนย์ให้บริการข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตบนอวกาศ จะทำการทดลองยิงจริงสู่ชั้นอวกาศในเร็ว ๆ นี้ โดยปกติแล้ว Data Center ที่ให้บริการบนพื้นโลกจะอยู่แถวด้านเหนือของโลก ตามพื้นที่ประเทศที่มีละติจูดสูง ซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำ เช่น บริเวณแถบอเมริกาเหนือ หรือแถบสแกนดินีเวีย เนื่องจาก Data Center เปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์ที่ต้องใช้ความเย็นมาก ๆ จึงมีแนวคิดว่าหากองค์กรของเราสามารถนำ Data Center

รายละเอียด
ขึ้นไปอยู่บนอวกาศ ก็ตั้งสมมติฐานไว้ว่าจะสามารถทำงานได้ดีกว่าการตั้งอยู่บนพื้นโลกหรือภาคพื้นดิน หากถามว่า ดาวเทียมนี้ จะเก็บข้อมูลในลักษณะใด ยกตัวอย่างได้ว่า หากเราอยู่บนพื้นโลก แล้วเรียกข้อมูลจาก Google Drive บนมือถือหรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลเหล่านี้ จะถูกเรียกใช้ข้อมูลจาก Data Center ในต่างประเทศตามที่กล่าวข้างต้น แต่ในอนาคต หากหน่วยงาน F สามารถพัฒนาและนำส่ง Data Center ขึ้นไปยังอวกาศได้ จะสามารถเรียกข้อมูลเหล่านี้ได้จากอวกาศแทน และเป็นเรื่องที่น่ายินดีอย่างยิ่ง ที่มีหน่วยงานเอกชนอย่างเรามีศักยภาพในการผลิตดาวเทียมดวงนี้เองเกือบทั้งหมดเลย ในปัจจุบันอยู่ระหว่างการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานเพื่อมารองรับการผลิตในอนาคตด้วย นอกจากนี้ ยังมีความร่วมมือกับต่างประเทศ ที่จะสร้างดาวเทียมขนาดเล็กในอนาคตร่วมกันอีกด้วย”
“เป็นหน่วยงานเอกชนที่ประกอบธุรกิจ Start-up ด้านเทคโนโลยีอวกาศ ก่อตั้งเมื่อปี 2561 ประกอบด้วยกิจกรรม Space Launch Services (ให้บริการฐานส่งจรวด), CubeSat Components & Modules Products (การจัดหาโมดูลและส่วนประกอบของดาวเทียมขนาดเล็ก 10x10x10 เซนติเมตร น้ำหนัก 1 กิโลกรัม), Space Education & Outreach (การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ด้านเทคโนโลยีอวกาศ), Space Collaborations & Events (การจัดกิจกรรมและสร้างพันธมิตรด้านอวกาศ), Space Architecture Design (การออกแบบสถาปัตยกรรมด้านอวกาศ) และ Business Development (การพัฒนาธุรกิจด้านอวกาศ) โดยมุ่งเข้าสู่ตลาดอุตสาหกรรมอวกาศของประเทศสหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เยอรมัน สหราชอาณาจักร ไทย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย เวียดนาม เป็นต้น ปัจจุบัน อยู่ระหว่างการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มีงบประมาณในการพัฒนา ประมาณ 0.8 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 25.6 ล้านบาทไทย ซึ่งเป็นดาวเทียมที่พัฒนาร่วมกับกลุ่มภาคีมหาวิทยาลัยในประเทศ คาดว่าจะปล่อยเข้าสู่วงโคจรในเดือนมกราคม ปี 2565 ในอนาคตมีแผนการพัฒนาดาวเทียม Internet of Things: IOT nanosatellite สำหรับการทดสอบ”

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 2 ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม (กลุ่มเป้าหมายที่ 2)

มีวิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุอย่างไร
“อย่างไรก็ตาม ดาวเทียม A ไม่มีระบบขับดัน จะต้องรอให้ตกเอง ระยะเวลาไม่เกิน 10-15 ปี คาดว่าจะลดระดับลงมาเพื่อถูกเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศ ในระดับที่ 550 กิโลเมตร โดยตามหลักการของ UN ดาวเทียมจะต้องถูกทำลายภายใน 25 ปี”
“ตามข้อกฎหมาย จะต้องทำการ Deorbit ภายใน 25 ปี โดยในดาวเทียมจะมีระบบ Deorbit System”
“โดยปกติเวลาที่จะส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรจะต้องมีการลงทะเบียนวัตถุอวกาศ ซึ่งวัตถุอวกาศประกอบด้วยชิ้นส่วนที่มนุษย์ทำและชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นเองในขณะที่ดาวเทียม C ยังสามารถใช้งานได้ปกติถือว่าเป็นวัตถุอวกาศสามารถควบคุมได้ ดังนั้นแล้วมีการโคจรตลอดเวลาไม่ได้อยู่แบบค้างฟ้า เนื่องด้วยสภาวะในอวกาศมีแรงเสียดทานหรือแรงดึงดูดระหว่างมวลและแรงโน้มถ่วงต่าง ๆ ทำให้ความสูงของวงโคจรเปลี่ยนไป ดังนั้น กล่าวได้ว่าดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติจะต้องรักษาระดับความสูง ไม่เช่นนั้นจะส่งผลต่อคุณภาพของการถ่ายภาพรายละเอียดสูง มูลค่าของข้อมูลต่าง ๆ เพราะฉะนั้นการทำ Orbit Maintenance คือ การบำรุงรักษาวงโคจร มีการทำ 1 - 2 ครั้งต่อปี บนดาวเทียมจะมี Actuator เป็นเหมือนอุปกรณ์ที่ใช้ขับดัน ซึ่งการอยู่ในอวกาศจะใช้น้ำมันเหมือนพื้นโลกไม่ได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์นี้ในการขับดัน ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยแต่ให้พลังงานสูง หากถามว่าสถานีภาคพื้นดินทำหน้าที่อะไรอย่างที่กล่าวข้างต้นจะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับดาวเทียมเมื่อพบว่ามีความคลาดเคลื่อนของวงโคจรจะทำการปรับวงโคจรโดยจะทำการคำนวณความสูง เส้นทางของวงโคจร เพื่อคำนวณและผลักให้วงโคจรสูงขึ้น ในขณะที่ดาวเทียม C มีแผนปลดระวาง หลักการของการปลดระวางดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรระดับต่ำ หน่วยงานที่ชื่อว่า ITU กำหนดไว้ว่าดาวเทียมที่หมดอายุแล้ว 15 ปี จะต้องหายไปจากอวกาศ สิ่งที่เจ้าของดาวเทียมจะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่การสร้างดาวเทียม ดาวเทียม C ซึ่งเป็นดาวเทียมวงโคจรต่ำจะต้องทำการปรับโคจรลงมา 300-400 กิโลเมตรจะมีการคำนวณแรงเสียดทานในชั้นบรรยากาศว่าความสูงระดับนี้ จะทำลายดาวเทียมของเราให้หมดไปภายใน 25 ปีได้หรือไม่ ดาวเทียม C ก็ได้ทำการประเมินว่ายังมี Margin เพียงพอ สำหรับการใช้งานและการปลดระวางในอนาคตด้วย”
“ในการออกแบบดาวเทียม ผู้สร้างและออกแบบจะต้องมีการประเมินภายใน 25 ปี ให้ดาวเทียมตกลงมาอยู่ในชั้นบรรยากาศ และดำเนินการโดยการทำ Deorbit หรือการปรับวงโคจรและขับดันดาวเทียมโดยใช้เชื้อเพลิงให้เข้าสู่ชั้นบรรยากาศภายใน 25 ปี”
“สำหรับการจัดการดาวเทียมที่หมดอายุ เป็นไปตามแนวทางปฏิบัติด้านอวกาศระหว่างประเทศ โดยนำดาวเทียมที่หมดอายุออกจากตำแหน่งเดิม และขับดันให้ขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับวง

มีวิธีจัดการกับดาวเทียมของตัวเองที่หมดอายุอย่างไร
โคจรของดาวเทียมนั้น ๆ ให้ออกจากวงโคจรและเกิดการเผาไหม้บนชั้นบรรยากาศ”
“จะทำการ Deorbit ก็คือให้ชั้นบรรยากาศของโลก เป็นตัวที่ทำให้ดาวเทียมค่อย ๆ ตกลงมาเรื่อย ๆ จนแรงดึงดูดของโลกเข้าไปสู่วงโคจร และเกิดการเผาไหม้ในที่สุด”
“ในปัจจุบัน ยังอยู่ระหว่างการพัฒนา จึงยังไม่มีวิธีการจัดการในตอนนี้ อย่างไรก็ตาม หากเป็นดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ก็จะทำวิธี De-orbit (using small propulsion to de-orbiting) ขับดันเพื่อให้ตกลงมาเผาไหม้ในชั้นบรรยากาศ ในขณะที่แต่ละดาวเทียมมีช่วงเวลาหมดอายุที่ต่างกัน”

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 3 ข้อมูลการบริหารและจัดการดาวเทียม (กลุ่มเป้าหมายที่ 2)

