การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิต : กรณีศึกษาการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

นางสาวชญารัฐ ศรีสงคราม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIMULATION FOR PRODUCTION PROCESS :
A CASE STUDY OF PRODUCTION POWER TRANSFORMER

Miss Shayarath Srizongkhram

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Logistics Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิต : กรณีศึกษาการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
โดย	นางสาวชญารัฐ ศรีสงคราม
สาขาวิชา	การจัดการด้านโลจิสติกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริอร เศรษฐมานิต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงศา พรชัยวิเศษกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริอร เศรษฐมานิต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมโรตม์ โกมลวนิช)

ชญารัฐ ศรีสงคราม : การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิต : กรณีศึกษาการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (SIMULATION FOR PRODUCTION PROCESS : A CASE STUDY OF PRODUCTION POWER TRANSFORMER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.สิริอร เศรษฐมานิต, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ศ. ดร.กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ, 130 หน้า.

บทความนี้ ทำการศึกษากระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่มีกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดในการผลิต จึงต้องการทดลองเพิ่มสถานีงานลงในระบบอีก 1 สถานี เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว โดยการแสดงการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์ระยะเวลารอคอย และจำนวนคิวในกระบวนการผลิต รวมถึงนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางการเงิน โดยมีการกำหนดสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้า แบ่งเป็น 3 สถานการณ์ดังนี้ 1. ความต้องการหม้อแปลง 88 เครื่อง (เท่ากับปี 2557) 2. ความต้องการเพิ่มขึ้น 15% (หม้อแปลง 101 เครื่อง) และ 3. ความต้องการเพิ่มขึ้น 25% (หม้อแปลง 110 เครื่อง) ผลการวิจัยพบว่า สถานการณ์ที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุน 0.7 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 9 และผลตอบแทนภายใน 51% ส่วนสถานการณ์ที่ 3 ระยะเวลาคืนทุน 0.7 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 17 และผลตอบแทนภายใน 52% แต่ในสถานการณ์ที่ 1 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ -23 ผลตอบแทนภายใน -100% เนื่องจากไม่มีปริมาณการผลิตหรือรายได้ที่เพิ่มขึ้น สำหรับจุดคุ้มทุนจะต้องผลิตหม้อแปลงจำนวน 94 เครื่อง หรือมีรายได้ 2,353 ล้านบาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา การจัดการด้านโลจิสติกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5787131020 : MAJOR LOGISTICS MANAGEMENT
KEYWORDS: THEORY OF CONSTRAINT / SIMULATION / WAITING TIME / NUMBER IN QUEUE

SHAYARATH SRIZONGKHRAM: SIMULATION FOR PRODUCTION PROCESS : A CASE STUDY OF PRODUCTION POWER TRANSFORMER. ADVISOR: ASST. PROF. SIRI-ON SETAMANIT, Ph.D., CO-ADVISOR: PROF. KAMONCHANOK SUTHIWARTNARUEPUT, Ph.D., 130 pp.

The article studies Power Transformer manufacturing process which has Constraint Process. In order to analyze valuable of investment at a new station, researcher simulates the current process with adding new station then observe waiting time and number in queue while the financial analysis is also considered. In this paper, researcher defines three scenarios after customer's demand forecasting. The first scenario is specified as Base Case which demonstrates manufacturing process of 88-unit transformer (Customer's demand base on Y2014). The second scenario configures an increasing of 15% customer's demand (101 units) from Base Case. And the last scenario, the number of transformer production is raised to 110 units (adding 25% from Base Case). The result of financial analysis was indicated; the second scenario showed payback period 0.7 years, NPV was 9 and IRR was 51%. The third scenario showed 0.7 year of payback period, NPV was 17 and IRR was 52%. While base case scenario showed NPV was -23 and IRR was -100% since there're no increasing of production volume or income. Anyway break-even point of power transformer manufacturing output would be 94 units with revenue of 2,353 million Baht.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Logistics Management Student's Signature .....
Academic Year: 2015 Advisor's Signature .....
Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.สิริอร เศรษฐมานิต อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยหลัก และ ศ.ดร.กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พงศา พรชัยวิเศษกุล ประธานและ รศ.ดร.สมโรตม์ โกมลวนิช กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สร้างประสบการณ์ที่ดีตลอดช่วงเวลาที่ได้ศึกษาตลอดระดับปริญญาโทแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ ที่ช่วยผลักดันและให้กำลังใจโดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายเกรียงศักดิ์ อ่าวอุดมพันธ์ที่ได้ช่วยชี้แนะให้งานวิจัยน่าสนใจ และมีวิธีการนำเสนอที่เข้าใจง่ายยิ่งขึ้น รวมถึงนายวีรยศ วชิรโภคา นายจตุรงค์ บุญนำ นางสาวธิดารัตน์ ประเสริฐผล นางสาวนิภาภรณ์ ประทีปปรีชาพล และนางสาวนพรัชต์ ศรีสุจริตพานิช

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ไม่สามารถเปิดเผยชื่อบริษัทได้ และกลุ่มพนักงานบริษัทที่ให้ข้อมูลเพื่อการวิจัยนี้

สุดท้ายขอขอบคุณ ดร.วิษณุ จิตวิริยะ ที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 15

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 15

1.2 คำถามของงานวิจัย 18

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย 18

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 18

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 19

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 20

1.7 โครงร่างงานวิจัย 20

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

2.1 ทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraint) 22

2.2 ทฤษฎีแถวคอย (Waiting Line Theory) 26

2.5 งบประมาณจ่ายลงทุน 45

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 50

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย 59

3.1 รายละเอียดบริษัทกรณีศึกษา 59

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.3 การสร้างแบบจำลอง 67
3.4 การกำหนดสถานการณ์ในงานวิจัย 83
3.5 การจำลองสถานการณ์และวิเคราห์ผลกระทบ 84
3.6 การวิเคราะห์ทางการเงิน 84
3.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ 87
3.8 การสรุปรูปแบบการการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม 88
3.9 การสรุปผลและนำเสนองานวิจัย 88
บทที่ 4 ผลการวิจัย 89
4.1 ผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดของระบบ 89
4.2 ผลกระทบต่อกระบวนการผลิตทั้งหมด 92
4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์ 94
4.4 ผลวิเคราะห์ทางการเงิน 98
4.4 สรุปรูปแบบการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม 100
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 104
5.1 สรุปผลการวิจัย 104
5.2 ข้อเสนอแนะ 105
รายการอ้างอิง 110
ภาคผนวก 114
ภาคผนวก ก เวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการในปี 2557 115
ภาคผนวก ข ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีน่า 118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่ 1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศในแถบอาเซียนในอนาคต 15
ภาพประกอบที่ 2 รูปแบบแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญของประเทศไทย 16
ภาพประกอบที่ 3 กระบวนการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังผู้บริโภค 17
ภาพประกอบที่ 4 เป้าหมายขององค์กร 23
ภาพประกอบที่ 5 ระบบแถวคอยที่มีผู้ให้บริการ 1 หน่วย 28
ภาพประกอบที่ 6 ระบบแถวคอยที่มีแถวคอย 1 แถว แต่มีจำนวนหน่วยให้บริการมากกว่า 1 หน่วย 29
ภาพประกอบที่ 7 ระบบแถวคอยที่มีขั้นตอนเดียว แถวคอยหลายแถว และมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย 29
ภาพประกอบที่ 8 ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการหลายบริการ มีจำนวนแถวคอย 1 แถว 29
ภาพประกอบที่ 9 ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการหลายบริการ แต่มีจำนวนแถวคอยหลายแถว และในแต่ละการให้บริการมีหลายหน่วย 30
ภาพประกอบที่ 10 ส่วนประกอบของระบบการผลิตแบบลีน 35
ภาพประกอบที่ 11 ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ 41
ภาพประกอบที่ 12 แนวคิดจุดคุ้มทุน 49
ภาพประกอบที่ 13 สินค้าและลูกค้าของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 60
ภาพประกอบที่ 14 ภาพแสดงกระบวนการทำงานขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง .. 61
ภาพประกอบที่ 15 ระบบที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ 62
ภาพประกอบที่ 16 โครงสร้างการบริหารจัดการวัตถุดิบ 63
ภาพประกอบที่ 17 การวางแผนในการนำวัตถุดิบเข้าโรงงาน 63
ภาพประกอบที่ 18 แนวโน้มของ GDP ของประเทศที่มีผลต่อตลาดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 65
ภาพประกอบที่ 19 ขั้นตอนของกระบวนการในการนำไปสร้างแบบจำลองสถานการณ์ 67
ภาพประกอบที่ 20 รูปแบบการแจกแจงข้อมูลของแต่ละกระบวนการผลิต 68

Chulalongkorn University

ภาพประกอบที่ 21 ตัวอย่างการเกิดแถวคอยในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 70
ภาพประกอบที่ 22 แบบจำลองสถานการณ์ 73
ภาพประกอบที่ 23 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 1 73
ภาพประกอบที่ 24 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 2 74
ภาพประกอบที่ 25 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 3 และ 4 75
ภาพประกอบที่ 26 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 5 75
ภาพประกอบที่ 27 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 6 76
ภาพประกอบที่ 28 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 7 76
ภาพประกอบที่ 29 การจำลองสถานการณ์ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว 77
ภาพประกอบที่ 30 องค์ประกอบส่วนที่ 1 ของการจำลองสถานการณ์ ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว 77
ภาพประกอบที่ 31 องค์ประกอบส่วนที่ 2 ของการจำลองสถานการณ์ 78
ภาพประกอบที่ 32 องค์ประกอบส่วนที่ 3 ของการจำลองสถานการณ์ 78
ภาพประกอบที่ 33 องค์ประกอบส่วนที่ 4 ของการจำลองสถานการณ์ 78
ภาพประกอบที่ 34 องค์ประกอบส่วนที่ 5 ของการจำลองสถานการณ์ 79
ภาพประกอบที่ 35 ผลการทดสอบความผิดพลาดของโมเดล 79
ภาพประกอบที่ 36 ผลการทดสอบการไหลของกระบวนการผลิต 80
ภาพประกอบที่ 37 ผลการทดสอบการไหลที่กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง 80
ภาพประกอบที่ 38 ผลการทดสอบระบบของโมเดล 80
ภาพประกอบที่ 39 ตัวอย่างการตั้งแต่และบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประมวลผลใน Output Analyzer 87
ภาพประกอบที่ 40 ตัวอย่างการเลือกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ใน Output Analyzer 87
ภาพประกอบที่ 41 ตัวอย่างการเลือกเงื่อนไขในการวิเคราะห์ใน Output Analyzer 88
ภาพประกอบที่ 42 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความแปรปรวณของผลลัพธ์ 88

ภาพประกอบที่ 43 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการของการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า (ก่อน) 90

ภาพประกอบที่ 44 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการของการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า (หลัง) 90

ภาพประกอบที่ 45 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการในสถานการณ์ต่างๆ 91

ภาพประกอบที่ 46 อัตราการใช้งานกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง 92

ภาพประกอบที่ 47 ระยะเวลาการรอคอยรวมและจำนวนคิวรวมในสถานการณ์ต่างๆ 94

ภาพประกอบที่ 48 อัตราการใช้งานของกระบวนการผลิตในสถานการณ์ต่างๆ 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 การใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ต่างๆ ในการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต 55
ตารางที่ 2 เปรียบข้อดีและข้อจำกัดของโปรแกรมจำลองสถานการณ์ 56
ตารางที่ 3 **ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิตในแต่ละกระบวนการ** 61
ตารางที่ 4 ระยะเวลาในกระบวนการผลิต 66
ตารางที่ 5 **รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาการผลิตในแต่ละกระบวนการ** 69
ตารางที่ 6 ทรัพยากรของระบบ 69
ตารางที่ 7 ลักษณะการใช้งานในแต่ละโมดูลในบัญชีแสดงกรรมวิธีพื้นฐาน 71
ตารางที่ 8 ลักษณะการใช้งานในแต่ละโมดูลในบัญชีแสดงกรรมวิธีก้าวหน้า 72
ตารางที่ 9 ลักษณะการใช้งานในแต่ละโมดูลในบัญชีแสดงกรรมวิธีขนถ่าย 72
ตารางที่ 10 จำนวนรอบในการรันโมเดล 82
ตารางที่ 11 องค์ประกอบและที่มาของข้อมูลในการวิเคราะห์ทางการเงิน 85
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบข้อมูลในสถานการณ์ความต้องการต่างๆ 86
ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ทางการเงินในสถานการณ์ความต้องการต่างๆ 86
ตารางที่ 14 เวลารอคอยในสถานีงานต่างๆ 93
ตารางที่ 15 งานระหว่างผลิตในสถานีงานต่างๆ 93
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของผลผลิต (Number Out) 94
ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอยในกระบวนการผลิตแกนเหล็ก 95
ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการผลิตขดลวด 95
ตารางที่ 19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง 95

ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง 95
ตารางที่ 21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการประกอบสุดท้าย 96
ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการตรวจสอบหม้อแปลง 96
ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ 96
ตารางที่ 24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการผลิตแกนเหล็ก 96
ตารางที่ 25 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการผลิตขดลวด 97
ตารางที่ 26 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง 97
ตารางที่ 27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง 97
ตารางที่ 28 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย 97
ตารางที่ 29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการตรวสอบหม้อแปลง 98
ตารางที่ 30 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ 98
ตารางที่ 31 ต้นทุนเริ่มต้นโครงการในการย้ายและติดตั้งเตาอบไส้ในหม้อแปลงใหม่ 99
ตารางที่ 32 ค่าล่วงเวลาพนักงานในแผนกต่างๆ 99
ตารางที่ 33 ผลของการวิเคราะห์ทางการเงิน 100
ตารางที่ 34 ตารางสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อหาข้อจำกัดในกระบวนการผลิต (ก่อนเพิ่มสถานีงานของกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง) 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 35 ตารางสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อหาข้อจำกัดในกระบวนการผลิต (หลังเพิ่มสถานีงานของกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง)..... 101

ตารางที่ 36 การคำนวณดัชนีชี้วัดทางการเงิน..... 102

ตารางที่ 37 ผลทางการเงินเทียบกับเป้าหมายที่กำหนดเพื่อนำไปวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน 103

ตารางที่ 38 การเปรียบเทียบเวลาทำงานก่อน และหลังการปรับสมดุลการผลิต 106

ตารางที่ 39 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการ เมื่อปรับสมดุลการผลิต 107

ตารางที่ 40 เวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการผลิตของปี 2557..... 116

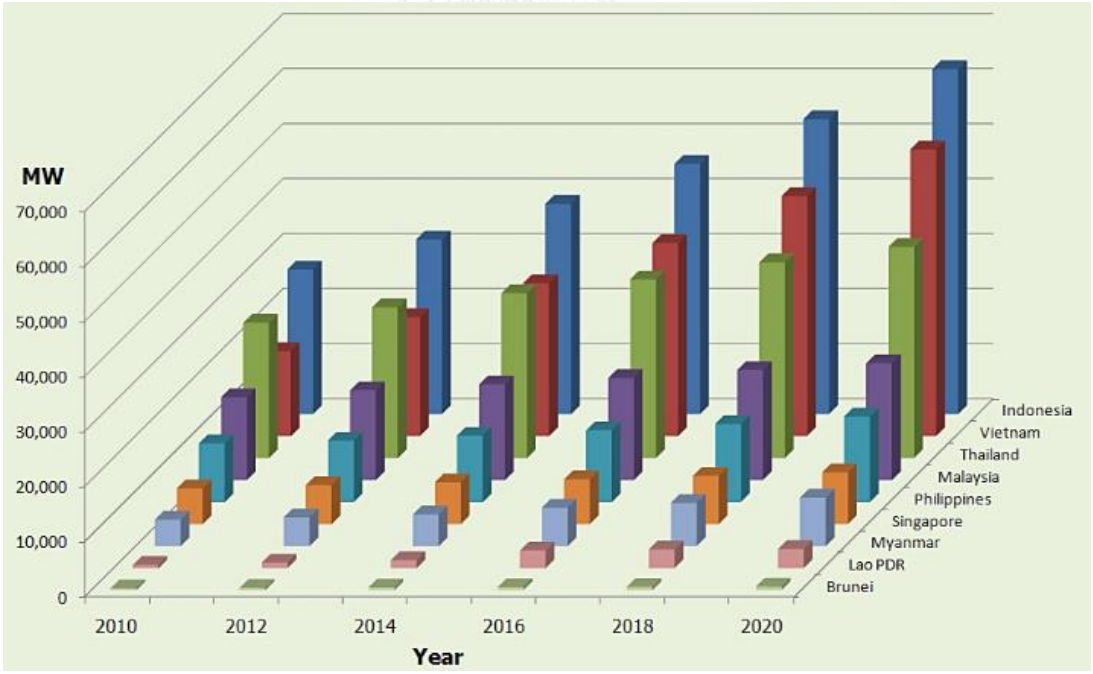
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถนำมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบพลังงานต่างๆได้ อาทิเช่น แสงสว่าง เสียง ความร้อน พลังงานกล เป็นต้น ทั้งยังสามารถส่งถ่ายพลังงานไปในระยะทางไกลได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ปัจจุบันไฟฟ้าได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิตและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยและประเทศต่างๆ ส่งผลให้ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีปริมาณจากอดีตจนถึงปัจจุบัน และมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต ดังภาพประกอบที่ 1

ภาพประกอบที่ 1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศในแถบอาเซียนในอนาคต

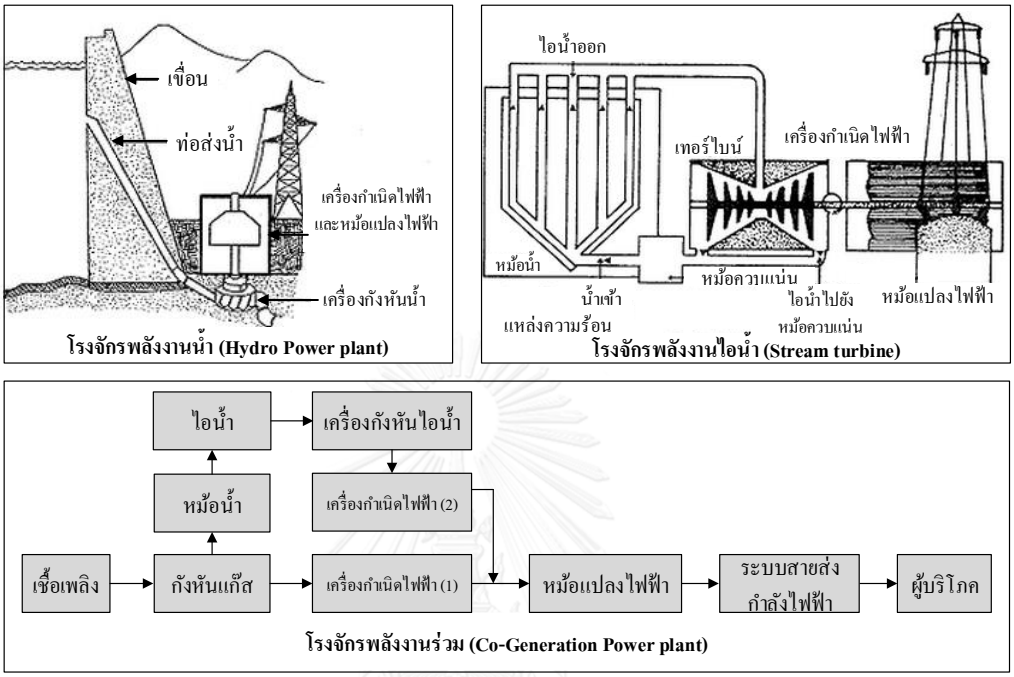


ที่มา: ASEAN Power Grid, 2015

แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยที่สำคัญนั้นสร้างขึ้นจากแหล่งพลังงานต่างๆ อาทิเช่น โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydro power plant), โรงจักรพลังงานไอน้ำ (Stream turbine) และโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม (Co-Generation) ดังภาพประกอบที่ 2 ดังนั้นหลังจากที่โรงไฟฟ้าจากแหล่ง

พลังงานต่างๆสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบได้ระยะไกลๆไปยังผู้บริโภค อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นคือ “หม้อแปลงไฟฟ้า”

ภาพประกอบที่ 2 รูปแบบแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญของประเทศไทย



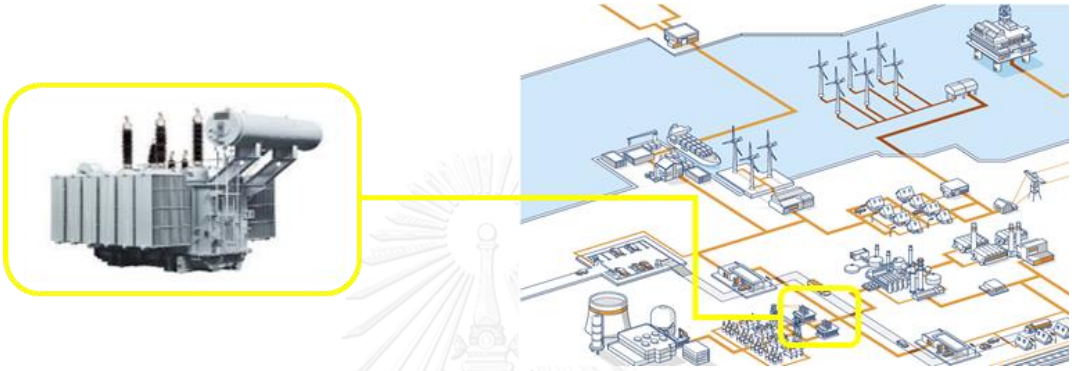
ดัดแปลงมาจากที่มา: http://dnfe5.nfe.go.th/ilp/electric/Elec-2.htm

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังคือ เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถเปลี่ยนระดับของแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ให้เพิ่มขึ้นเรียกว่า Step up Transformer และให้ลดลงเรียกว่า Step down Transformer แต่ไม่เปลี่ยนขนาดของกำลังไฟฟ้า (Power/Watt) และความถี่ (Frequency/Hz)

นอกจากนี้หม้อแปลงไฟฟ้าจัดเป็นสินค้ากึ่งสาธารณูปโภคชนิดหนึ่งที่ขยายตัวตามสภาวะเศรษฐกิจ กล่าวคือ เมื่อเศรษฐกิจเกิดการขยายตัว ก็จะส่งผลให้หน่วยงานของภาครัฐต้องเร่งเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น กระบวนการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังแหล่งชุมชนหรือแหล่งใช้ไฟฟ้าต่างๆ จึงต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการแปลงแรงดันและกระแสไฟฟ้าทั้งจากแรงดันไฟฟ้าต่ำขึ้นสูงหรือจากสูงลงต่ำ จึงนับว่ามีบทบาทสำคัญและมีความสัมพันธ์ทางตรงต่อการขยายตัวของการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้ามีพิกัดการใช้งานในการรับกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า ณ ปริมาณระดับหนึ่ง ด้วยเหตุนี้เมื่อมีการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าก็จำเป็นต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อให้มีพิกัดในการใช้งานเพียงพอ ประมาณว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดทุก 1

กิโลวัตต์ จะต้องใช้กำลังหม้อแปลงไฟฟ้าที่ติดตั้งบริเวณลานไกไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่ายและเสาไฟฟ้าตามท้องถนน (ทั้งหม้อแปลงไฟฟ้าระบบกำลังและหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายรวมกัน) เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังผู้บริโภครายย่อยถึง 10 กิโลโวลต์แอมแปร์ (kVA) หรือประมาณ 10 เท่าของกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิด ดังภาพประกอบที่ 3 แสดงกระบวนการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังผู้บริโภค

ภาพประกอบที่ 3 กระบวนการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังผู้บริโภค



ดัดแปลงมาจาก: รูปภาพในเว็บไซต์ของบริษัทกรณีศึกษา

ในปัจจุบันธุรกิจหม้อแปลงไฟฟ้ามีการแข่งขันค่อนข้างสูง ผู้ผลิตแต่ละรายมีการพัฒนาเทคโนโลยี วางแผนกลยุทธ์ทางการตลาด ให้ความสำคัญกับการลดต้นทุนการผลิต และการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงจากในอดีต เกี่ยวกับระยะเวลาในการสั่งซื้อ ซึ่งในปัจจุบันระยะเวลาในการสั่งซื้อของลูกค้าสั้นลงมาก ดังนั้นระยะเวลาในการผลิตจึงเป็นอีกปัจจัยในการตัดสินใจเลือกสินค้าของผู้ผลิต ส่งผลให้ผู้ผลิตหันมาให้ความสำคัญในการวางกลยุทธ์ของการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและความสามารถเพื่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้า

โรงงานกรณีศึกษาก็เช่นกัน นอกจากมุ่งเน้นพัฒนาด้านเทคโนโลยีเพื่อให้ล้ำหน้าคู่แข่งทางการค้าแล้ว ยังให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพทางการผลิต โดยใช้เครื่องมือต่างๆ เข้ามาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและวิธีการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต โดยจากการศึกษาเวลาและการศึกษางานในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า โรงงานกรณีศึกษาพบว่า มีกระบวนการที่มีข้อจำกัดคือ กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง (Vapor Phase) โรงงานกรณีศึกษาจึงวางแผนระบบการผลิตโดยใช้กระบวนการดังกล่าวเป็นตัวควบคุมการผลิต อีกทั้งโรงงานกรณีศึกษายังมุ่งหาวิธีในการเพิ่มความสามารถให้กับกระบวนการนี้ เพื่อให้กระบวนการทำงานมีข้อจำกัดน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ

นโยบายของโรงงานหลักในต่างประเทศที่มีความต้องการเปลี่ยนเตาอบดังกล่าวใหม่ จึงมีความประสงค์ส่งต่อเตาอบดังกล่าวให้กับโรงงานที่เมืองไทยเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในกระบวนการผลิต

จากการนำเตาอบดังกล่าวเข้ามาเพิ่มขีดความสามารถในกระบวนการผลิต ทางโรงงานกรณีศึกษาจึงต้องการทราบว่าจะได้รับผลกระทบอย่างไรต่อกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพในการทำงาน รวมถึงการเพิ่มขีดความสามารถให้กับกระบวนกดังกล่าวมีความคุ้มค่าในการลงทุนอย่างไร

1.2 คำถามของงานวิจัย

การติดตั้งสถานีงานเพิ่มเติมในกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดของการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้อย่างไร และมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังและประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดของระบบการผลิต
2. เพื่อวิเคราะห์ระยะเวลารอคอยในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
3. เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และผลตอบแทนภายใน

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

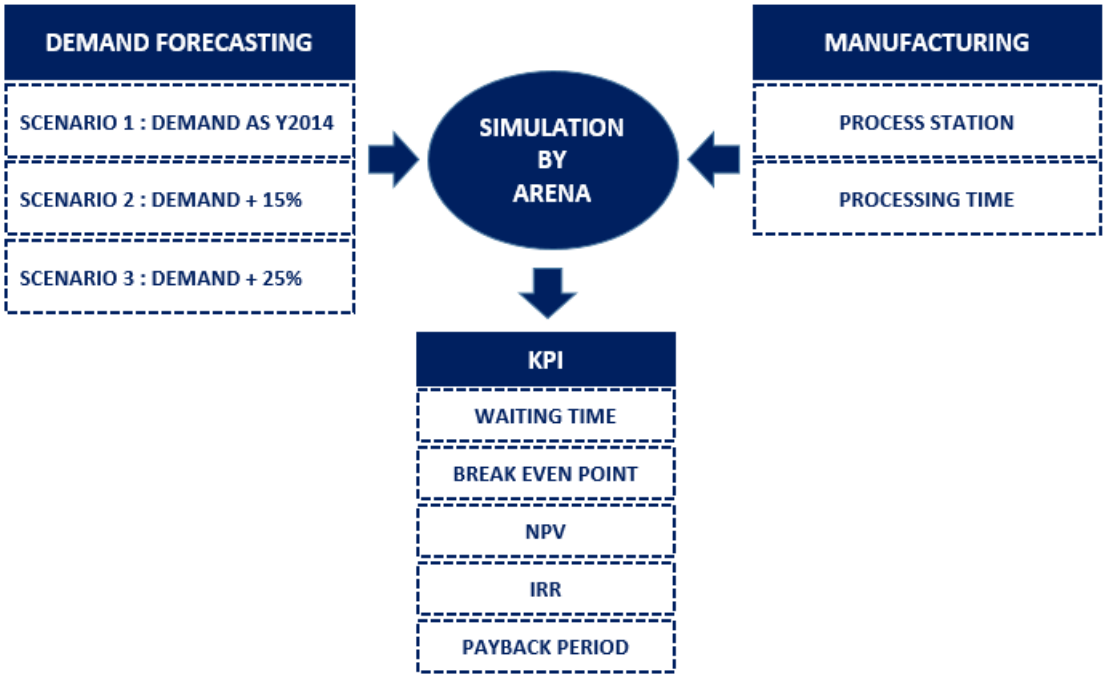
1. การศึกษาครั้งนี้จะเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเท่านั้น
2. ศึกษาขั้นตอนการทำงานและเวลาการทำงานจากข้อมูลการผลิตปี 2557
3. การศึกษาครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการที่สอดคล้องกับเศรษฐกิจในอนาคต โดยแยกสถานการณ์เป็น 3 รูปแบบ
   3.1. สถานการณ์ที่ลูกค้ามีความต้องการเท่ากับปี 2557
   3.2. สถานการณ์ที่ลูกค้ามีความต้องการเพิ่มขึ้น 15% ตามเป้าหมายของโรงงาน
   3.3. สถานการณ์ที่ลูกค้ามีความต้องการเพิ่มขึ้น 25% ตามอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP)
4. ดัชนีชี้วัดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความต้องการในอนาคตประกอบด้วย
   4.1 ระยะเวลาการรอคอย (Waiting Time)
   4.2 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)
   4.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)
   4.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)
   4.5 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยสรุปดังต่อไปนี้

1. ในส่วนของกระบวนการผลิต ทำการศึกษากระบวนการผลิตในรูปแบบปัจจุบัน และศึกษากระบวนการผลิตเมื่อเพิ่มกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงเป็น 2 สถานี
2. ในส่วนของการพยากรณ์ความต้องการของตลาด ทำการสัมภาษณ์นโยบายด้านยอดขายกับผู้บริหาร แล้วนำมากำหนดเป็น 1 สถานการณ์ในการทำวิจัย อีกทั้งทำการศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศของกลุ่มลูกค้า โดยวิเคราะห์อัตราการขยายตัวแล้วนำมากำหนดเป็น 1 สถานการณ์ในการทำวิจัย และในอีกมุมมองใช้ความต้องการเดิมของลูกค้าในปี 2557 มากำหนดเป็นอีก 1 สถานการณ์ในการทำวิจัย
3. ทำการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตตามสถานการณ์ที่กำหนดขึ้น
4. วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ต่างๆ ภายใต้ตัวชี้วัดที่กำหนด
5. สรุปรูปแบบการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดในกระบวนการผลิต

โดยขั้นตอนการดำเนินงานมีองค์ประกอบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นดังด้านล่าง

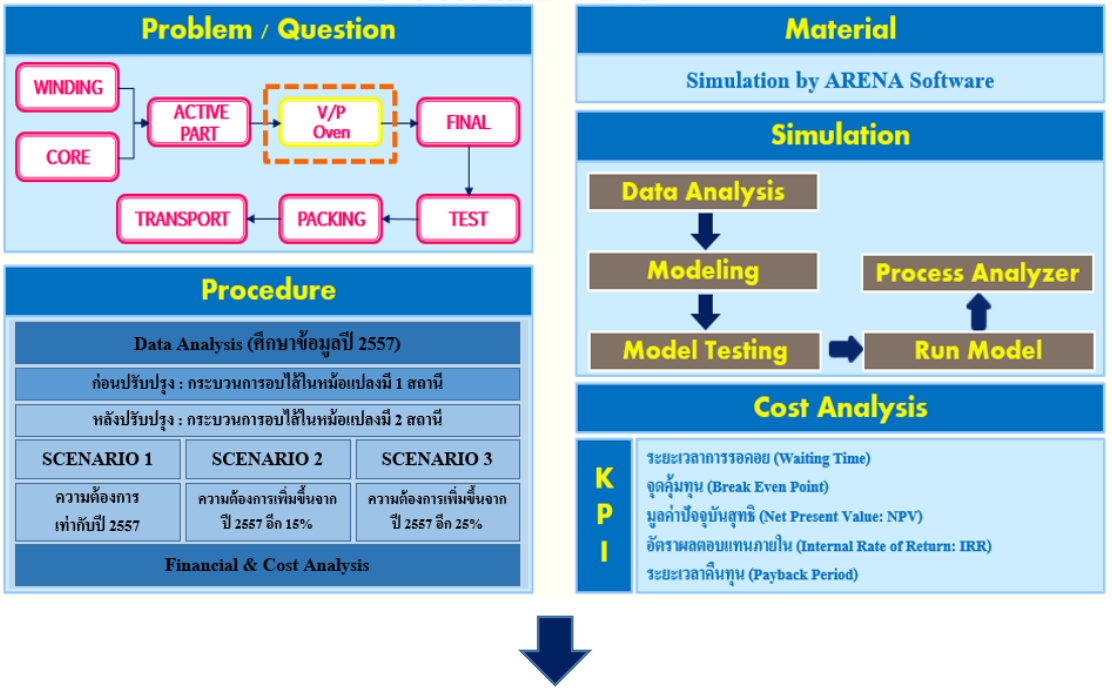


1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพในการทำงาน
2. ทราบถึงระยะเวลาการรอคอยในสถานการณ์ต่างๆ
3. ได้ทราบเพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และผลตอบแทนภายในสำหรับการลงทุนในสถานการณ์ต่างๆ
4. ได้รูปแบบการการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม
5. สามารถนำข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับผลกระทบในกระบวนการผลิต และผลกระทบทางการเงินในสถานการณ์ต่างๆ มาวางแผนธุรกิจ

1.7 โครงร่างงานวิจัย

ผู้วิจัยได้โครงร่างงานวิจัยดังขั้นตอนและองค์ประกอบด้านล่าง



Frame work for Financial Analysis with Simulation Program (ARENA)

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่องการจำลองสถานการณ์ในกระบวนการผลิตกรณีศึกษา โรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ได้มีการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้นำเสนอทฤษฎี แนวคิด เอกสารวิชาการ ทั้งในและต่างประเทศที่ได้ศึกษาแบ่งออกได้ดังนี้

2.1 ทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraint)

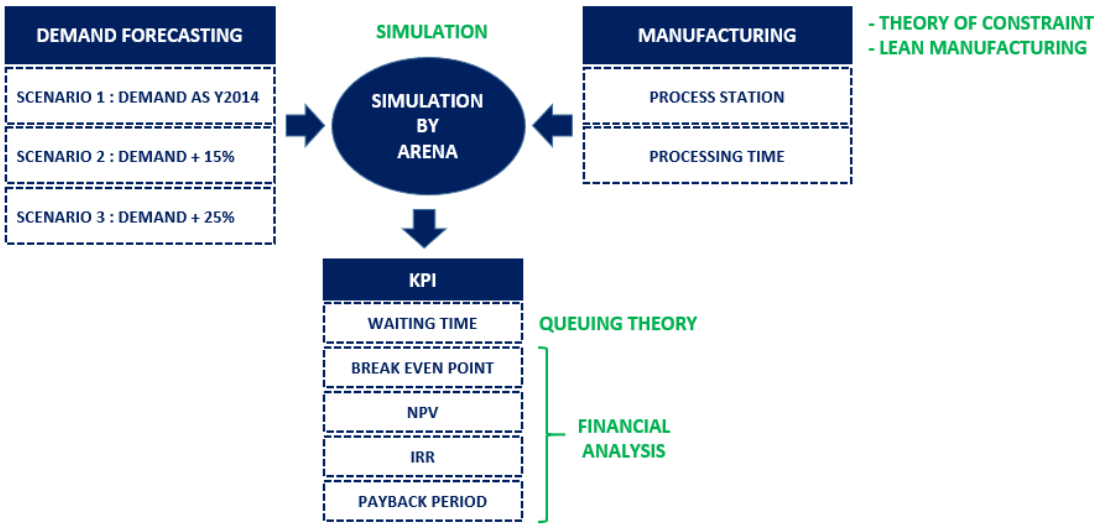
2.2 ทฤษฎีแถวคอย (Waiting Line Theory)

2.3 การผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing)

2.4 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีน่า (ARENA)

2.5 การวัดผลทางด้านการเงิน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



2.1 ทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraint)

2.1.1 ประวัติของทฤษฎีข้อจำกัด

Goldratt (1979) ได้ค้นพบกระบวนการคิดในการแก้ปัญหาและการตัดสินใจในกระบวนการผลิตที่เรียกว่า Optimal Production Technology และในปีเดียวกันทฤษฎีนี้ได้ถูกนำเสนอในประเทศอเมริกา ทำให้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ถูกนำไปประกอบการสอนในหลักสูตรบริหารจัดการ (MBA) ในหลายมหาวิทยาลัย เช่น University of Colorado

Goldratt & Fox (1984) ได้นำทฤษฎีดังกล่าวไปตีพิมพ์ครั้งแรกลงในหนังสือชื่อ The Goal โดยหนังสือถูกเขียนในรูปแบบของนวนิยายการจัดการ อธิบายถึงปรัชญาที่ใช้ในการจัดการโดย ใช้เหตุผลในการพิสูจน์ เพื่อใช้ในการจัดการความขัดแย้งในการทำงานของการตลาด บัญชี และฝ่ายผลิต ที่มุ่งเน้นในการแก้ปัญหาในจุดที่เป็นข้อจำกัดของระบบ (Constraints) และตั้งชื่อปรัชญานี้ว่า OPT Thoughtware