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	จะมีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่
“มีความเสี่ยงต่อโครงการฯ ที่จะมีแนวโน้มไม่เป็นไปตามแผน ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงของ Project Manager อย่างมาก นอกจากนี้ ยังส่งผลในระดับองค์กร หรือประเทศ ที่จะทำให้ดาวเทียมอื่น ๆ มีความเสี่ยงที่จะถูกชนจากเราด้วย ดังปรากฏการณ์ ‘Kessler Syndrome’”	“ใช้แน่นอน เพราะมีความเสี่ยงรอบด้านมาก ๆ ดังที่กล่าวข้างต้น เป็นความเสี่ยงต่อโครงการเอง และความเสี่ยงต่อดาวเทียมดวงอื่น ๆ ที่กำลังปฏิบัติงานอยู่ ราคาที่พบเห็นอยู่ที่ระดับหลายแสน ข้อเสียของระบบอื่น ๆ ก็คือ มีราคาสูงมาก นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับดันมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากจะเติมได้แค่ครั้งเดียวตอนที่ขึ้นไป จึงต้องใช้อย่างคุ้มค่าที่สุด ดังนั้น หากว่าจะต้องใช้ ก็จะใช้ระบบจัดการจราจรอวกาศ หรือระบบ ZIRCON เพราะว่ารู้จักระบบนี้ เป็นการบูรณาการข้อมูลและองค์ความรู้ร่วมกันกับหน่วยงาน A ด้วย ซึ่งหน่วยงาน A มีจานรับสัญญาณ คอยติดตามรอบโลก เป็นการผนวกเข้ากับระบบ Observation ซึ่งจะเป็นการสร้างมูลค่าให้กับระบบนี้ ให้แก่ประเทศเรา แต่ไม่ใช่แค่ประเทศเรา เพราะดาวเทียมดวงอื่น ๆ ก็บินผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	จะมีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่
	ประเทศเราเหมือนกัน และคิดว่าดาวเทียมในกลุ่มอาเซียนจะเป็นกลุ่มเป้าหมายหลัก เพราะคิดว่า ไม่มีประเทศใดในอาเซียนมี Ground Telescope มากเท่าที่หน่วยงาน A มีแล้ว ซึ่งมีอยู่ทั่วโลก ทั้งสหรัฐอเมริกา บราซิล ออสเตรเลีย เป็นต้น”
“เสียเวลา เสียโอกาสทางธุรกิจ นอกจากนี้ ยังสร้างขยะอวกาศเพิ่มเป็นลูกโซ่ต่อไปเรื่อย ๆ โอกาสเกิดมีแต่เพิ่ม ไม่มีลด ยิ่งเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด”	“ใช้แน่นอน เนื่องจาก เป็นการติดตาม และเฝ้าระวัง ในช่วงแรกที่ยังไม่มีงบประมาณอาจจะใช้ข้อมูลเรดาร์ของกองทัพสหรัฐอเมริกา CSpOC”
“อย่างที่บอกว่าดาวเทียมมีมูลค่าสูงและเป็นอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนมาก อุปกรณ์จะมีเพียงแค่ชิ้นเดียว ดังนั้นตั้งแต่การออกแบบดาวเทียมจะต้องมีการประเมินว่าอุปกรณ์ชิ้นใดมีความเสี่ยงเมื่ออยู่ในสภาวะอวกาศ เพราะอย่างยิ่งกับวัตถุอวกาศหรือขยะอวกาศซึ่งหากชนกับดาวเทียมแล้วนั้น ซึ่งในประวัติศาสตร์นั้นก็มีการชนของดาวเทียมรัสเซียอยู่ ทำให้เกิดขยะอวกาศนับหมื่นชิ้น หากเกิดความเสียหายก็คงลำบาก”	“ใช้บริการแน่นอน ในปัจจุบันมีการให้บริการฟรีจากหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา CSpOC ซึ่งจะมีสถานีเรดาร์อยู่รอบโลก เพื่อคอยติดตามวัตถุอวกาศ โดยจะใช้ข้อมูลเป็นเครือข่ายเรดาร์ เป็นจานเป็นเรดาร์ที่คอยติดตาม ถ้ามีจานรับสัญญาณเพียงอันเดียวจะไม่สามารถติดตามได้ จะต้องเป็นโครงข่ายหรือเครือข่าย ให้เรารู้ทิศทางของวัตถุอวกาศนั้น ๆ หากพบว่ามีความเสี่ยง หน่วยงานนี้จะทำการแจ้งเตือนไปยังเจ้าของดาวเทียม แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการใช้ระบบนี้ เนื่องจาก เป็นการตรวจจับจากภาคพื้นดิน มีความคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตามเมื่อได้รับการแจ้งเตือนจากหน่วยงานนี้เจ้าของดาวเทียมจะต้องทำการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น เพราะว่าข้อมูลที่ได้จากสถานีเรดาร์เป็นข้อมูลที่หยาบความถูกต้องน้อย บ่อยครั้งที่เราพบว่าข้อมูลที่

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	จะมีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศหรือไม่
	ถูกส่งมามีความคลาดเคลื่อนสูง ขาดการให้ข้อมูลเชิงลึก การวิเคราะห์เพิ่มเติม การเปิดเผยข้อมูลบางอย่าง และบ่อยครั้งที่พบว่าดาวเทียมของหน่วยงาน มีความเสี่ยงที่ต้องเผชิญกับวัตถุอวกาศอื่น ๆ ขยะอวกาศเพียงแต่หน่วยงานนี้จะแจ้งแค่ว่าวัตถุอวกาศอะไรชื่ออะไรที่กำลังเข้าใกล้เราเท่านั้น หากเป็นวัตถุอวกาศอื่น ๆ ก็จะมีการประสานว่าใครจะเป็นคนปรับวงโคจรไหมแต่หากเป็นขยะอวกาศก็จะทำให้มีความเสี่ยงสูงมากเนื่องจากขยะอวกาศเป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมทิศทางได้ หน่วยงานดังกล่าวก็จะไม่ได้แนะนำว่าควรจะปรับวงโคจรอย่างไรแต่เจ้าของดาวเทียมจะต้องเป็นผู้ประเมินความเสี่ยงนั้นเอง โดยการให้บริการนี้จะให้บริการเฉพาะเจ้าของดาวเทียมเท่านั้นไม่มีการเปิดเผยให้กับเจ้าของดาวเทียมอื่น ๆ
	มองว่าบนพื้นโลกก็มีการจัดการจราจร หรือในระดับอากาศยานก็มีการจัดการเส้นทางการบินตารางการบิน ในขณะที่อวกาศ ก็มีคนพูดถึงเรื่องของเศรษฐกิจอวกาศหรือ Space Economy มีการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์จากอวกาศ ซึ่งในอดีตประเทศมหาอำนาจก็มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่อวกาศซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง ถามว่าเป็นเรื่องใหม่ไหมก็คงตอบว่าเป็นเรื่องที่ใหม่ เรื่องที่ไกลตัวไหมถือว่าไม่ไกลตัวเลย ดังนั้นก็จะมีหน่วยงานที่เป็นเอเจนซี่ใหญ่ ๆ อาทิ อเมริกา รัสเซีย ฝรั่งเศสหรือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	จะมีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศ หรือไม่
	ทางยุโรปด้วย พยายามที่จะผลักดันเรื่องของการจราจรในอวกาศ ลดการเพิ่มของขยะอวกาศที่เกิดขึ้น ซึ่งการให้บริการในปัจจุบันก็จะมีหน่วยงานที่มีศักยภาพที่กล่าวในข้างต้น ไม่ว่าจะเป็น เครือข่ายเรดาร์ของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่อย่างไรก็ตาม การให้บริการในประเภทนี้ หน่วยงานเจ้าของดาวเทียมอาจจะไม่ได้ให้ความสำคัญเนื่องจากคิดว่ามีความเสี่ยงที่น้อยแต่หากอุบัติเหตุการชนแล้วจะก่อให้เกิดความเสี่ยงที่สูงมากและไม่อาจประเมินค่าได้เมื่อเทียบกับมูลค่าของดาวเทียม ซึ่งมองว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ๆ สำหรับหน่วยงานของเราเอง เราก็ให้ความสำคัญกับด้านนี้มาก ๆ”
“คิดว่ามีผลกระทบแน่นอน เนื่องจาก ดาวเทียมดวงนี้ เป็นดาวเทียมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ สู่วิศวกรจำนวน 20 คนของไทย และเพื่อการบริการจัดการ หรือ Operated ทำให้สูญเสียงบประมาณที่เป็นของภาครัฐ”	“ใช้บริการแน่นอน และคิดว่า เป็นเรื่องที่น่าดำเนินการอย่างยิ่ง มองว่าการสนับสนุนสิ่งที่คนไทยคิด คนไทยทำ คนไทยเก่ง เป็นเรื่องที่ยอดเยี่ยมมาก ๆ”
“กระทบระบบการสื่อสารบนพื้นโลก ซึ่งไม่อาจประเมินค่าที่คิดเป็นจำนวนคน หรือจำนวนเม็ดเงินอย่างมหาศาลได้ เนื่องจาก การสื่อสารเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลเชื่อมโยงการใช้ชีวิตหลายอย่างของทุกคนบนโลก บางคนอาจใช้การติดต่อสื่อสารเพื่อทำธุรกิจ การค้า การเดินเรือ ซึ่งต้องเชื่อมโยงกับโครงข่ายของดาวเทียมทั้งหมด	“ใช้บริการแน่นอน เนื่องจาก จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการปล่อยดาวเทียมสื่อสารวงโคจรต่ำ ยิ่งมีมากเท่าไหร่ ความเสี่ยงและอันตราย ย่อมมีเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น มีแต่เพิ่มไม่มีลด เพราะการกำจัดขยะบนอวกาศ ยังคงทำได้ยาก”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดาวเทียมไม่สามารถปฏิบัติภารกิจต่อได้ จะส่งผลกระทบกับต่อสิ่งใด	จะมีการใช้บริการ ระบบการจัดการจราจรอวกาศ หรือแจ้งเตือนกันชนกับวัตถุอวกาศ หรือไม่
นอกจากนี้ เมื่อเกิดการชน ทำให้สูญเสียงบประมาณการลงทุนในการสร้างดาวเทียม เสียเวลา เสียกำลังคนอีกด้วย	
อย่างแรก แน่นอนว่าจะส่งผลต่อคุณภาพชีวิตคนบนโลก เมื่อบริการนี้ได้ให้บริการ ก็หมายความว่า แม้ว่าข้อมูลที่เก็บไว้ในดาวเทียมนี้ จะสูญหายไป แต่ทางบริษัท ได้มีการพิจารณาในส่วนนี้ไว้แล้วว่าดาวเทียมแต่ละดวงอาจจะมีการ Back up ข้อมูลไว้ในกรณีที่เสียหาย แต่หากว่าไม่สามารถติดต่อดาวเทียมดวงใดดวงหนึ่งได้ ก็สามารถคาดการณ์เป็นมูลค่าความเสียหายจากการถูกขยะอวกาศชน ประมาณ 100 ล้านบาท (มูลค่าของข้อมูลและดาวเทียมที่สูญเสียไปต่อดวง) นอกจากนี้ยังสามารถประเมินต้นทุนการเสียโอกาส อยู่ที่ประมาณ 300 ล้านบาท และผลกระทบที่สำคัญบนสภาพแวดล้อมในอวกาศจะเป็นเรื่อง Kessler syndrome คือการชนกันของวัตถุอวกาศ เกิดเศษซากต่อไปเรื่อย ๆ ทำให้วงโคจรที่ความหนาแน่น”	“อย่างไรก็ตาม ในเฟสแรกของการสร้างและพัฒนาดาวเทียม จะยังไม่มีอุปกรณ์ขับดันดาวเทียม แต่ในอนาคตหากมีการพัฒนาที่ล้ำหน้ามากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ดาวเทียมที่เตรียมขึ้นสู่วงโคจรจำนวนมาก รวมไปถึงยานอวกาศด้วย การจราจรบนอวกาศจะมีความยุ่งเหยิงมาก ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ระบบในการติดตามและแจ้งเตือน”
“แน่นอนว่าสำหรับการประกอบธุรกิจ ย่อมส่งผลเป็นวงกว้างต่อการประกอบธุรกิจอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้”	“ใช้บริการแน่นอน เนื่องจาก ดาวเทียมของบริษัทในอนาคตจะมีลักษณะเป็น กลุ่มดาวเทียม Nanosatellite (nanosatellite clusters) ซึ่งมีจำนวนมาก จะต้องหลบเลี่ยงการชนจากดาวเทียมในวงโคจรเดียวกัน”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการสัมภาษณ์ ประเด็นที่ 4 ข้อมูลด้านแนวโน้มธุรกิจดาวเทียมของประเทศในอนาคต (กลุ่มเป้าหมายที่ 2)

ประเทศมีแนวโน้มเกี่ยวกับกิจกรรมอวกาศและธุรกิจดาวเทียมในอนาคตอย่างไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร
“มีโอกาสเยอะในการทำกิจกรรมที่เกี่ยวกับ Space economy ไม่เพียงแต่เฉพาะการสร้างดาวเทียมเท่านั้น ควรเป็นโอกาสของทุกภาคส่วนที่มีส่วนร่วมในการทำทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็น คนทำ SSA คนทำ Spacecraft การวิจัยที่เกี่ยวกับชีววิทยา Microgravity (มีการส่งอะไรขึ้นไปทดลองในอวกาศ) ระบบกล้อง Ground Station โดยช่องทางที่จะทำมีเยอะมาก แต่คนเรามีน้อย ถ้าทำไปแล้วไม่มีแก่นขององค์ความรู้ก็เป็นไปได้ยาก ซึ่งคิดว่า อวกาศ ตอนนี้ จำกัดอยู่ที่กำลังคน ซึ่งไทยไม่มีมหาวิทยาลัยอวกาศแห่งชาติที่สอนด้านนี้โดยตรง จริง ๆ แล้วการสร้าง Spacecraft ก็สามารถแตกไลน์ธุรกิจได้เยอะ เช่น บริษัททำแบตเตอรี่ บริษัทผลิตรถยนต์ (Electric Vehicle: EV) ซึ่งเป็นองค์ความรู้เดียวกันกับการทำแบตเตอรี่บน Spacecraft อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้ต้องเกิดการขับเคลื่อนจากภาครัฐ ว่ารัฐบาลจะซื้อนะคุณไปทำมา เพื่อให้เกิด Supply Chain แบบมหภาค”
“ประเทศไทยมีความตามกระแสโลก โลกเป็นอย่างไร แนวโน้มของประเทศเราก็โอกาส และความต้องการใช้ดาวเทียมเพิ่มมากขึ้น ยิ่งมีมากขึ้น จะเพิ่มความเสี่ยงในอวกาศอย่างทวีคูณ ไม่มีลด”
“ต้องบอกว่าเป็นนโยบายของกระทรวงฯ ให้ความสำคัญกับการพัฒนาเศรษฐกิจอวกาศหรือ (space economy) นอกจากนี้ เศรษฐกิจอวกาศไม่ได้หมายถึงการทำดาวเทียมเพียงอย่างเดียว จริง ๆ แล้วคือการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีอวกาศทั้ง Value Chain อย่างเช่น ชิ้นส่วนดาวเทียม หากมีการผลิตและมีมาตรฐาน ก็จะเป็นการยกระดับผู้ประกอบการภายในประเทศเป็นการสร้างงาน สร้างอาชีพ สร้างรายได้ให้กับประเทศด้วย โดยในโครงการฯ เราก็มีผู้ประกอบการที่ผลิตชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนให้กับดาวเทียมด้วยเหมือนกัน ซึ่งถือว่าเป็นความสำเร็จภายใต้โครงการ การพัฒนาดาวเทียม อีกอย่างหนึ่งด้วย”
“ในปัจจุบันแนวโน้มของอุตสาหกรรมอวกาศมีการเติบโตสูง นอกจากการสร้างดาวเทียมแล้ว การพัฒนาในส่วนอื่น ๆ ตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำก็เป็นส่วนที่สำคัญ อย่างอุตสาหกรรมผู้ผลิตชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประกอบดาวเทียม คนในประเทศจะต้องมีความรู้ และความเข้าใจที่จะทำให้เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ Local Supply ต้องดำเนินการ หลายประเทศมีความก้าวหน้า ไม่ว่าจะเป็น เวียดนาม ฟิลิปปินส์ อย่างไทยเอง นอกจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ก็มียังสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ กองทัพอากาศ และบริษัทเอกชนอย่าง มิว สเปซ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน หน่วยงานต่าง ๆ ใน