จากนั้น OPT Thoughtware ถูกนำไปใช้ แต่พบว่ามีความสับสนกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ OPT จึงมีการเปลี่ยน ชื่อเป็น Synchronous Production แต่กลับไปซ้ำซ้อนกับวิธีการจัดการการผลิตแบบอื่น จนในที่สุดระบบก็เปลี่ยนชื่อมาเป็น Theory of Constrains (TOC) และถูกใช้มาจนถึงปัจจุบัน หลังจากนั้นได้มีการเพิ่มเติมและต่อยอดโดยมีผู้นำ ปรัชญาของ TOC ไปใช้กับเรื่องต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของ Logistics, Product Design, TQM, Process Thinking, Project Management โดยแบ่งแต่ละเรื่องไป เช่น ในหนังสือ The Goal จะเป็นการอธิบายถึง หลักการของ TOC หนังสือชื่อ It's Not Luck โดยอธิบายเรื่องการนำระบบ TOC มาประยุกต์ใช้กับ Process Thinking ในหนังสือชื่อ The Haystack Syndrome ได้อธิบายเรื่องวิธีการคิดในเรื่องการคิด ประสิทธิภาพตามวิธี TOC และในหนังสือชื่อ The Race อธิบายถึงการวางแผนการผลิตที่พิจารณาที่ข้อจำกัด

2.1.2 ลักษณะของข้อจำกัด

การชี้ที่จุดที่เป็นข้อจำกัดของระบบ (Constraints) เนื่องจากข้อจำกัดจะเป็นตัวที่กำหนดความสามารถ ในการสร้างการทำงานที่มีขึ้นได้ของระบบ ข้อจำกัดจะอยู่ในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นพฤติกรรม การบริหาร ความสามารถในการผลิต การตลาด การวางแผนการผลิตและควบคุมระบบ ซึ่งแต่ละอย่างก็จะมีผลต่อการทำงานของบริษัท

พฤติกรรมบางอย่างไม่ว่าจะเป็นการทำหรือไม่ทำ แต่ละอย่างจะมีผลจากการอบรม การศึกษา ระบบการวัดผล ประสบการณ์ ทัศนคติและความคิดเห็นของบุคคล ซึ่งพฤติกรรมหนึ่งที่ยากที่สุดในการเปลี่ยนแปลงคือ แนวความคิดที่มีต่อการผลิต ที่ให้แต่ละทรัพยากร ไม่ว่าจะเป็นคนหรือเครื่องจักรมีการทำงานอยู่ตลอดเวลา เพื่อไม่ให้เกิดการว่างงาน ซึ่งความจริงแล้วการทำงานที่ไม่จำเป็นนั้นจะเป็นการสูญเสียกับบริษัทมากกว่าที่จะได้เป็นประโยชน์

การบริหารและการให้นโยบายที่ผิดพลาดที่ต้องการให้ทรัพยากรในแต่ละส่วนทำงานอย่างเต็มที่ (Utilization) นั้น ส่งผลให้ผลิตสินค้าเข้าสู่ตลาดมากเกินไป และเกิดค่าใช้จ่ายที่สูงเกินความจำเป็น

ความสามารถในการผลิตของโรงงานไม่สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดได้ Capacity Constraints สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งกับ คนงาน เครื่องจักร หรืออะไรที่จะทำการขัดขวางการเพิ่ม throughput ของระบบ

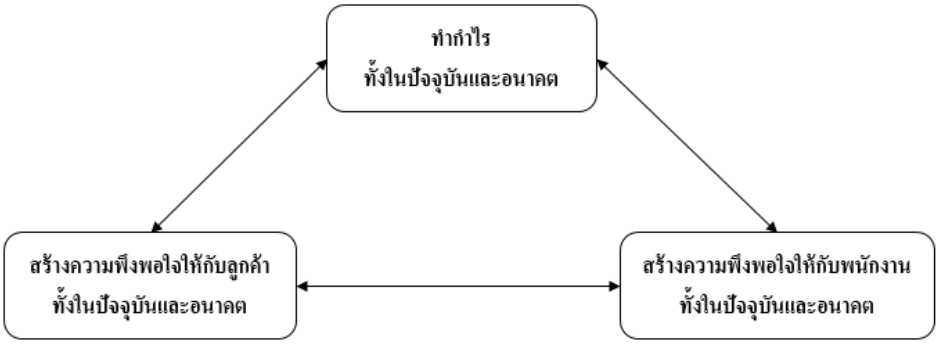
บางครั้งข้อจำกัดที่สำคัญที่สุดอาจจะเกิดขึ้นจากการตลาด การตลาดที่เป็นส่วนที่ ควบคุมชนิดของสินค้า ราคา ระยะเวลาในการส่งสินค้า จำนวน และคุณภาพของสินค้าและการบริการ ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิด throughput เมื่อใดที่ตลาดมีความต้องการสินค้าน้อยกว่าความสามารถในการผลิต Market Constraints ก็จะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม market constraints เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น ความสามารถของฝ่ายขาย นโยบายของรัฐ สาเหตุหลักมักมาจากนโยบายการจัดการของโรงงาน

หลายครั้งมีปัญหาต่างๆก็เกิดขึ้นจากการวางแผนการผลิตและการควบคุมระบบ ภายในโรงงาน การวางแผนความต้องการวัตถุดิบ (MRP) มีความบกพร่องเรื่องของการตอบสนอง ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงแผนการผลิต ทำให้เกิดปัญหาในการสั่งซื้อวัตถุดิบ

2.1.3 หลักการและทฤษฎีข้อจำกัด

หลักการและทฤษฎีของ TOC คือ การค้นหาจุดที่เป็นข้อจำกัดของระบบ แล้วหาวิธีการปรับปรุงและขยายจุดนั้นเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหา โดยการหาวิธีการแก้ปัญหาก็เป็นไปตามลักษณะของปัญหา เป้าหมายหลักของ TOC คือ การสร้างกำไรให้มากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคตนั้นคือ การที่นำวิธีการของ TOC มาใช้สนับสนุนผลผลิตให้สูงสุด–การที่จะสร้างกำไรให้มากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคตได้นั้นจะต้องมีการดำเนินที่ สอดคล้องกันอีก 2 อย่าง คือ การสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าทั้งในปัจจุบันและอนาคต และการสร้างความพอใจให้กับพนักงานในการทำงานทั้งในปัจจุบันและในอนาคต เพื่อที่จะดำรงการสร้างกำไรทั้งในปัจจุบันและในอนาคต ดังภาพประกอบที่ 4

ภาพประกอบที่ 4 เป้าหมายขององค์กร



ที่มา: Goldratt & Fox, 1984

เมื่อมีการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงาน ก็จะต้องมีตัววัดประสิทธิภาพของการดำเนินการที่ เหมาะสม ตัววัดประสิทธิภาพที่ดีจะต้องสามารถวัดการทำงานร่วมกันของทุกกระบวนการผลิต เพื่อให้บรรลุเป้าหมายขององค์กร โดยการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของระบบนั้น ไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพที่จำกัดอยู่ในวง เช่น ประโยชน์สูงสุดของเครื่องจักรหรือประสิทธิภาพสูงสุดของแรงงาน กล่าวสรุปก็คือ ให้มองเป็นเป้าหมายขององค์กรเป็นหลัก

2.1.4 การวัดประสิทธิภาพขององค์กร

การวัดประสิทธิภาพขององค์กรตามวิธีของ TOC มีการวัด 2 อย่างที่ใช้ คือ การวัดประสิทธิภาพทางการเงินและการวัดประสิทธิภาพในการทำงาน

2.1.4.1 การวัดประสิทธิภาพทางการเงิน

การวัดประสิทธิภาพทางการเงินขององค์กร สามารถวัดได้จาก

1. กำไรสุทธิ (Net Profit)

2. อัตราการคืนทุน (Return on Investment)

3. งบกระแสเงินสด (Cash Flow)

โดยทั้ง 3 ค่าจะเป็นตัวแสดงทางการเงินของบริษัท เพื่อที่บอกผลประกอบการในรูปของการเงิน

2.1.4.2 การวัดประสิทธิภาพการดำเนินงาน

การดำเนินงานในระบบจะมีการวัดค่าในแต่ละจุดที่ต่างกัน TOC จะเข้ามาช่วยในการจัดการความขัดแย้งที่เกิดขึ้นระหว่างแผนกงานการตลาด แผนกบัญชีการเงิน และแผนกผลิตภายในองค์กร โดย เปลี่ยนจากการวัดประสิทธิภาพของแต่ละแผนกเป็นการวัดประสิทธิภาพการดำเนินการรวมของระบบ โดยมีตัววัดค่า 3 อย่าง ดังนี้

1. Throughput คือ อัตราการผลิตสินค้าสำเร็จรูปที่ส่งมอบให้กับลูกค้า

2. Inventory คือ จำนวนเงินที่ลงทุนในระบบในการจัดซื้อสิ่งของเพื่อใช้ในการขาย

3. Operating expenses คือ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนพัสดุคงคลัง (Inventory) ไปเป็น Throughput

Throughput จะอยู่ในรูปแบบของการขาย Inventory ซึ่งประกอบด้วยงานระหว่างผลิต (Work in Process) สินค้าสำเร็จรูป (Finish Goods) และ วัตถุดิบ (Raw Material) และยังประกอบด้วยเครื่องมือ สิ่งก่อสร้าง อุปกรณ์และเครื่องใช้ต่างๆในโรงงาน Operating Expense หรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินการนั้น ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายของแรงงานทางตรง แรงงานทางอ้อม การจัดซื้อ การส่งงานไปทำข้างนอก และการจ่ายดอกเบี้ย

จุดมุ่งหมายในการดำเนินงานขององค์กร คือ เพิ่ม Throughput ในขณะที่พยายามลดของคงเหลือ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

แนวความคิดของทฤษฎีข้อจำกัดนั้น ระบุว่า การทำให้กำลังการผลิตมีอัตราเท่ากันเป็นความคิดที่ผิด เนื่องจากการปรับสมดุลการผลิตใช้สำหรับกรณีที่เวลาในการผลิตของทุกสถานีการผลิตมีค่าคงที่หรือมีความแปรปรวนน้อยเท่านั้น โดยที่เวลาในกระบวนการผลิตนั้น หากสถานีลำดับถัดไปมีการว่างงาน แสดงว่าสถานีลำดับก่อนหน้านั้นใช้เวลามาก แต่ในทางกลับกันหากสถานีก่อนหน้าใช้เวลาน้อยก็จะเกิดของคงเหลือหรือสินค้าคงคลังในระหว่างสถานีการผลิต ซึ่งผลจากสถานการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาไปเรื่อยๆ เนื่องจากวิธีการแก้ปัญหาของกระบวนการผลิตอาจจะเป็นการเพิ่มสินค้าคงคลัง แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบการผลิตที่ดีควรลดสินค้าคงคลัง หรือเพิ่มกำลังการผลิตในแต่ละสถานีการผลิต โดยไม่ควรจะปรับสมดุลการผลิตให้อยู่ในระดับเดียวกัน แต่สิ่งที่ควรทำคือ ควรจะทำให้การไหลของผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งระบบเกิดความสมดุล

2.1.5 การจัดการความไม่สมดุลของระบบ

ในระบบต่างๆจะสามารถเกิดความไม่สมดุลที่จะเป็นผลให้การทำงานของระบบมีความคลาดเคลื่อนออกไป ระบบที่ดีจะต้องมีความสมดุล ซึ่งความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นมาจาก 2 สาเหตุคือ

1. เหตุการณ์ตาม หรือ Dependent Event หมายถึง ลำดับการผลิตของกระบวนการผลิต ถ้าการไหลของกระบวนการจาก A ไป B ไปที่ C และไปที่ D โดยแต่ละกระบวนการจะต้องมีการเสร็จสมบูรณ์ก่อนที่จะส่งผ่านให้กับขั้นตอนถัดไป ดังนั้น B,C และ D คือ เหตุการณ์ตามนั้นคือ กิจกรรมที่จะทำกับกระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับกระบวนการก่อนหน้านั้น

2. ความแปรปรวนทางสถิติ หรือ Statistical Fluctuation หมายถึง ความแปรปรวนแบบปกติที่เกิดมาจากค่าเฉลี่ยหรือค่าประมาณ (X - bar) โดยหากเกิดขึ้นในการผลิตที่ลำดับการผลิตต้องขึ้นกับผลิตภัณฑ์อื่นนั้น และปราศจากของคงเหลือระหว่างแต่ละสถานีงาน นั้นคือจะไม่มีโอกาสที่จะเพิ่ม output โดยเฉลี่ย และเมื่อกระบวนการหนึ่งใช้เวลามากกว่าเวลาเฉลี่ย กระบวนการต่อไปจะไม่สามารถเป็นไปตามเวลาได้

2.1.6 การวางแผนและควบคุมการผลิตโดยใช้ TOC

การวางแผนและควบคุมการผลิตโดย TOC จะต้องเข้าใจในปรัชญาของ OPT โดยกฎของ OPT มีอยู่ด้วยกัน 9 ข้อ