ประเทศมีแนวโน้มเกี่ยวกับกิจกรรมอวกาศและธุรกิจดาวเทียมในอนาคตอย่างไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร
ประเทศ ควรจะมีการหารือและปรับจูนกัน ให้มีความสอดคล้องกันมากขึ้น ทั้งนี้ ภาครัฐ จะต้องมีการสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรม ทั้ง Supply Chain ด้วย รวมถึงการสร้างมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านอวกาศ ซึ่งถือเป็นต้นน้ำ โดยในปัจจุบันเราทำแต่ปลายน้ำ”
“ทิศทางขึ้นอยู่กับนโยบายของประเทศ ซึ่งเป็นภาพรวมขนาดใหญ่ด้วย ว่าเราเปิดกว้างขนาดไหน ถ้าเปิดเยอะอาจมีผลกระทบต่อความมั่นคง (national security) แต่ถ้าเราไม่เปิดแล้วประเทศอื่นเปิด ก็ไปได้ไกลหรือพัฒนาไปมากกว่าเรา อย่างในปัจจุบัน การใช้อินเทอร์เน็ตในพื้นที่ห่างไกล ต้องมีการลากสายเข้าไปแต่แนวโน้มในปัจจุบันเทคโนโลยีจะก้าวล้ำกว่านั้น เช่น การให้บริการอินเทอร์เน็ตดาวเทียม อย่าง Starlink, OneWeb ซึ่งความเร็วมีความเทียบเท่าการใช้สาย Fiber ในปัจจุบัน ดังนั้น ทำให้การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตของประเทศมีความกระจายได้สูง เนื่องจาก มีโอกาสในการเข้าถึงสู่ชุมชน ในพื้นที่ที่มีความห่างไกลมาก ก็จะทำให้ประเทศมีความพัฒนามาก แต่อย่างไรก็ตาม แนวโน้มของความก้าวหน้านี้ ก็แลกมาด้วยการเสียผลประโยชน์ทางธุรกิจ รวมถึงความมั่นคง ความปลอดภัยของชาติด้วย”
“ดาวเทียมของเราเป็นหนึ่งในดาวเทียมบนระบบนิเวศทั้งหมด ในอนาคตจะมีดาวเทียมเกิดขึ้นอีกเป็นพัน ๆ ดวงที่เข้ามาโคจรใกล้โลก ซึ่งทำให้เราต้องพัฒนาการใช้งานใหม่ ๆ อย่างอุปกรณ์ที่ใช้กับดาวเทียมก็จะเล็กลงและเรียบมากขึ้น สามารถติดตั้งได้หลากหลายช่องทาง ช่วยทำให้การรับส่งสัญญาณดีขึ้น เข้าถึงพื้นที่ต่าง ๆ ได้หลากหลายเป็นการทำงานร่วมกับเครือข่ายสัญญาณมือถือ นอกจากนี้ มองว่าประเทศไทย มีศักยภาพในการสร้าง พัฒนา และประกอบธุรกิจเกี่ยวกับอวกาศ หรือดาวเทียมได้ เพราะประเทศไทยมีภูมิศาสตร์ที่เอื้ออำนวยต่อการพัฒนา รวมถึงเป็นผู้ผลิตต้นน้ำ และปลายน้ำได้ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการผลิตชิ้นส่วนดาวเทียมต่าง ๆ หรือปลายน้ำ เช่นการนำส่งดาวเทียม ซึ่งหากกล่าวถึง การนำส่งดาวเทียม ก็น่าจะเป็นเรื่องที่ดี ถ้าประเทศไทยจะสร้างโครงสร้างพื้นฐานอย่างท่าอวกาศยานหรือ Spaceport Thailand เช่น หากเป็นการนำส่งดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ก็จะทำให้ประเทศไทยมีข้อได้เปรียบมากกว่าประเทศอื่น ๆ และหากมองไปให้ไกลกว่า 100 ปี หรือในระยะยาวนั้น การจะไปยังดาวเคราะห์อื่น ๆ เช่น ดวงจันทร์ ดาวอังคารได้ ไม่ว่าจะเป็นดาวเทียม หรือยานอวกาศ จะต้องอยู่ในวงโคจรที่ระนาบกับเส้นศูนย์สูตร เนื่องจาก ประเทศไทยเอง อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ก็จะทำให้มีความได้เปรียบตรงการประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้นด้วย”

ประเทศมีแนวโน้มเกี่ยวกับกิจกรรมอวกาศและธุรกิจดาวเทียมในอนาคตอย่างไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร
“แนวโน้มของกิจกรรมอวกาศในอนาคต คาดว่าจะมีการใช้การสื่อสารหรือโทรคมนาคมผ่านดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) มากขึ้น อย่าง OneWeb ของ Amazon หรือ Starlink ของ Elon Musk เป็นต้น นอกจากนี้ยังมองว่า ดาวเทียม Internet of Thing หรือ IOT ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในยุคนี้ อย่างไรก็ตาม บริษัทมีความสนใจที่จะพัฒนาดาวเทียมตามแนวโน้มทั้งสองอย่างนี้ด้วยในอนาคตอันใกล้นี้”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

ข้อมูลรายละเอียดดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) ในภูมิภาคเอเชีย ปี 2564 (ที่มา: Union of Concerned Scientists,2564)

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
ASNARO-1	Japan	Japan	Japan Space Systems	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	506	507	11/6/2014	40298
ASNARO-2	Japan	Japan	Japan Space Systems	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	493	505	1/17/2018	43152
BeijinGalaxy-1	China	China	Beijing Landview Mapping Information Technology Co. Ltd (BLMIT)	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	681	703	10/27/2005	28890
CartoSat 1	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	618	619	5/5/2005	28649
CartoSat 2	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	632	635	1/10/2007	29710
CartoSat 2A	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	624	643	4/28/2008	32783
CartoSat 2B	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	622	645	7/12/2010	36795
CartoSat 2C	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	501	519	6/22/2016	41599
CartoSat 2D	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	491	508	2/15/2017	41948
CartoSat 2E	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	334	347	6/22/2017	42767
CartoSat 2F	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	495	510	1/11/2018	43111
CartoSat 3	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	500	519	11/27/2019	44804
Centispace-1-S1	China	China	Beijing Future Navigation	Commercial	Technology Development		Sun-	700	719	9/29/2018	43636

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
			Technology Co. Ltd.				Synchronous				
CE-SAT-1	Japan	Japan	Canon Electronics	Commercial	Technology Development	Optical Imaging	Sun-Synchronous	497	517	6/22/2017	42769
CFOSat	China	China/France	China National Space Administration (CNSA)/National Centre for Space Studies (CNES)	Government	Earth Observation	Meteorology	Sun-Synchronous	509	523	10/28/2018	43662
Chao Fenbianlu	China	China	Shanghai Engineering Center for Microsatellites	Government	Earth Observation	Multi-Spectral Imaging	Sun-Synchronous	690	720	12/21/2016	41899
Chuangxin 1-1	China	China	Chinese Academy of Sciences	Government	Communications		Sun-Synchronous	729	748	10/21/2003	28058
Chuangxin 1-2	China	China	Chinese Academy of Sciences	Government	Earth Observation	Optical Imaging/Meterology	Sun-Synchronous	785	804	11/5/2008	33434
Chuangxin 1-3	China	China	Chinese Academy of Sciences	Government	Earth Observation	Optical Imaging/Meterology	Sun-Synchronous	784	804	11/20/2011	37930
Chuangxin 1-4	China	China	Chinese Academy of Sciences	Government	Earth Observation	Optical Imaging/Meterology	Sun-Synchronous	778	809	9/4/2014	40137
Chuangxin-3	China	China	Chinese Academy of Sciences	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	665	672	7/19/2013	39209
ChubuSat 3	Japan	Japan	Nagoya University and Daido University	Commercial/Civil	Technology Development			558	579	2/17/2016	41339
Cubesat XI-IV	Japan	Japan	Department of Astronautics, University of Tokyo	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	815	830	6/30/2003	27848
Diwata-1	Philippines	Philippines	University of the Philippines	Government/Civil	Earth Observation	Meteorology	Non-Polar Inclined	351	354	4/27/2016	41463
EMISat	India	India	Defence Research and Development Organization	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Sun-Synchronous	735	759	4/1/2019	44078
Fengmaniu-1	China	China	Link Space Aerospace Technology	Commercial	Technology Development		Sun-Synchronous	440	508	2/2/2018	43192
Fengyun 3B	China	China	China Meteorological Administration	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	827	828	11/4/2010	37214
Fengyun 3C	China	China	China Meteorological	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-	827	828	9/23/2013	39260

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
			Administration				Synchronous				
Fengyun 3D	China	China	China Meteorological Administration	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	803	812	11/14/2017	43010
Gaofen 1	China	China	China National Academy of Sciences (CNSAS)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	630	654	4/26/2013	39150
Gaofen 2	China	China	China National Academy of Sciences (CNSAS)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	620	636	8/19/2014	40118
Gaofen 3	China	China	State Oceanic Administration (SOA)	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Polar	757	759	8/9/2016	41727
Gaofen 8	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	484	492	6/26/2015	40701
Gaofen 9	China	China	China National Academy of Sciences (CNSAS)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	618	664	9/14/2015	40894
Gaofen 1-02	China	China	China's Ministry of Land and Resources, Ministry of Environmental Protection, and Ministry of Agriculture	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	638	642	3/30/2018	43259
Gaofen 1-03	China	China	China's Ministry of Land and Resources, Ministry of Environmental Protection, and Ministry of Agriculture	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	638	640	3/30/2018	43260
Gaofen 1-04	China	China	China's Ministry of Land and Resources, Ministry of Environmental Protection, and Ministry of Agriculture	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	638	642	3/30/2018	43262
Gaofen 1-05	China	China	China's Ministry of Land and Resources, Ministry of Environmental Protection, and Ministry of Agriculture	Government	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	677	695	5/8/2018	43461
Gaofen 1-06	China	China	China's Ministry of Land and Resources, Ministry of Environmental Protection, and	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	634	647	6/3/2018	43484

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
			Ministry of Agriculture								
GCOM-C	Japan	Japan	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	790	793	12/22/2017	43065
GCOM-1	Japan	USA/Japan	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	701	704	5/17/2012	38337
GOSAT-2	Japan	Japan	JAXA, Ministry of Environment, National Institute of Environmental Studies	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	585	599	10/29/2018	43672
Ibuki	Japan	Japan	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	668	670	1/23/2009	33492
GRUS-1	Japan	Japan	Axelspace	Commercial	Earth Observation	Multi-Spectral Imaging	Sun-Synchronous	570	582	12/27/2018	43890
Haiyang 1C	China	China	State Oceanic Administration (SOA)	Government	Earth Observation	Meteorology	Sun-Synchronous	769	786	9/7/2018	43609
Haiyang 2A	China	China	State Oceanic Administration (SOA)	Government	Earth Observation	Meteorology	Sun-Synchronous	965	967	8/15/2011	37781
Haiyang 2B	China	China	State Oceanic Administration (SOA)	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	949	957	10/24/2018	43655
Hinode	Japan	Multinational	Institute of Space and Aeronautical Science/NASA	Government	Space Science		Sun-Synchronous	670	696	10/22/2006	29479
HJ-1A	China	China	National Remote Sensing Center (NRSCC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	628	665	9/5/2008	33320
HJ-1B	China	China	National Remote Sensing Center (NRSCC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	621	673	9/5/2008	33321
HJ-1C	China	China	National Committee for Disaster Reduction and State Environmental Protection	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	420	438	11/18/2012	38997
Hodoyoshi-1	Japan	Japan	University of Tokyo and NESTRA	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	506	525	11/6/2014	40299
Hodoyoshi-3	Japan	Japan	University of Tokyo and NESTRA	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	613	666	6/19/2014	40015
Hodoyoshi-4	Japan	Japan	University of Tokyo and	Government	Technology Development		Sun-	613	650	6/19/2014	40011

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
			NESTRA				Synchronous				
Hongyan-1	China	China	China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC)	Government	Communications		Non-Polar Inclined	1,090	1,098	12/29/2018	43914
Horyu-2	Japan	Japan	Kyushu Institute of Technology (KIT)	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	650	669	5/17/2012	38340
Huia'an	China	China	Huaian Youth Comprehensive Development Base	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	529	547	1/18/2018	43156
HXMT	China	China	National Space Science Center (NSSC)	Government	Space Science		Non-Polar Inclined	536	545	6/15/2017	42758
HySIS	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	647	648	11/29/2018	43719
IGS Optical 6	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	485	499	2/26/2018	43223
IGS Radar 5	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	485	499	3/16/2017	42072
IGS Radar 6	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	500	500	6/12/2018	43495
IGS-5A	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	484	492	11/28/2009	36104
IGS-6A	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	588	591	9/23/2011	37813
IGS-7A	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	512	514	12/12/2011	37954
IGS-8A	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	509	514	1/27/2013	39061
IGS-8B	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	512	523	1/27/2013	39062
IGS-9A	Japan	Japan	Cabinet Satellite Intelligence Center (CSIC)	Government	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	510	510	1/31/2015	40381
INS-1A	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	496	508	2/15/2017	41949

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
INS-1B	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	496	508	2/15/2017	41954
IRS-P6	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	817	823	10/17/2003	28051
Jiading-1	China	China	Space OK (Shanghai Ok Space Co Ltd.)	Commercial	Communications	Internet of Things (IoT)	Sun-Synchronous	489	504	11/19/2018	43713
Jilin-1	China	China	Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	531	544	1/9/2017	41914
Jilin-1-4	China	China	Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	532	545	11/21/2017	43022
Jilin-1-5	China	China	Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	531	544	11/21/2017	43023
Jilin-1-6	China	China	Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	531	544	11/21/2017	43024
Jilin-1-7	China	China	Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	523	546	1/18/2018	43159
Jilin-1-8	China	China	Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	527	546	1/18/2018	43160
KKS-1	Japan	Japan	Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	651	667	1/23/2009	33499
Kompsat-2	South Korea	South Korea	Korea Aerospace Research Institute (KARI)	Government/Commercial	Earth Observation/Technology Development	Optical Imaging	Sun-Synchronous	676	698	7/28/2006	29268
Kompsat-3	South Korea	South Korea	Korea Aerospace Research Institute (KARI)	Government/Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	679	696	5/17/2012	38338
Kompsat-3A	South Korea	South Korea	Korea Aerospace Research Institute (KARI)	Government/Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	522	540	3/25/2015	40536
Kompsat-5	South Korea	South Korea	Korea Aerospace Research Institute (KARI)	Government/Commercial	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	535	552	8/22/2013	39227
LAPAN A2	Indonesia	Indonesia	Indonesian National Aeronautics and Space Agency (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional - LAPAN)	Government	Earth Observation	Earth Science	Equatorial	631	650	9/24/2015	40931

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
LAPAN A3	Indonesia	Indonesia	Indonesian National Aeronautics and Space Agency (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional - LAPAN)	Government	Earth Observation	Automatic Identification System (AIS)	Sun-Synchronous	501	517	6/22/2016	41603
LAPAN-Tubsat	Indonesia	Indonesia	Indonesian National Aeronautics and Space Agency (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional - LAPAN)	Government	Earth Observation/Technology Development	Optical Imaging	Sun-Synchronous	617	637	1/10/2007	29709
Ling Qiao	China	China	Xinwei Telecom Technology Company	Commercial	Technology Development		Sun-Synchronous	779	808	9/4/2014	40136
Luojia 1	China	China	Wuhan University	Civil	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	634	647	6/3/2018	43485
Megha-Tropiques	India	India/France	Indian Space Research Organization (ISRO)/Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)	Government	Earth Observation	Earth Science	Non-Polar Inclined	853	868	10/12/2011	37838
Microsat-TD	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	327	368	1/11/2018	43128
NIUSat	India	India	Noorul Islam University	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	496	517	6/22/2017	42766
PakTES-1a	Pakistan	Pakistan	Pakistan Space and Upper Atmosphere Research Commission (SUPARCO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	594	628	7/9/2018	43530
PISAT	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Technology Development	Optical Imaging	Sun-Synchronous	661	704	9/26/2016	41784
PRSS-1	Pakistan	Pakistan	Pakistan Space and Upper Atmosphere Research Commission (SUPARCO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	588	624	7/9/2018	43529
QSS	China	China	University of Science and Technology	Government	Space Science		Sun-Synchronous	493	509	8/15/2016	41731
RAPIS-1	Japan	Japan	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	498	510	1/17/2019	43932

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Reimei	Japan	Japan	Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)/Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	595	638	8/23/2005	28810
Resourcesat 2	India	India/Canada	Indian Space Research Organization (ISRO)/exactEarth	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	817	823	4/20/2011	37387
Resourcesat 2A	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	814	831	12/7/2016	41877
RISat-1	India	India	Ministry of Defense	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	538	541	4/25/2012	38248
RISat-2	India	India	Ministry of Defense	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Non-Polar Inclined	415	427	4/20/2009	34807
RISat-2B	India	India	Ministry of Defense	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Non-Polar Inclined	550	557	5/22/2019	44233
RISat-2BR1	India	India	Ministry of Defense	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Non-Polar Inclined	563	573	12/11/2019	44857
Rising-2	Japan	Japan	Tohoku University/Hokkaido University	Civil	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	625	630	5/24/2014	39769
Saudicomsat-1	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Commercial	Technology Development		Sun-Synchronous	697	747	6/29/2004	28369
Saudicomsat-2	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Commercial	Technology Development		Sun-Synchronous	696	780	6/29/2004	28370
Saudicomsat-3	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Commercial	Communications		Sun-Synchronous	652	714	4/17/2007	31125
Saudicomsat-4	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Commercial	Communications		Sun-Synchronous	649	746	4/17/2007	31127
Saudicomsat-5	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Commercial	Communications		Sun-Synchronous	651	725	4/17/2007	31124
Saudicomsat-6	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Commercial	Communications		Sun-Synchronous	648	758	4/17/2007	31121
Saudicomsat-7	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Commercial	Communications		Sun-Synchronous	650	736	4/17/2007	31119

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Saudisat 1C	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Space Research Institute, King Abdulaziz City for Science and Technology	Government	Communications	Amateur Radio	Non-Polar Inclined	603	702	12/20/2002	27607
Saudisat-2	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	696	734	6/29/2004	28371
Saudisat-3	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Riyadh Space Research Institute	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	656	677	4/17/2007	31118
Saudisat-4	Saudi Arabia	Saudi Arabia	Space Research Institute, King Abdulaziz City for Science and Technology	Government	Space Science		Sun-Synchronous	613	682	6/19/2014	40016
ScatSat-1	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Earth Observation	Meteorology/Earth Science	Sun-Synchronous	717	731	9/26/2016	41790
SDS-4	Japan	Japan	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	661	673	5/17/2012	38339
SEEDS 2	Japan	Japan	Nihon University	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	607	627	4/28/2008	32791
Shaonian Xing	China	China	Teen Satellite Project	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	483	507	2/2/2018	43199
Shijian 11-01	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	686	703	11/12/2009	36088
Shijian 11-02	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	686	704	7/29/2011	37765
Shijian 11-05	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	689	704	7/15/2013	39202
Shijian 11-06	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	688	704	3/31/2014	39624
Shijian 11-07	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	687	705	9/28/2014	40261
Shijian 11-08	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	690	705	10/27/2014	40286
Shijian 12	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	583	601	6/15/2010	36596

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Shijian 16-01	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Polar	599	616	10/25/2013	39358
Shijian 16-02	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Technology Development		Polar	338	594	6/29/2016	41634
Shijian 6A	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	579	606	9/8/2004	28413
Shijian 6B	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	587	598	9/8/2004	28414
Shijian 6C	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	591	594	10/23/2006	29505
Shijian 6D	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	594	595	10/23/2006	29506
Shijian 6E	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	581	607	10/25/2008	33408
Shijian 6F	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	578	603	10/25/2008	33409
Shijian 6G	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	584	603	10/6/2010	37179
Shijian 6H	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	586	602	10/6/2010	37180
Shijian 7	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	534	591	7/5/2005	28737
Shijian 9A	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	623	650	10/14/2012	38860
Shijian 9B	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	624	651	10/14/2012	38861
Shiyan 1	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	586	601	4/18/2004	28220
Shiyan 3	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	785	803	11/5/2008	33433
Shiyan 4	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	784	802	11/20/2011	37931