1. การจัดสมดุลของการไหลไม่ใช่สมดุลของศักยภาพในการผลิต

2. ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรของบริเวณที่ไม่ได้เป็นคอขวด ไม่ได้ถูกกำหนดโดยตัวเอง แต่ถูกกำหนดโดยข้อจำกัดบางอย่างในระบบ

3. ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรกับการใช้ทรัพยากรให้เต็มที่มีความหมายที่ต่างกัน

4. จำนวนชั่วโมงที่สูญเสียไปเนื่องจากคอขวด คือ จำนวนที่สูญเสียโดยรวมของระบบทั้งหมด

5. จำนวนชั่วโมงที่ประหยัดลงได้ในจุดที่ไม่ได้เป็นคอขวดเป็นเพียงภาพลวงตา

6. คอขวดมีส่วนในการกำหนดปริมาณของผลผลิตและวัสดุคงคลังในระบบ

7. ขนาดการผลิตแต่ละครั้งที่ส่งต่ออาจจะไม่และส่วนใหญ่ไม่ควรที่จะเท่ากับแบทผลิต

8. ขนาดการผลิตควรปรับเปลี่ยนได้ ไม่ควรที่จะระบุคงที่

9. ตารางการผลิต ควรจัดทำโดยการคำนึงถึง ข้อจำกัดต่างๆไปพร้อมกัน ช่วงเวลานำเป็นผลจากการสร้างตารางการผลิต และไม่สามารถกำหนดล่วงหน้า

2.1.7 กระบวนการ 5 ขั้นตอน (Five - step Process)

เป็นเครื่องมือที่นำหลักปรัชญาของ TOC มาใช้ในการค้นหาและแก้ไขจุดที่เป็น คอขวดหรือข้อจำกัดที่ เกิดขึ้นกับกระบวนการแล้วทำการหาวิธีการแก้ปัญหาในจุดนั้นๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดการค้นหาจุดที่เป็นปัญหาข้อจำกัด (Constraints) หรือ จุดคอขวด (Bottleneck) ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 การตัดสินใจเลือกวิธีการในการใช้ประโยชน์จากจุดที่เป็นข้อจำกัดของระบบที่มีอยู่อย่างเต็มที่โดยดูผลการทำงานของระบบ

ขั้นตอนที่ 3 จัดการทุกอย่างและหาวิธีการเพื่อสนับสนุนการทำงานของจุดที่เป็นข้อจำกัดเพื่อให้การแก้ไขข้อจำกัดให้ลดลง เช่น อาจยอมให้มีการว่างงานเกิดขึ้นในกระบวนการข้างหน้า เมื่อส่วนของจุดที่เป็นข้อจำกัดเต็ม และเพื่อไม่ให้เกิดงานระหว่างผลิตมากเกินไป

ขั้นตอนที่ 4 พยายามลดข้อจำกัดลง อาจมีหลายวิธี เช่น เลือกเครื่องมือในการแก้ปัญหา การเพิ่มคนงาน ทำงานล่วงเวลา เพิ่มเครื่องจักร ลงทุนเพิ่ม จ้างผู้รับเหมา

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อข้อจำกัดมีแนวโน้มลดลงให้กลับไปทำที่ขั้นตอนที่ 1 เพื่อหาข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้น

จากการศึกษาทฤษฎีข้อจำกัดจะพบว่ากระบวนการที่เป็นข้อจำกัดหรือคอขวดในระบบนั้นเกิดจากการที่มีปริมาณงานมากกว่าทรัพยากรหรือเครื่องจักร ส่งผลต่อการไหลของงานในระบบ ซึ่งเหตุการณ์นี้ทำให้เกิดการรอคอย หรือแถวคอยในระบบ ซึ่งจะทำการศึกษาเป็นลำดับต่อไป

2.2 ทฤษฎีแถวคอย (Waiting Line Theory)

วินัย พุทธกูล (2551) ได้ให้คำอธิบายอย่างง่ายในเชิงเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับทฤษฎีแถวคอยไว้ว่า แถวคอยเกิดขึ้นเพราะมีจำนวนผู้ต้องการใช้หรือขอรับบริการมากกว่าจำนวนทรัพยากรหรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอยู่จำกัด

2.2.1 วัตถุประสงค์และต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับแถวคอย

เมื่อเกิดแถวคอยขึ้นจะส่งผลให้เกิดต้นทุน 2 ประเภท คือ

1. ต้นทุนของเวลาที่คอย (Cost of waiting time) เกิดกับลูกค้าหรือผู้ต้องการรับบริการ ในรูปของค่าเสียโอกาสของเวลาที่ใช้ในการรอคอยและค่าความไม่สะดวกที่ต้องรอคอย

2. ต้นทุนของการให้บริการ (Cost of providing service) เกิดกับผู้ให้บริการ ในรูปของค่าการลงทุนต่างๆ เช่น เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ ค่าจ้าง เงินเดือน เป็นต้น

ดังนั้นต้นทุนรวมของแถวคอย (Total waiting line cost) คือ ผลรวมของต้นทุนของเวลาคอยกับต้นทุนของการให้บริการ โดยการประยุกต์แนวคิดของทฤษฎีแถวคอยเพื่อประโยชน์ของการจัดการธุรกิจ มีเป้าหมายเพื่อทำให้ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมของแถวคอยมีค่าน้อยที่สุด โดยความสัมพันธ์ของต้นทุนการให้บริการและต้นทุนของเวลารอคอย เปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงข้าม คือ เมื่อระดับการให้บริการสูงขึ้น ต้นทุนของการรอคอยจะลดลง

2.2.2 องค์ประกอบและลักษณะของแถวคอย

ระบบแถวคอยประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วนได้แก่

1. ผู้มารับบริการ (arrivals) หรือ ประชากรผู้รับบริการ (calling population) ซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้าของระบบ มีลักษณะสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 ประการ

- ขนาดของผู้มารับบริการ (size of calling population) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ มีจำนวนมากจนนับไม่ถ้วน (infinite) และมีจำนวนไม่มากสามารถนับถ้วนได้ (finite)

- แบบแผนการมาของผู้มารับบริการ (pattern of arrivals) หมายถึง ลักษณะการมาถึงหน่วยให้บริการของผู้รับบริการว่ามีลักษณะอย่างไร ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ มีแบบแผน (organized pattern of known schedule) และไม่มีแบบแผนหรือเข้ามาโดยสุ่ม (random order) อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์แถวคอยส่วนใหญ่ มักกำหนดให้แบบแผนการมารับบริการเป็นแบบสุ่ม โดยกำหนดให้มีจำนวนผู้มารับบริการต่อหน่วยเวลามีการกระจายแบบปัวส์ซง (Poisson distribution) ซึ่งเป็นแบบแผนการกระจายความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่องแบบหนึ่ง พารามิเตอร์ของการกระจายความน่าจะเป็นจะเป็นแบบนี้คือ อัตราเฉลี่ยของการมาถึงหน่วยให้บริการต่อหน่วยเวลา (average arrival rate) หรือ λ โดยคำนวณจากสมการที่ 1

สมการ 1 สมการคำนวณความน่าจะเป็นสำหรับจำนวนการมาถึงหน่วยบริการ X หน่วยนับต่อหน่วยเวลา

$$P(X) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{X!} \quad \text{สำหรับ } X = 0, 1, 2,... \quad \text{---------- (1)}$$

โดยที่

X = จำนวนของผู้มาถึงหน่วยบริการต่อหน่วยเวลา

$P(X)$ = ความน่าจะเป็นที่มีจำนวนผู้มารับบริการจำนวน X ต่อหน่วยเวลา

λ = จำนวนโดยเฉลี่ยของการมาถึงต่อหน่วยเวลา

e = จำนวนธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 2.7183 โดยประมาณ

- พฤติกรรมของผู้มารับบริการ (behavior of the arrivals) ประชากรผู้มารับบริการแต่ละรายมีนิสัยและทัศนคติส่วนตัวต่อการเข้าแถวคอยแตกต่างกัน ในการวิเคราะห์แถวคอยได้มีการกำหนดรูปแบบพฤติกรรมของผู้เข้าแถวคอยเป็น 3 ลักษณะได้แก่ Reneging คือเข้าแถวคอยในตอนแรกแต่ล้มเลิกความตั้งใจในภายหลัง, Balking คือไม่ร่วมแถวคอยเลยตั้งแต่แรก และ Jockeying คือสลับแถวไปมาเพื่อหวังได้รับบริการเร็วที่สุด ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นได้เมื่อมีแถวคอยหลายแถว

2. แถวคอย (waiting line) หรือคิว (the queue) สามารถแบ่งลักษณะของแถวคอยเป็น 2 ลักษณะตามความยาวของแถว คือ ความยาวมีความจำกัด (limited length) ได้แก่ กรณีพื้นที่สำหรับเข้าแถวคอยมีจำกัด ส่วนแถวคอยอีกลักษณะหนึ่งคือความยาวของแถวไม่จำกัด (unlimited length) ซึ่งมักกำหนดให้เป็นเงื่อนไขการวิเคราะห์ปัญหาแถวคอยส่วนใหญ่

3. ส่วนให้บริการ (service facility) มีลักษณะสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 เรื่อง ประกอบด้วย

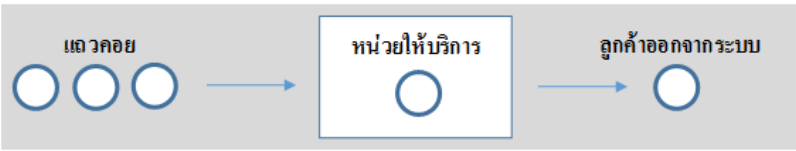
- รูปแบบของระบบให้บริการ (configurations of queuing system) หลักเกณฑ์ในการจำแนกรูปแบบให้บริการคือ จำนวนช่องทาง หรือจำนวนผู้ให้บริการ (number of channels or servers) และจำนวนชนิดของบริการ (number of phases)

เมื่อพิจารณาโดยคำนึงถึงช่องทางให้บริการเพียงลักษณะเดียว เราสามารถแบ่งระบบให้บริการได้เป็น 2 ประเภทคือ ระบบช่องทางเดียว (single-channel system) เช่น แถวคอยตู้เอทีเอ็มที่มีเพียงตู้เดียว และระบบหลายช่องทาง (multi-channel system) เช่นระบบการให้บริการของธนาคารที่มีพนักงานให้บริการหลายคน

นอกจากนี้ในปี 2545 กัลยา วานิชย์บัญชา ได้สรุปเกี่ยวกับรูปแบบของลักษณะการจัดหน่วยให้บริการไว้ดังนี้

1. ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการ 1 บริการ จำนวนแถวคอยมี 1 แถว และมีหน่วยให้บริการเดียว (Single channel - Single Phase System)

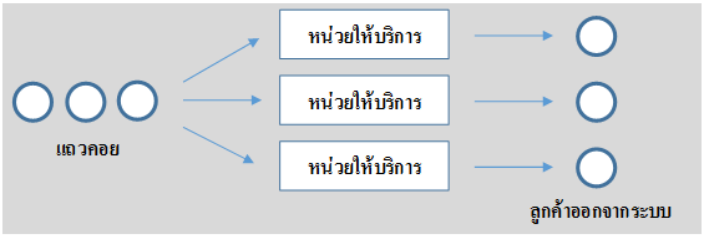
ภาพประกอบที่ 5 ระบบแถวคอยที่มีผู้ให้บริการ 1 หน่วย



ที่มา: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545

2. ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการ 1 บริการ จำนวนแถวคอยมี 1 แถว แต่มีหน่วยให้บริการหลายหน่วย ที่ทำหน้าที่เหมือนกัน (Multichannel and Single Phase System)

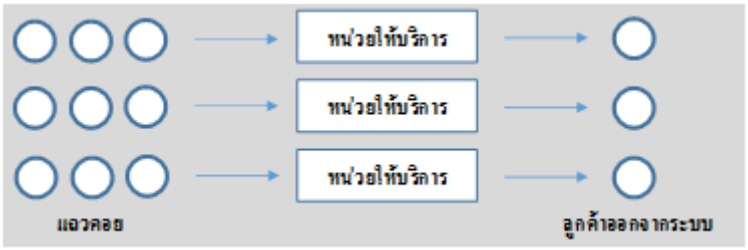
ภาพประกอบที่ 6 ระบบแถวคอยที่มีแถวคอย 1 แถว
แต่มีจำนวนหน่วยให้บริการมากกว่า 1 หน่วย



ที่มา: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545

3. ระบบแถวคอยที่มีขั้นตอนเดียว แถวคอยหลายแถวและมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย เป็นระบบที่มีขั้นตอนในการให้บริการขั้นตอนเดียว แต่มีแถวคอยหลายแถว

ภาพประกอบที่ 7 ระบบแถวคอยที่มีขั้นตอนเดียว แถวคอยหลายแถว
และมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย



ที่มา: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545

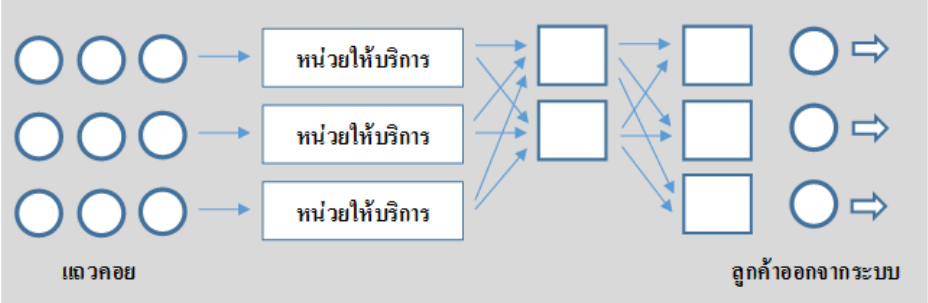
4. ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการหลายบริการ มีจำนวนแถวคอย 1 แถว และในแต่ละการให้บริการมีหน่วยเดียว (Single Channel – Multiple Phase System) ในระบบนี้ลูกค้าจะต้องได้รับบริการจากหลายหน่วยให้บริการ

ภาพประกอบที่ 8 ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการหลายบริการ มีจำนวนแถวคอย 1 แถว
และในแต่ละการให้บริการมีหน่วยเดียว

ที่มา: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545

5. ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการหลายบริการ มีจำนวนแถวคอย 1 แถว และในแต่ละการให้บริการมีหน่วยเดียว (Single Channel – Multiple Phase System) ในระบบนี้ลูกค้าจะต้องได้รับบริการจากหลายหน่วยให้บริการ

ภาพประกอบที่ 9 ระบบแถวคอยที่มีการให้บริการหลายบริการ แต่มีจำนวนแถวคอยหลายแถว และในแต่ละการให้บริการมีหลายหน่วย



ที่มา: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545

2.2.3 สัญลักษณ์ที่ใช้ในระบบแถวคอย

กัลยา วานิชย์บัญชา (2545) ได้สรุปสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงข้อมูลต่างๆ ในตัวแบบแถวคอยมีดังนี้

λ (Arrival rate) = อัตราการเข้ารับบริการของลูกค้าโดยเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยเวลา เช่น λ = 10 คนต่อชั่วโมง หมายถึง โดยเฉลี่ยจะมีลูกค้าที่เข้ามารับบริการ 10 คนต่อชั่วโมง

μ (Service rate) = อัตราการให้บริการของหน่วยให้บริการโดยเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยเวลา เช่น μ = 20 คนต่อชั่วโมง หมายถึง หน่วยให้บริการสามารถให้บริการลูกค้าได้เฉลี่ย 20 คนต่อชั่วโมง

$\frac{1}{\lambda}$ = ช่วงห่างเฉลี่ยระหว่างการเข้าสู่ระบบแถวคอยของลูกค้า 2 คนที่ต่อเนื่องกัน

$\frac{1}{\mu}$ = เวลาเฉลี่ยในการให้บริการลูกค้า 1 คน

L_q = จำนวนลูกค้าที่อยู่ในแถวคอยโดยเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยเวลา (หรือความยาวของแถวคอย)

L = จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบแถวคอยโดยเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยเวลา (หมายถึงจำนวนลูกค้าที่เข้าคิวรอในแถวคอย + จำนวนลูกค้าที่กำลังได้รับบริการ)

W_q = เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าแต่ละคนต้องอยู่ในแถวคอย นั่นคือ เป็นเวลาเฉลี่ยที่ต้องคอยในแถวคอยก่อนที่จะได้รับบริการ

W = เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าแต่ละคนต้องอยู่ในระบบ หมายถึง เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าต้องคอยก่อนได้รับบริการ + เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการรับบริการ

P_n = ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะมีลูกค้า n คนในระบบ โดยที่ n = 0, 1, 2,...

P_0 = ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะไม่มีลูกค้าในระบบเลย ซึ่งหมายถึงผู้ให้บริการว่าง

ρ = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะทำงาน

2.2.4 ตัวแบบต่างๆ ของระบบแถวคอย

พบว่าในระบบแถวคอยจะมีตัวแบบต่างๆ กัน เนื่องจากมีลักษณะที่ต่างกันโดยพิจารณาจาก

1. จำนวนประชากรที่จะเข้ามาเป็นลูกค้าหรือใช้บริการ อาจจะจำกัดหรือไม่จำกัด
2. จำนวนหน่วยให้บริการ อาจจะมีเพียง 1 หน่วยหรือหลายหน่วย
3. การจัดรูปแบบการให้บริการ เช่น จะมีแถวคอยแถวเดียว หรือหลายแถว
4. รูปแบบการแจกแจงของการเข้ารับบริการ และการแจกแจงของเวลาในการให้บริการ สำหรับในที่นี้ จะกล่าวถึงตัวแบบต่างๆ 3 ตัวแบบดังนี้

   - ตัวแบบที่ประชากรมีขนาดไม่จำกัด มีผู้ให้บริการ 1 หน่วย
   - ตัวแบบที่ประชากรมีขนาดไม่จำกัด มีผู้ให้บริการตั้งแต่ 2 หน่วยขึ้นไป
   - ตัวแบบที่ประชากรมีขนาดจำกัด มีผู้ให้บริการ 1 หน่วย

2.2.5 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ในระบบแถวคอย

กัลยา วานิชย์บัญชา (2545) ได้สรุปความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ดังนี้

1. $L = \lambda W$

หรือ $W = \frac{L}{\lambda}$

2. $L_q = W_q$

หรือ $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$

3. เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าต้องอยู่ในระบบ = เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าต้องอยู่ในแถวคอย + เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าได้รับบริการ

หรือ $W = W_q + \frac{1}{\mu}$

$W_q = W - \frac{1}{\mu}$

และกำหนดให้ อัตราเฉลี่ยในการเข้ารับบริการ < อัตราเฉลี่ยในการให้บริการ

หรือ $\lambda = \mu$

เนื่องจากถ้าอัตราการเข้ารับบริการสูงกว่าอัตราการให้บริการ จะทำให้แถวคอยยาวขึ้นเรื่อยๆ จนไม่สามารถปิดระบบได้

2.2.6 การใช้สัญลักษณ์ เคนดอลในการจัดระบบแถวคอย

D.G. Kendall (2007) ได้เสนอให้มีสัญลักษณ์สำหรับตัวแบบต่างๆ ของแถวคอยโดยใช้ตัวอักษร 3 ตัวดังนี้

A/B/s

โดยที่ A หมายถึง การแจกแจงความน่าจะเป็นของการรับบริการ

B หมายถึง การแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในการให้บริการ

s หมายถึง จำนวนหน่วยให้บริการ

ซึ่งความหมายของ A หรือ B จะเป็น

M = การแจกแจงความน่าจะเป็นของการเข้ารับบริการเป็นปัวซองส์ หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในการให้บริการเป็นเอ็กซ์โพเนนเชียล

D = อัตราการเข้ารับบริการคงที่และเวลาในการให้บริการคงที่ เช่น ในระบบการผลิต ชิ้นส่วนจะเข้ามาในหน่วยผลิตตามสายงานในอัตราคงที่และเวลาที่ใช้ผลิตสินค้าแต่ละหน่วยโดยใช้เครื่องจักรจะคงที่เช่นกัน

G = การเข้ารับบริการหรือเวลาในการให้บริการมีการแจกแจงแบบอื่นๆ ที่ทราบค่าเฉลี่ยและค่าแปรปรวน

สำหรับลักษณะของตัวแบบแบ่งออกเป็นดังนี้

1. ตัวแบบที่ประชากรมีขนาดไม่จำกัด มีผู้ให้บริการ 1 หน่วย หรือ M/M/1
2. ตัวแบบที่ประชากรมีขนาดไม่จำกัด มีแถวคอย 1 แถว แต่มีหน่วยให้บริการมากกว่า 1 หน่วย หรือ M/M/s
3. ตัวแบบที่ประชากรมีขนาดจำกัด มีผู้ให้บริการ 1 หน่วย

จากการศึกษาเกี่ยวกับระบบแถวคอย จะเห็นได้ว่าระบบแถวคอยนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในธุรกิจการให้บริการและกระบวนการผลิต และจากการศึกษาพบว่ากระบวนการที่เป็นข้อจำกัดเกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็น ความล่าช้าในกระบวนการผลิตที่ส่งผลให้เกิดการรอคอย การไหลที่ไม่ต่อเนื่องในกระบวนการผลิต โดยเหตุผลเหล่านี้ส่งผลให้ในบางครั้งไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาแนวคิดในการแก้ปัญหาการผลิตแบบลีน เป็นลำดับต่อไป

2.3 การผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing)

2.3.1 ความเป็นมาของระบบการผลิตแบบลีน

Liker and J.K. (2004) ได้สรุประบบการผลิตแบบลีนกำเนิดขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ กล่าวกันว่า ในอดีตการผลิตสินค้าต่างๆ รวมทั้งรถยนต์มีลักษณะการผลิตแบบงานฝีมือ (Craft / Hand Made Production) ซึ่งยังไม่มีสายการผลิต ผู้ผลิตส่วนใหญ่จะดำเนินการผลิตโดยอาศัยทักษะความชำนาญของพนักงานเป็นหลัก ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูง ทั้งยังสามารถผลิตสินค้าได้หลากหลายตามความต้องการของลูกค้า

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 เฮนรี ฟอร์ด (Henry Ford) ผู้ก่อตั้งบริษัทฟอร์ด มอเตอร์ ได้ริเริ่มนำแนวคิดลักษณะการไหลของน้ำมาใช้สร้างสายการผลิต อีกทั้งยังพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ในกระบวนการ ที่เรียกกันว่า ความสูญเปล่า โดยการใช้ระบบสายพานมาใช้ในสายการผลิต และใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานที่เปลี่ยนทดแทนกันได้ ส่งผลให้เวลาในการผลิตลดลง แต่วิธีการนี้ก็ยังเป็นระบบการผลิตแบบเน้นปริมาณ (Mass Production) คือผลิตแบบปริมาณมาก รุ่นการผลิตมีขนาดใหญ่ เพื่อลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยให้ต่ำลงโดยเฉพาะในส่วนของต้นทุนทางอ้อม

ระบบการผลิตของฟอร์ดประสบความสำเร็จอย่างยิ่ง โดยในยุคนั้น รถยนต์ฟอร์ดโมเดลที (Model T Ford) เป็นที่รู้จักและได้รับความนิยม ถึงแม้ว่ารถจะมีแค่สีดำสีเดียวก็ตาม สาเหตุเนื่องจากในขณะนั้นความต้องการซื้อมีจำนวนมาก แต่ผู้ผลิตรถยนต์ยังมีจำนวนน้อย จึงส่งผลให้ผลิตออกมาเท่าไรก็สามารถจำหน่ายได้หมด

ในปี 1945-1970 อิจิ โทโยดะ (Eiji Toyoda) และไทอิจิ โอโนะ (Taiichi Ohno) ผู้บริหารของบริษัทโตโยต้า เรียนรู้จากความสำเร็จของฟอร์ด และนำเอาแนวคิดของฟอร์ดมาประยุกต์และปรับปรุงใช้กับระบบการผลิตของบริษัทโตโยต้าที่ญี่ปุ่น แต่พวกเขาพบว่าระบบการผลิตดังกล่าวไม่เหมาะสม เนื่องจากขณะนั้นประเทศญี่ปุ่นอยู่ในสภาพหลังสงคราม ปัจจัยการผลิตต่างๆ และเงินทุนมีจำกัด ทำให้ไม่สามารถลงทุนสร้าง “ระบบการผลิตที่เน้นปริมาณ” ตามแบบอย่างของฟอร์ดได้ ทั้งสองจึงได้ร่วมกับทีมงานของบริษัทโตโยต้า พัฒนาระบบการผลิตของตนเองขึ้นมาจากประสบการณ์ที่พบ โดยเริ่มต้นจากการค้นหาและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระดับปฏิบัติการ การนำข้อเสนอแนะการปรับปรุงงานที่ได้จากพนักงานมาทดลองปฏิบัติ และประยุกต์แนวคิดของระบบซูเปอร์มาร์เก็ตหรือระบบดึง มาสร้างระบบการผลิตที่เรียกว่า “ระบบการผลิตแบบโตโยต้า” (Toyota Production System) หรือ ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just in Time Production System: JIT) โดยหลักการสำคัญในการผลิตคือ “การผลิตเฉพาะสินค้าหรือชิ้นส่วนที่จำเป็น ตามปริมาณที่มีความต้องการ และภายในเวลาที่มีความต้องการ” โดยมุ่งเน้นกำจัดความสูญเสียทั้ง 7 ประการ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน ได้แก่