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Shiyan 5	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	739	755	11/25/2013	39455
Shiyan 6-01	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	488	504	11/19/2018	43710
SOCRATES	Japan	Japan	National Institute of Information and Communications Technology (JPN)	Commercial	Technology Development		Sun-Synchronous	618	629	5/24/2014	39768
SOHLA 1	Japan	Japan	Astrotech SOHLA	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	657	665	1/23/2009	33496
Spark-1	China	China	Shanghai Engineering Center for Microsatellites	Government	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	690	725	12/21/2016	41900
Spark-2	China	China	Shanghai Engineering Center for Microsatellites	Government	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	690	727	12/21/2016	41901
SPROUT	Japan	Japan	Nihon University	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	614	629	5/24/2014	39770
SRMSat	India	India	SRM University	Civil	Technology Development		Non-Polar Inclined	850	868	10/12/2011	37841
Step Cube Lab	South Korea	South Korea	Chosun University	Civil	Technology Development		Polar	492	505	1/11/2018	43138
STSat-2C	South Korea	South Korea	Korea Aerospace Research Institute (KARI)	Government	Technology Development		Polar	298	1,482	1/30/2013	39068
Superview 1-01	China	China	Beijing Space View Technology	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	352	525	12/28/2016	41907
Superview 1-02	China	China	Beijing Space View Technology	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	343	548	12/28/2016	41908
Superview 1-03	China	China	Beijing Space View Technology	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	517	535	1/8/2018	43099
Superview 1-04	China	China	Beijing Space View Technology	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	515	534	1/8/2018	43100
TanSat	China	China	China Meteorological Administration	Government	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	690	718	12/21/2016	41898
Theos	Thailand	Thailand	Geo-Informatics and Space	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-	824	826	10/1/2008	33396

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
			Technology Development Agency (GISTDA)				Synchronous				
Tianhui 1-01	China	China	China Aerospace Science and Technology Corp. (CASC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	488	504	8/24/2010	36985
Tianhui 1-02	China	China	China Aerospace Science and Technology Corp. (CASC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	485	505	5/6/2012	38256
Tianhui 1-03	China	China	China Aerospace Science and Technology Corp. (CASC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	489	500	10/26/2015	40988
Tianhui 2-01	China	China	China Aerospace Science and Technology Corp. (CASC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	500	516	4/29/2019	44207
Tianhui 2-02	China	China	China Aerospace Science and Technology Corp. (CASC)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	504	517	4/29/2019	44209
Tiankun-1	China	China	Chinese Academy of Launch Vehicle Technology (CASIC)	Government	Earth Observation/Technology Development		Sun-Synchronous	384	406	3/2/2017	42061
TianYi-2	China	China	Spacety Aerospace Co./Changsha Gaoxinqu Tianyi Research Institute	Commercial	Technology Development		Sun-Synchronous	527	547	1/18/2018	43155
TianYi-6	China	China	Spacety Aerospace Co./Changsha Gaoxinqu Tianyi Research Institute	Commercial	Technology Development		Sun-Synchronous	528	545	1/18/2018	43158
Tianzhi-1	China	China	Chinese Academy of Sciences (CAS)/China Academy of Space Technology	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	488	504	11/19/2018	43712
TIGRISat	Iraq	Iraq	La Sapienza University of Rome	Civil	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	611	698	6/19/2014	40043
TSUBAME	Japan	Japan	Tokyo Institute of Technology, Tokyo University of Science and JAXA	Civil	Earth Observation	Earth Science	Sun-Synchronous	505	569	11/6/2014	40302
UNIFORM 1	Japan	Japan	Wakayama University (UNIFORM consortium)	Civil	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	622	629	5/24/2014	39767
Venμs	Israel	France/Israel	Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)/Israel Space	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	719	724	8/1/2017	42901

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
			Agency								
Weina-1A	China	China	Shanghai Micro Satellite Engineering Center	Government	Technology Development		Non-Polar Inclined	594	601	1/25/2018	43169
WNISat-1	Japan	Japan	Weathernews, Inc.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	594	849	11/21/2013	39423
WNISat-1R	Japan	Japan	Weathernews, Inc.	Commercial	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	586	606	7/14/2017	42835
XJS-A	China	China	Unknown	Government	Technology Development		Non-Polar Inclined	477	486	6/27/2018	43518
XJS-B	China	China	Unknown	Government	Technology Development		Non-Polar Inclined	477	486	6/27/2018	43519
XPNav-1	China	China	China Aerospace Science and Technology Corp. (CASC)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	493	513	11/9/2016	41841
XW-1	China	China	DFH Satellite Co. Ltd./AMSAT-China	Civil	Communications		Sun-Synchronous	1,193	1,205	12/15/2009	36122
XW-2A	China	China	Chinese Amateur Satellite (CAMSAT)	Civil	Communications		Sun-Synchronous	518	535	9/19/2015	40903
XW-2B	China	China	Chinese Amateur Satellite (CAMSAT)	Civil	Communications		Sun-Synchronous	520	539	9/19/2015	40911
XW-2C	China	China	Chinese Amateur Satellite (CAMSAT)	Civil	Communications		Sun-Synchronous	519	538	9/19/2015	40906
XW-2D	China	China	Chinese Amateur Satellite (CAMSAT)	Civil	Communications		Sun-Synchronous	520	539	9/19/2015	40907
XW-2F	China	China	Chinese Amateur Satellite (CAMSAT)	Civil	Communications		Sun-Synchronous	520	540	9/19/2015	40910
XY-S1	China	China	China Aerospace Science and Technology Corp. (CASC)	Government	Technology Development		Sun-Synchronous	529	541	1/9/2017	41913
Yaogan 10	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	625	628	8/9/2010	36834
Yaogan 11	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation		Sun-Synchronous	626	668	9/22/2010	37165
Yaogan 12	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation		Sun-	487	496	11/9/2011	37875

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
							Synchronous				
Yaogan 13	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Sun-Synchronous	506	507	11/29/2011	37941
Yaogan 14	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	469	481	5/10/2012	38257
Yaogan 15	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Polar	1,201	1,207	5/29/2012	38354
Yaogan 16A	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,080	1,089	11/25/2012	39011
Yaogan 17A	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,076	1,111	9/1/2013	39239
Yaogan 18	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	509	513	10/29/2013	39363
Yaogan 19	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	1,201	1,207	11/20/2013	39410
Yaogan 20A	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Non-Polar Inclined	1,085	1,095	8/9/2014	40109
Yaogan 20B	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Non-Polar Inclined	1,087	1,093	8/9/2014	40110
Yaogan 20C	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Non-Polar Inclined	1,087	1,094	8/9/2014	40111
Yaogan 21	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	480	494	9/8/2014	40143
Yaogan 22	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	1,196	1,209	10/20/2014	40275
Yaogan 23	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Radar Imaging	Sun-Synchronous	492	513	11/14/2014	40305
Yaogan 24	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	630	653	11/20/2014	40310
Yaogan 25A	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,089	1,097	12/10/2014	40338
Yaogan 25B	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,083	1,093	12/10/2014	40339

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Yaogan 25C	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,092	1,113	12/10/2014	40340
Yaogan 26	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Sun-Synchronous	487	491	12/27/2014	40362
Yaogan 27	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Sun-Synchronous	1,201	1,213	8/27/2015	40878
Yaogan 28	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Sun-Synchronous	460	482	11/8/2015	41026
Yaogan 29	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Sun-Synchronous	628	629	11/26/2015	41038
Yaogan 30	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Sun-Synchronous	628	656	5/15/2016	41473
Yaogan 30-1-1	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	592	599	9/29/2017	42945
Yaogan 30-1-2	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	592	599	9/29/2017	42946
Yaogan 30-1-3	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	592	599	9/29/2017	42947
Yaogan 30-2-1	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	590	603	11/26/2017	43028
Yaogan 30-2-2	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	589	603	11/26/2017	43029
Yaogan 30-2-3	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	589	603	11/26/2017	43030
Yaogan 30-3-1	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	590	602	12/25/2017	43081
Yaogan 30-3-2	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	590	602	12/25/2017	43082
Yaogan 30-3-3	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	591	602	12/25/2017	43083
Yaogan 30-4-1	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	591	601	1/25/2018	43170

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Yaogan 30-4-2	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	591	601	1/25/2018	43171
Yaogan 30-4-3	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	591	602	1/25/2018	43172
Yaogan 31-1-1	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,086	1,099	4/10/2018	43275
Yaogan 31-1-2	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,088	1,099	4/10/2018	43276
Yaogan 31-1-3	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,087	1,098	4/10/2018	43277
Yaogan 32-1-1	China	China	People's Liberation Army (C41)	Military	Earth Observation		Sun-Synchronous	689	704	10/8/2018	43642
Yaogan 4	China	China	People's Liberation Army (C41)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	635	658	12/1/2008	33446
Yaogan 6	China	China	People's Liberation Army (C41)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	511	512	4/22/2009	34839
Yaogan 7	China	China	People's Liberation Army (C41)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	628	665	12/9/2009	36110
Yaogan 8	China	China	People's Liberation Army (C41)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	1,192	1,205	12/15/2009	36121
Yaogan 9A	China	China	People's Liberation Army (C41)	Government	Earth Observation	Electronic Intelligence	Non-Polar Inclined	1,017	1,164	3/5/2010	36413
Youthsat	India	India	Indian Space Research Organization (ISRO)	Government	Space Science		Sun-Synchronous	802	824	4/20/2011	37388
Yunhai-1	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Earth Observation		Sun-Synchronous	747	798	11/11/2016	41857
Yunhai-2 01	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Earth Observation	Earth Science	Non-Polar Inclined	516	524	12/29/2018	43909
Yunhai-2 02	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Earth Observation	Earth Science	Non-Polar Inclined	514	523	12/29/2018	43910
Yunhai-2 03	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Earth Observation	Earth Science	Non-Polar Inclined	512	524	12/29/2018	43911