1. การเคลื่อนไหวที่ไม่มีความจำเป็น (Unnecessary Motion)
2. การรอคอย (Idle Time / Delay)
3. กระบวนการที่ขาดประสิทธิผล (Non-effective Process)
4. การผลิตของเสียและแก้ไขงานเสีย (Defects and Reworks)
5. การผลิตมากเกินไป (Overproduction)
6. การเก็บวัตถุดิบคงคลังที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Stock)
7. การขนส่ง (Transportation)

ในปี ค.ศ. 1990 เจมส์ วอแม็ค (James P. Womack) และ แดเนียล โจนส์ (Daniel T. Jones) ได้ร่วมกันแต่งหนังสือเล่มหนึ่งชื่อว่า The Machine that Changed the World ซึ่งเปรียบเทียบปัจจัยแห่งความสำเร็จระหว่างอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ในประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และอเมริกา เพื่ออธิบายว่าบริษัทสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการกระบวนการได้อย่างไร และเริ่มใช้คำว่า “ระบบการผลิตแบบลีน” เป็นต้นมา

โดยมีการวางแผนการผลิตแบบระบบดึง ซึ่งหมายถึง ระบบที่กระบวนการถัดไป เป็นผู้ดึงชิ้นงานจากกระบวนการก่อนหน้าเมื่อมีความต้องการ จากนั้นกระบวนการก่อนหน้าจะผลิตชิ้นงานชดเชย เท่ากับปริมาณชิ้นงานที่ถูกดึงไป

ชิจิโอ ชินโง (Shigeo Shingo) ที่ปรึกษาของบริษัทโตโยต้า กล่าวว่าระบบการผลิตแบบโตโยต้าไม่ใช่ระบบที่มีแนวคิดขัดแย้งกับระบบการผลิตของฟอร์ด แต่เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาต่อเนื่องมาให้สอดประสานกับสภาพตลาดของประเทศญี่ปุ่น โดยมุ่งทำการผลิตจำนวนมาก ด้วยขนาดรุ่นการผลิตที่เล็ก และมีระดับสินค้าคงคลังต่ำ ดังนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า ผู้ริเริ่มแนวคิดของระบบการผลิตแบบลีนก็คือ เฮนรี ฟอร์ด (Henry Ford) แต่ผู้นำแนวคิดมาประยุกต์ใช้ให้เกิดผลลัพธ์เป็นรูปธรรมก็คือ บริษัทโตโยต้า หรืออีกนัยหนึ่งระบบการผลิตแบบโตโยต้าก็คือ การปฏิบัติที่เป็นเลิศ (Best Practice) ของระบบการผลิตแบบลีนนั่นเอง

ดังนั้นสรุปได้ว่า วิวัฒนาการของระบบการผลิตแบบลีนเริ่มต้นจากระบบการผลิตแบบงานฝีมือ มาเป็นระบบการผลิตแบบเน้นปริมาณ และพัฒนาเป็นระบบการผลิตที่มีความยืดหยุ่นสูง นั่นคือระบบการผลิตแบบลีน ที่สามารถรองรับสภาพปัจจุบัน ที่มีวงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์สั้นลงเรื่อยๆ ในขณะที่ต้องพยายามลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงอีกด้วย

2.3.2 แนวคิดของระบบการผลิตแบบลีน

การผลิตแบบลีน คือ วิธีการที่มีระบบแบบแผนในการระบุและกำจัดความสูญเสีย หรือสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่าภายในกระแสคุณค่าของกระบวนการ โดยอาศัยการดำเนินตามจังหวะความต้องการของ

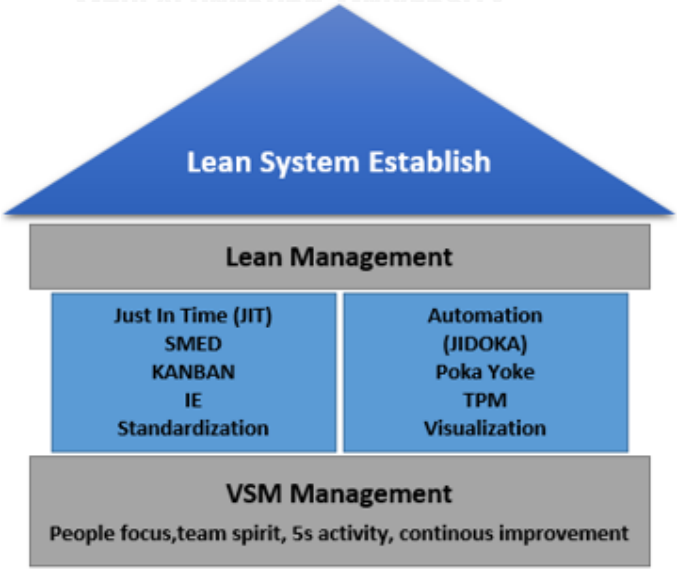
ลูกค้าด้วยระบบดึง ทำให้เกิดสภาพการไหลอย่างต่อเนื่อง ราบเรียบ และทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างคุณค่าให้แก่ระบบอยู่เสมอ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนหลักได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การระบุคุณค่าของสินค้าหรือบริการ (Value)
2. การแสดงสายธารแห่งคุณค่าหรือผังแห่งคุณค่า (Value Stream)
3. การทำให้คุณค่าเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow)
4. การให้ลูกค้าเป็นผู้ดึงคุณค่าจากกระบวนการ (Pull)
5. การสร้างคุณค่าและกำจัดความสูญเปล่าอย่างต่อเนื่อง (Perfection)

2.3.3 ส่วนประกอบของระบบการผลิตแบบลีน

ส่วนประกอบของระบบการผลิตแบบลีน มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับอาคาร ขั้นตอนการก่อสร้างเริ่มต้นจากแนวคิดการผลิตแบบลีน (Lean Thinking) เปรียบเสมือนการวางรากฐานของอาคาร พนักงานทุกคนในองค์การจะต้องเกิดความตระหนักถึงความสูญเสีย งานที่เพิ่มคุณค่าและไม่เพิ่มคุณค่า ก่อนที่จะเริ่มใช้เครื่องมือพื้นฐาน อันได้แก่ เครื่องมือในการวิเคราะห์ระบบ (Analysis Tools) ด้วยแผนภาพกระแสคุณค่า (Value Stream Mapping) และการจัดการความเปลี่ยนแปลง (Change Management) ด้วยไคเซน(Kaizen) และนวัตกรรม (Kaikaku/Innovation) เครื่องมือพื้นฐานทั้งสองนี้เปรียบเสมือนกับพื้นของอาคาร ถ้าอาคารที่เราก่อสร้างมีพื้นฐานแข็งแรงมั่นคง ก็จะช่วยให้เสาทุกต้นที่เป็นโครงสร้างของอาคารมั่นคงแข็งแรงเช่นกัน เสาแต่ละต้นในที่นี้ก็คือ เครื่องมือต่างๆ ในการลดหรือกำจัดสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่าในกระบวนการ ตลอดจนเน้นการสร้างคุณค่าในกระบวนการ สุดท้ายจึงได้อาคาร ซึ่งก็คือ “วิสาหกิจแบบลีน” ดังแสดงในภาพประกอบที่ 10

ภาพประกอบที่ 10 ส่วนประกอบของระบบการผลิตแบบลีน



ที่มา: Womack & Jones, 1990

2.3.4 เครื่องมือและเทคนิคของการผลิตแบบลีน

เครื่องมือ เทคนิค หรือแนวคิดของลีนที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. 5ส และการควบคุมด้วยสายตา (5S & Visual Control)
2. การมีมาตรฐานการทำงาน (Work Standardization)
3. ผังสายธารแห่งคุณค่า (Value Stream Mapping : VSM)
4. การบำรุงรักษาที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance : TPM)
5. การลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิต (Changeover Reduction)
6. การป้องกันความผิดพลาดในงาน (Poka Yoke)
7. การผลิตด้วยขนาดการผลิตเล็กๆ (Small Lot Production)
8. การผลิตที่เน้นการไหลของงาน (Flow Based Production)
9. ทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraint : TOC)
10. การจัดสายการผลิตแบบเซลล์ (Cellular Manufacturing)
11. การผลิตแบบดึงและคัมบัง (Pull System & Kanban)
12. การปรับเรียบการผลิต (Smooth Production Sequence)
13. ดัชนีวัดผลการปฏิบัติงาน (Performance Metric)
14. ไคเซน (Kaizen)

จากการศึกษาระบบการผลิตแบบลีนพบว่า ทฤษฎีข้อจำกัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการบริหารจัดการกระบวนการผลิต เนื่องจากการเข้าใจเกี่ยวกับคอขวดหรือ Bottleneck จะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ถูกจุด ส่งผลให้การผลิตมีประสิทธิภาพและได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการและยังสามารถลดงานระหว่างทำ หรือ Work In Process (WIP) ได้อีกด้วย เนื่องจากไม่มีความจำเป็นที่ต้องทำ 100% Utilization ในทุกกระบวนการผลิต เพราะอย่างไรก็ตามงานจะออกจากกระบวนการผลิตได้เท่ากับความสามารถของการบวนการผลิตที่เป็นคอขวดเท่านั้น

แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่งผลให้ไม่สามารถปรับปรุงได้ทันที และการปรับปรุงกระบวนการผลิตนั่นมีความเสี่ยง จึงอาศัยการจำลองสถานการณ์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจก่อนจะลงมือปรับปรุงระบบการผลิตจริง

2.4 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

Shannon (1975) ให้คำจำกัดความการจำลองสถานการณ์ว่าเป็นกระบวนการออกแบบแบบจำลองของระบบงานจริงแล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้น เพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่ได้วางไว้

อุดม สุรเชิดเกียรติ (2540) กล่าวว่า การจำลองสถานการณ์ คือ กระบวนการของการออกแบบแบบจำลองของระบบจริง และการออกแบบการทดลองในแบบจำลองนี้แล้วทำความเข้าใจในพฤติกรรมของระบบ และทำการประมาณค่าตัวแปรที่สำคัญเพื่อการดำเนินการภายในระบบ

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2544) กล่าวว่า การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์เป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลองซึ่งอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์นี้เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดของการใช้การจำลองแบบปัญหา เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานได้มากมายหลายประเภท หลักการที่ใช้กับการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์จะเป็นหลักการแบบเดียวกับที่ใช้กับการจำลองแบบปัญหาอื่นๆ ความจำเป็นที่จะสร้างเป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับความยุ่งยากในการคำนวณของปัญหานั้นๆ โดยที่การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์จะต้องมีการคำนวณข้อมูล ทั้งที่เป็นข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์จากแบบจำลอง และโดยปกติข้อมูลต่างๆ ในระบบงานจะเป็นข้อมูลที่มีความผันแปรไม่แน่นอนและมีการแปรเปลี่ยนตามเวลา ดังนั้น การจัดเตรียมและการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ รวมทั้งขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้กับการจำลองแบบปัญหานี้ จึงต้องอาศัยวิธีการต่างๆ ทางสถิติเข้าช่วย

Kelton et al. (2010) อธิบายว่า การจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือ กระบวนการจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานจริงนั้น หรือเพื่อประเมินผลการใช้วิธีการต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ การจำลองสถานการณ์นั้นเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการศึกษาและแก้ปัญหาเกี่ยวกับการทำงานของระบบงานจริง เพราะว่าจะทำให้เราสามารถทราบความเป็นมา พฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในระบบงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมและส่วนประกอบต่างๆ ในระบบงาน รวมทั้งผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อเราได้ทำการปรับเปลี่ยนให้มีการนำเอาวิธีการใหม่ๆ เข้าไปใช้ในการดำเนินงานของระบบงานจริง ทำให้การวางแผนการดำเนินงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือทำให้เราได้เล็งเห็นปัญหาที่มีอยู่ได้ชัดเจนขึ้น เนื่องจากผลลัพธ์ถูกแปรออกมาให้เห็นในรูปตัวเลขทางคณิตศาสตร์

2.4.1 สรุปข้อดีและข้อด้อยของการใช้แบบจำลองสถานการณ์

การเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานจริงนั้นมีหลากหลายวิธี การใช้แบบจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะในยุคปัจจุบันที่มีเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลองสถานการณ์นั้นมีทั้งข้อดีและข้อด้อย

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ (2551) สรุปข้อดีและข้อด้อยการใช้แบบจำลองสถานการณ์ไว้ ดังนี้

ข้อดีของการใช้แบบจำลองสถานการณ์

1. สามารถใช้แบบจำลองกับระบบที่มีความซับซ้อน ที่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์โดยการเขียนสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ หรือใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ได้

2. สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายอนาคตของระบบได้โดยใช้เวลาอันสั้นในการประมวลผลลัพธ์ของแบบจำลอง เช่น ต้องการทราบว่าเครื่องจักรที่มีอยู่ มีกำลังการผลิตที่สามารถรองรับความต้องการของสินค้า ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต 5 ปีได้หรือไม่