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Yunhai-2 04	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Earth Observation	Earth Science	Non-Polar Inclined	1,088	1,097	12/29/2018	43912
Yunhai-2 05	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Earth Observation	Earth Science	Non-Polar Inclined	1,090	1,098	12/29/2018	43913
Yunhai-2 06	China	China	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	Government	Earth Observation	Earth Science	Non-Polar Inclined	1,092	1,098	12/29/2018	43915
Ziyuan 2C	China	China	China Academy of Space Technology (CAST)	Military	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	555	606	11/4/2004	28470
Zhangheng 1	China	China/Italy	China Earthquake Administration/Italian Institute for Nuclear Physics	Government	Earth Science		Sun-Synchronous	488	509	2/2/2018	43194
ZP-1B	China	China	Zhejiang University	Civil	Space Science		Sun-Synchronous	619	653	9/22/2010	37166
ZP-1C	China	China	Zhejiang University	Civil	Space Science		Sun-Synchronous	620	653	9/22/2010	37167
ZP-2A	China	China	Zhejiang University	Civil	Technology Development		Sun-Synchronous	517	534	9/19/2015	40901
OHS-1	China	China	Zhuhai Orbita Aerospace Science and Technology Co.	Commercial	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	494	511	4/26/2018	43439
OHS-2	China	China	Zhuhai Orbita Aerospace Science and Technology Co.	Commercial	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	493	512	4/26/2018	43441
OHS-3	China	China	Zhuhai Orbita Aerospace Science and Technology Co.	Commercial	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	493	512	4/26/2018	43442
OHS-4	China	China	Zhuhai Orbita Aerospace Science and Technology Co.	Commercial	Earth Observation	Hyperspectral Imaging	Sun-Synchronous	491	511	4/26/2018	43443
OVS-1A	China	China	Zhuhai Orbita Control Engineering Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Video Imaging	Non-Polar Inclined	533	545	6/15/2017	42761
OVS-1B	China	China	Zhuhai Orbita Control Engineering Co. Ltd.	Commercial	Earth Observation	Video Imaging	Non-Polar Inclined	533	545	6/15/2017	42759
Ziyuan 1-02C	China	China	China Centre for Resources Satellite Data and Application (CRESDA)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	763	773	12/22/2011	38038

Current Official Name of Satellite	Country/Org of UN Registry	Country of Operator/ Owner	Operator/ Owner	Users	Purpose	Detailed Purpose	Type of Orbit	Perigee (km)	Apogee (km)	Date of Launch	NORAD Number
Ziyuan 3	China	China	China Centre for Resources Satellite Data and Application (CRESDA)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	500	504	1/9/2012	38046
Ziyuan 3-2	China	China	China Centre for Resources Satellite Data and Application (CRESDA)	Government	Earth Observation	Optical Imaging	Sun-Synchronous	487	500	5/29/2016	41556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

Amazon. (2563). *Amazon receives FCC approval for Project Kuiper satellite constellation*. Retrieved 1 May from https://www.aboutamazon.com/news/company-news/amazon-receives-fcc-approval-for-project-kuiper-satellite-constellation

Brian Sauser, J. R.-M., Dinesh Verma, Ryan Gove. (2549, April 7-8, 2549). From TRL to SRL: The Concept of Systems Readiness Levels. Conference on Systems Engineering Research, Los Angeles, CA,.

BRYCE Space and Technology. (2563). *Bryce 2020 Year In Review*.

Channumsin, S., , S. S., Tanin Saroj, Phasawee Saingyen, Keerati Puttasuwan,, & Prakasit Udomthanatheera, S. J. (2562). Collision avoidance strategies and conjunction risk assessment analysis tool at GISTDA. *Journal of Space Safety Engineering*, *7*, 268-273.

Chanud Sithipreedanant. (2562). สิ้นสุดภารกิจ *EP.2* – เมื่อดาวเทียมชนกันในอวกาศ ชะตากรรมของ *Iridium-33* และ *Kosmos-2251*. Retrieved 10 March from https://spaceth.co/end-of-mission-ep-2/

Deyana Goh. (2560). *Challenges and opportunities for Malaysia's space entrepreneurs*. Retrieved 2 May from https://www.spacetechasia.com/challenges-and-opportunities-for-malaysias-space-entrepreneurs/

ESA. (2563). *ESA's Annual Space Environment Report* 4). ESA.

ESA. (2564). *Distribution of space debris around Earth*. Retrieved 20 February from http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/01/Distribution_of_space_debris_around_Earth

FAISEL EM TUBBAL, R. R., KWAN-WU CHIN. (2558). A Survey and Study of Planar Antennas for Pico-Satellites. *IEEE Access*, *3*, 2590.

Intan Perwitasari. (2561). Indonesia Spaceport Selection Based on Multicriteria Analysis: A Study on Relative Importance and Priority Regarding Spaceport Selection Location Attributes Utilizing AHP. 3rd International Conference on Indonesian Social & Political Enquiries (ICISPE 2018), Universitas Diponegoro Prof. Sudharto,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

SH Road, Tembalang, Postal Code 1269, Semarang, Central Java, Indonesia.

Inter-Agency Space Debris Coordination Committee. (2550). *IADC Space Debris Mitigation Guidelines*. IADC.

Jonathan C. McDowell. (2563). The Low Earth Orbit Satellite Population and Impacts of the SpaceX Starlink

Constellation. *The Astrophysical Journal Letters*, *892*, Article 2.

Julissa Zavala. (2558). *Satellite fuel tank found in orchard*. Retrieved 3 February from https://hanfordsentinel.com/news/local/satellite-fuel-tank-found-in-orchard/article_592cd5e7-3b0d-5573-a46b-ca9864027ed6.html

KELLI KENNEDY. (2562). *Orange fireball lighting Florida sky was Chinese space junk*. Retrieved 6 February from https://www.statesboroherald.com/local/associated-press/orange-fireball-lighting-florida-sky-was-chinese-space-junk/

M. H. Denton, M. G. H., V. K. Jordanova, M. F. Thomsen, J. E. Borovsky, J. Woodroffe,D. P. Hartley, and D. Pitchford,. (2559). An improved empirical model of electron and ion fluxes at geosynchronous orbit based on upstream solar wind conditions. *Space Weather*, *14*(7), 512. https://doi.org/10.1002/2016SW001409

Marit Undseth, C. J., Mattia Olivari. (2564). The Economics of Space Debris in Perspective. 8th European Conference on Space Debris, ESA/ESOC, Darmstadt, Germany.

OECD. (2563). *SPACE SUSTAINABILITY: THE ECONOMICS OF SPACE DEBRIS IN PERSPECTIVE*.

OneWeb. (2562a). *How OneWeb is changing global communications from Space*. Retrieved 9 February from http://www.oneweb.world

OneWeb. (2562b, 7 สิงหาคม 2562). *OneWeb Media* https://www.oneweb.world/press

Paweł Bernat. (2563). ORBITAL SATELLITE CONSTELLATIONS AND THE GROWING THREAT OF KESSLER SYNDROME IN THE LOWER EARTH ORBIT. *Safety Engineering of Anthropogenic Objects*, *4*. https://doi.org/10.37105/iboa.94

Peerapat Chuejeen. (2561). บริษัทอวกาศเอกชน การแข่งขันด้านเทคโนโลยีอวกาศยุคใหม่. nextwider. Retrieved 17 มิถุนายน from https://www.nextwider.com/private-space-companies/

Prachachat. (2561). นับถอยหลังเทียนกง-*1* ตกสู่โลก บทสรุปจากห้วงอวกาศไม่เกินกลางเดือนเม.ย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

https://www.prachachat.net/economy/news-137376

Rebecca Morelle. (2560). เตรียมปล่อยยาน *RemoveDebris* กำจัดขยะอวกาศ. BBC. Retrieved 17 มิถุนายน from https://www.bbc.com/thai/international-42193205

[Record #107 is using a reference type undefined in this output style.]

Sarun Rojanasoton. (2562). *Starlink* อินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียมพร้อมให้บริการในปี *2563*. Retrieved 14 February from https://brandinside.asia/starlink-internet-services-2020/

SCIWAYS. (2561). ขยะอวกาศ (*Space Debris)* มลภาวะในวงโคจรรอบโลก. Retrieved 8 February from https://www.sciways.co/space-debris/

Shahin Farshchi. (2559, 11 February). Is Small Satellite Launch a Rocketship Opportunity or a Race to the Bottom? https://medium.com/lux-capital/is-small-satellite-launch-a-rocketship-opportunity-or-a-race-to-the-bottom-da8df7a391b3

Sittiporn Channumsin, S. S., Tanin Saroj, Phasawee Saingyen, Keerati Puttasuwan, Prakasit Udomthanatheera and Seksan Jaturut,. (2563). Development of Space Traffic Management System: ZIRCON. the Innovation Aviation & Aerospace Industry International Conference 2020 (IAAI 2020), Chumphon, Thailand.

UCSUSA. (2564). *UCS Satellite Database* https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database

เชาวลิต ศิลปทอง. (2563). ดาวเทียมที่ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้ระบบ *THEOS-2* เป็นแบบไหน *?* Retrieved 30 March from https://www.gistda.or.th/main/th/node/4020

เรวัต ตันตยานนท์. (2563, 22 March). กระบวนการนวัตกรรมเชิงพาณิชย์. https://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/651294

ไทยรัฐออนไลน์. (2560, 16 November 2560). ตรวจวัตถุปริศนาร่วงจากฟ้าที่อุบลฯ จนท.คาดชิ้นส่วนจรวดส่งดาวเทียม. ไทยรัฐ. Retrieved 29 March 2564 from https://www.thairath.co.th/news/local/northeast/1128542

ไทยรัฐออนไลน์. (2564). ทำลายสถิติโลก "สเปซเอ็กซ์" ส่งดาวเทียมแบบโลว์คอส เที่ยวละ *143* ดวง. ไทยรัฐ. Retrieved 17 มิถุนายน from https://www.thairath.co.th/news/foreign/2019211

ไพโรจน์ ไววานิชกิจ. (2563). Cubesat ดาวเทียมขนาดจิ๋วกับยุคใหม่แห่งการสื่อสาร. *NBTC Journal*.

กนกอร สุทธิวงค์, พ. จ. (2563). การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนเปิดศูนย์บริการช่วยเหลือฉุกเฉินบนท้องถนนในจังหวัดอุบลราชธานี. วารสารรังสิตบัณฑิตศึกษาในกลุ่มธุรกิจและสังคมศาสตร์,

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2559). การศึกษาความเป็นไปได้ของธุรกิจ. https://bsc.dip.go.th/th/category/financial-accounting/fs-businessstudy

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.). (2564). คนไทยเก่ง สั่งไทยโชตหนีวัตถุอวกาศเฉียดใกล้สุด *100* เมตร. Retrieved 2 May from https://www.mhesi.go.th/index.php/en/news-and-announce-all/news-all/pr-news/3227-100.html

กรุงเทพธุรกิจ. (2560). รุดตรวจสอบวัตถุปริศนาระเบิดกลางอวกาศ ชายแดนไทย-ลาว. Retrieved 20 March from https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/781529

กรุงเทพธุรกิจ. (2561). ปิดดีลเรียบร้อยแล้ว ดาวเทียมธีออส*2* ราคา *6.9* พันล้าน. Retrieved 20 March from https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/805012

กรุงเทพธุรกิจ. (2564). สิทธิเข้าใช้วงโคจร 'ดาวเทียม' ในไทย. Retrieved 14 มิถุนายน from https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/933045

กิตติชัย ชิตตระกูล. (2560). การออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค *Business Model Canvas (BMC)* ร่วมกับ *Quality Function Deployment (QFD)* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี].

คณะทำงานพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการจัดตั้งท่าอวกาศยาน (**Spaceport)** ในประเทศไทย. (2564). การศึกษาแนวคิดการพัฒนาท่าอวกาศยานประเทศไทย (*A Study on The Conceptual Development of Spaceport Thailand).*

ชิดชนก วิมุกตานนท์. (2563, 30 October 2563). จาก “สงครามอวกาศ” สู่ “ขยะอวกาศ”. Sal Forest. Retrieved 20 February from http://www.salforest.com/blog/space-debris-from-human-space-war

ณัฐนนท์ ดวงสูงเนิน. (2564, 30 March). Thailand Announces Its first multi-billion Lunar and Deep Space mission. https://spaceth.co/thailand-announce-its-first-multi-billion-lunar-and-deep-space-mission/

ณัฐนพิน อิสระกาญจน์กุล. (2557). แผนธุรกิจวุ้นเต้นตราเรือ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ].

[Record #91 is using a reference type undefined in this output style.]

ธนพันธุ์ หร่ายเจริญ. (2562). ดาวเทียมไทยจะไปทางไหน. *NBTC Journal*.

ธัญสินี ธรรมวิจิตเดช. (2559). ความแตกต่างของกลยุทธ์ทางการตลาดระหว่างสินค้าอุตสาหกรรม (*Industrial Product)* กับสินค้าอุปโภคบริโภค (*Consumer Product)* ในอุตสาหกรรมเคมี กรณีศึกษา บริษัท ไทยพีเอซี อินดัสตรี จำกัด มหาวิทยาลัยมหิดล].

น้ำฝน บำรุงศิลป์. (2563). กิจการอวกาศยุคใหม่ (*New Space)...*โอกาสและความท้าทายของไทย. แนวหน้า. Retrieved 17 มิถุนายน from https://www.naewna.com/business/463692

ปณชัย สันทนานุการ. (2563). การเดินทางของดาวเทียม สู่อวกาศที่เต็มไปด้วยอันตราย...*!!* GISTDA. Retrieved

14 มิถุนายน from https://www.gistda.or.th/main/th/node/4243

ปรีดี นุกุลสมปรารถนา. (2563). วิเคราะห์ปัจจัยภายนอกด้วย *PESTEL Analysis*. Retrieved 22 March from https://www.popticles.com/business/analyze-external-factor-with-pestel-analysis/

พศพงศ์ ธรรมาภิรัชต์. (2561). ชวนคนไทยให้รู้จัก "วัตถุอวกาศ" รู้จัก เข้าใจ เกิดภัย ไม่ตระหนก. https://www.gistda.or.th/main/th/node/2562

พีรพงศ์ ต่อฑีฆะ. (2561). การพัฒนาตัวกรองอนุภาคเพื่อระบบระบุพิกัดและติดตามของวัตถุอวกาศด้วยชุดข้อมูลภาพแบบ Passive จากกล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นดิน. วารสาร สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย (*RESGAT)* ปีที่ *19* ฉบับพิเศษ, *spacial*, 17.

ภูมินทร์ บุตรอินทร์. (2563). แนวทางการบริหารจัดการสิทธิในการใช้งานวงโคจรดาวเทียมและการใช้งานคลื่นความถี่ที่เกี่ยวข้องสำหรับจัดทำข้อเสนอแนะการบริหารจัดการดาวเทียมของประเทศไทย. วารสารนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, *3*.

มรกตวงศ์ ภูมิพลับ. (2561). โครงการอวกาศ" ของเวียดนาม. Retrieved 22 March from https://www.posttoday.com/aec/column/556574

วัฐพล เมฆดี. (2562). กิจการอวกาศเพื่อความมั่นคง: ความท้าทายแห่งอนาคต. วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ, *10*(2), 1-11.

วิภู รุโจปการ. (2557). ศึกษาที่มา...ผลกระทบ 'ขยะอวกาศ' ลดความเสียหาย การเกิดอย่างจงใจ...

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. ขยะอวกาศ. Retrieved 22 March from http://www.lesa.biz/space-technology/space-debris

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. ดาวเทียม. Retrieved 14 มิถุนายน from http://www.lesa.biz/space-technology/satellite

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. หลักการส่งยานอวกาศ. Retrieved 14 มิถุนายน from http://www.pw.ac.th/emedia/media/science/lesa/2/space_tech/concept/concept.html

[Record #111 is using a reference type undefined in this output style.]

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. (2560). โครงการจัดทำผลการวิเคราะห์ทิศทางแนวโน้มด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ.

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ. (2564a). เปิดโผ *10* เรื่องดาราศาสตร์น่าติดตาม ประจำปี *2564*. Retrieved 10 May from http://www.narit.or.th/index.php/news/1432-narit-10-astronomy-event-2564

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ. (2564b). ระบบติดตามดาวเทียมฝีมือคนไทย.

http://www.narit.or.th/index.php/astronomy-article/1752-black-hole-information-paradox

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น. (2558). ราคาของดาวเทียม และการมองเห็นดาวเทียม. Retrieved 23 May from https://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=1673&pageid=8&read=true&count=true

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2558, 8 October 2558). ดาวเทียมสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). Retrieved 2 Apirl 2564 from

[Record #27 is using a reference type undefined in this output style.]

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2564). คนไทยเก่ง สั่งไทยโชตหนีวัตถุอวกาศเฉียดใกล้สุด ***100*** เมตรสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). Retrieved 20 May 2564 from

สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ ณ กรุงสิงคโปร์. (2558). สิงคโปร์ประสบความสำเร็จในการเปิดตัวดาวเทียม *6* ดวงในอินเดีย.

สุวัฒน์ กุลธนปรีดา. (2561). แนวทางการพัฒนาดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ประสบการณ์จากโครงการดาวเทียมแนคแซท. วารสาริชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, *28*, 255-257.

อภิวัฒน์ จิรวัฒนผล, พ. ส., สุวัฒน์ กุลธนปรีดา. (2564). ก้าวเล็ก ๆ สู่อวกาศ: ประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านในเอเชีย. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, *31*, 1-4.

อรัชมน พิเชฐวรกุล. (2562). กฎหมายกับการจัดการขยะอวกาศ. กรุงเทพธุรกิจ. https://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/647730

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวธันย์ชนก คล่องแคล่ว
วัน เดือน ปี เกิด	25 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ภูมิศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เกียรตินิยมอันดับ 2
ที่อยู่ปัจจุบัน	41/34 ซอยรามอินทรา 8 ถนนรามอินทรา อนุสาวรีย์ บางเขน กทม. 10220

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University