3. สามารถใช้แบบจำลองกับระบบ ที่ไม่สามารถทดลองบนสถานการณ์จริงได้

ข้อด้อยของการใช้แบบจำลองสถานการณ์

1. การสร้างตัวแบบจำลองนั้นจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ด้านการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองและผู้สร้างต้องมีพื้นฐานทางสถิติเพื่อสามารถวิเคราะห์และนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองไปปรับปรุงต่อได้ โดยผู้วิเคราะห์จะต้องมีความเข้าใจในระบบเป็นอย่างดี และมีการเก็บข้อมูลทางสถิติในอดีตอย่างถูกต้อง จึงจะทำให้แบบจำลองนั้นมีความใกล้เคียงกับระบบจริง

2. เนื่องจากตัวแบบจำลอง ผู้สร้างตัวแบบเป็นผู้สร้างทางเลือกให้กับระบบ ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองอาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่บ่งถึงทางเลือกที่ดีที่สุดให้กับระบบ

3. ผลที่ได้จากการจำลอง มักจะเป็นค่าประมาณ

2.4.2 ชนิดของระบบงานที่ใช้ในการจำลองแบบสถานการณ์

การจำลองแบบสถานการณ์สามารถใช้กับระบบงานจริงได้หลายรูปแบบ Kelton et al. (2010) ได้แบ่งลักษณะระบบงาน ดังนี้

1. ระบบงานต่อเนื่อง (Continuous System) คือ ระบบงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องอันเกิดจากเวลา การจำลองแบบสถานการณ์ของระบบงานต่อเนื่องนั้นไม่สามารถจำกัดอยู่แค่ตัวเลขได้ ตัวอย่างเช่น การลำเลียงแร่ธาตุจากเหมืองไปสู่เรือบรรทุกโดยราง หรือลักษณะการลำเลียงของสายพาน เป็นต้น

2. ระบบงานไม่ต่อเนื่อง (Discrete System) คือ ระบบงานที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบเป็นช่วงๆ ของระยะเวลาใดระยะเวลาหนึ่ง เช่น ระบบการทำงานของธนาคาร ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบระหว่างเวลา 8.30-15.30 น. ระบบงานไม่ต่อเนื่องนี้มีลักษณะที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับระบบแถวคอย (Queuing) เช่น การให้บริการแก่ลูกค้าที่ต้องรอคอยอยู่ในคิว (Waiting Line) เพื่อเข้ารับบริการที่จะใช้ตู้ ATM ลูกค้าคือผู้รับบริการ ส่วนตู้ ATM ถือว่าเป็นสถานีผู้ให้บริการ โดยสิ่งที่น่าสนใจในระบบแถวคอย คือ เวลาการมาถึงของลูกค้า เวลาที่ลูกค้าแต่ละคนใช้ในแถวคอย และเวลาทั้งหมดตั้งแต่ลูกค้ามาถึงจนกระทั่งเสร็จสิ้นการรับบริการ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องสร้างเหตุการณ์ที่สุ่มได้ (Random Event) เพื่อนำมาใช้ร่วมกับวิธีทางคณิตศาสตร์ คือ

ความน่าจะเป็น (Probability) และสถิติ (Statistic) เพื่อหาเวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ และความยาวของแถวคอย โดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Distribution)

3. ระบบแน่นอน (Deterministic System) คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบที่สามารถบอกได้แน่นอนว่าเป็นอย่างไร เช่น ระบบการปฏิบัติงานอย่างหนึ่งกระบวนการผลิตจะมีผลลัพธ์ออกมาทุกๆ 15 นาที

4. ระบบไม่แน่นอน (Stochastic System) คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบที่ไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าผลลัพธ์จะเป็นอย่างไร เช่น การวาดรูปภาพ 1 รูป เราไม่สามารถรู้ได้แน่นอนว่าเวลาที่ใช้ในการวาดภาพจะเป็นอย่างไร

5. ระบบสถิต (Static System) คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เกี่ยวข้องกับเวลา

6. ระบบพลวัต (Dynamic System) คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีความเกี่ยวข้องกับเวลา

2.4.3 รูปแบบของการจำลองแบบสถานการณ์

Kelton et al. (2010) ได้แบ่งการจำลองสถานการณ์ ตามลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของแบบจำลองได้ 5 ประเภท ดังนี้

1. แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) เป็นแบบจำลองที่มีรูปร่างหน้าตาเหมือนระบบงานจริง

2. แบบจำลองแอนะล็อก (Analog Model) เป็นแบบจำลองที่มีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริง

3. เกมส์การบริหาร (Management Games) เป็นแบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Model) ในกิจกรรมต่างๆ เช่นธุรกิจ สงคราม การลงทุน เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงผลของการตัดสินใจในแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจจริง

4. แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Model) เป็นแบบจำลองที่อยู่ในรูปของคอมพิวเตอร์โปรแกรม ซึ่งก่อนที่จะมาเป็นคอมพิวเตอร์โปรแกรม แบบจำลองสถานการณ์อาจอยู่ในรูปของแบบจำลองแบบใดแบบหนึ่งที่กล่าวมาข้างต้น

5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบในระบบงานจริง เช่นให้ X แทนค่าใช้จ่าย Y แทนจำนวนสินค้าที่ผลิต

ในการจำลองสถานการณ์อาจจะใช้แบบใดแบบหนึ่งเพียงแบบเดียว หรือใช้แบบจำลองหลายประเภทร่วมกันในกรณีที่ระบบงานจริงที่มีความยุ่งยากซับซ้อน

2.4.2 ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์

มานพ วราภักดิ์ (2550) ได้อธิบาย ขั้นตอนในการศึกษาเรียนรู้และศึกษาพฤติกรรมระบบงานจริงจากการสร้างแบบจำลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 11 ดังนี้

1. การกำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษาเรียนรู้

2. การกำหนดวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองการกำหนดขอบเขตข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบสถานการณ์

3. การสร้างแบบจำลองจากลักษณะของระบบงานที่ต้องการทำการศึกษาเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ที่จะศึกษา

4. การจัดเตรียมข้อมูล วิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง และจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

5. การสร้างแบบจำลอง โดยการสร้างแบบจำลองให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

6. การทดสอบความถูกต้อง เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ผู้เขียน หรือผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้น สามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้มีวิธีหลายวิธีได้แก่

- การสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญในระบบงานนั้นๆ ว่าข้อมูลองค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองมีพฤติกรรมต่างๆ มีความสอดคล้องกับระบบงานจริงหรือไม่

- การทดสอบความถูกต้องของกลไกภายในแบบจำลอง

- การทดสอบความถูกต้องของตัวแปรและพารามิเตอร์ เป็นการทดสอบความไวของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร และพารามิเตอร์ว่ามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองอย่างไร

- การทดสอบความถูกต้องของสมมติฐาน เป็นการทดสอบความถูกต้องทางสถิติว่าผลที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากระบบงานจริง ที่สามารถยอมรับว่าเหมือนกันในระดับนัยสำคัญที่ยอมรับได้

7. การทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองกับระบบงานจริง โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลในอดีตของระบบงานจริงที่เงื่อนไขของการใช้ระบบงานที่เหมือนกัน การวิเคราะห์กระทำโดยใช้เทคนิคทางสถิติ เพื่อทดสอบความสอดคล้องดังกล่าวและความคาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้

8. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผล และทำการประมวลผลกี่รอบ

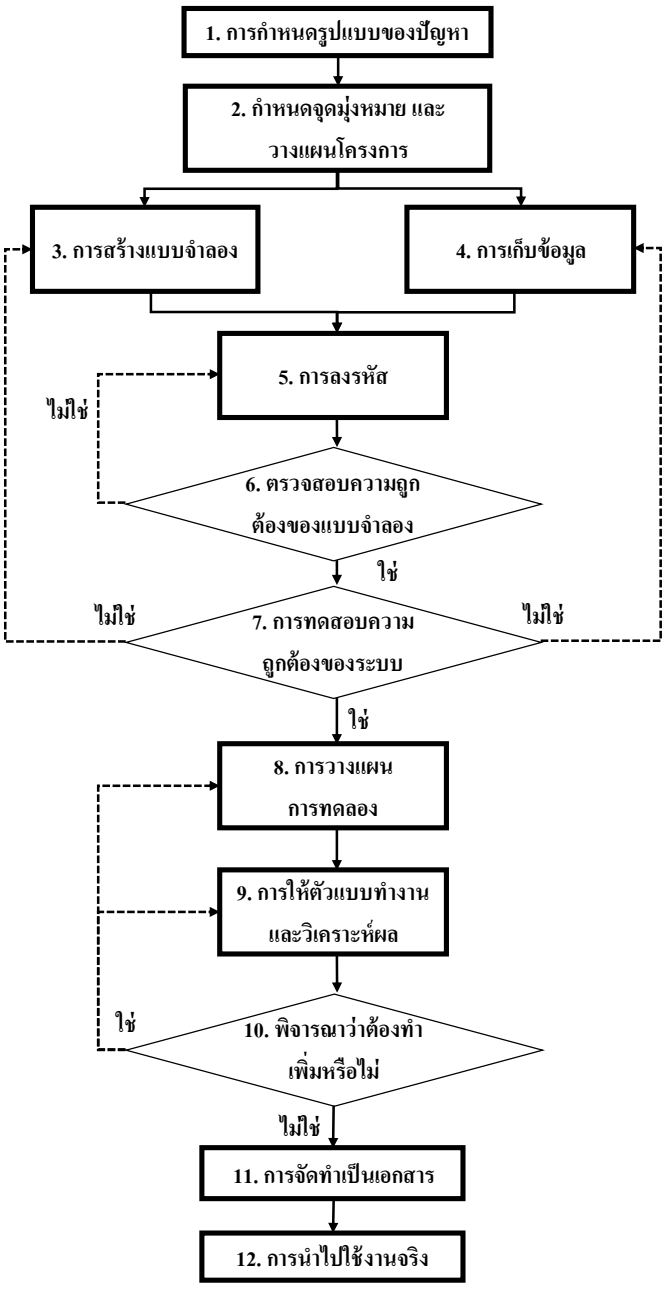
9. การดำเนินการทดลองประมวลผล เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการ การตีความผลการทดลอง จะตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาและเมื่อแก้ปัญหาแล้วได้ผลอย่างไร

10. การพิจารณาจำนวนครั้งของการทดลองเพื่อให้ผลการทดลองเชื่อถือได้

11. การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งาน และผลที่ได้จากการใช้งานเพื่อประโยชน์ สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงดัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ

12. การนำไปใช้งานจริง โดยดูจากผลการทดลอง เลือกวิธีที่จะแก้ปัญหาดีที่สุด เหมาะกับความต้องการหรือข้อจำกัดของตัวเองมากที่สุดเมื่อนำไปใช้กับระบบงานจริง

ภาพประกอบที่ 11 ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์



ที่มา: มานพ วราภักดิ์ (2550)

2.4.5 การประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์

วิธีการจำลองสถานการณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับหลายระบบงานในหลายสาขา เช่น

1. ระบบงานคอมพิวเตอร์ เช่น งานที่เป็นองค์ประกอบของระบบฮาร์ดแวร์ และซอฟท์แวร์ งานบริหารโครงสร้างเกี่ยวกับฐานข้อมูล งานประมวลผลข้อมูล

2. ระบบงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ระบบงานลำเลียงขนถ่ายวัสดุ ระบบงานสายประกอบ ระบบควบคุมการผลิต

3. งานในเชิงธุรกิจ เช่น งานด้านนโยบายเกี่ยวกับการกำหนดราคา การวิเคราะห์ระบบกระแสเงินสด

4. งานด้านการปกครอง เช่น การกำหนดยุทธศาสตร์ทางด้านการทหาร งานป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ การออกแบบทางหลวงแผ่นดิน การควบคุมการจราจร

5. งานทางด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์วิทยา เช่น งานระบบกำจัดมลพิษของน้ำเสีย การควบคุมปริมาณน้ำเสีย การควบคุมมลภาวะทางอากาศ การพยากรณ์อากาศ

6. งานด้านพฤติกรรมทางสังคม เช่น การวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอาหารกับจำนวนประชากร นโยบายทางด้านการศึกษา การจัดการโครงสร้างขององค์กร

7. งานด้านเวชศาสตร์ เช่น การวิเคราะห์ทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา การควบคุมโรค วงจรชีวิตทางด้านชีววิทยา

2.4.6 การจำลองพฤติกรรมของระบบโดยใช้โปรแกรมอารีน่า

การจำลองสถานการณ์ คือ วิธีการและการประยุกต์ในการเลียนแบบพฤติกรรมของระบบจริง โดยการใช้ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ชื่อ อารีน่า (Arena) ที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่พัฒนามาจากโปรแกรมภาษาที่เรียกว่า SIMAN เพื่อช่วยในการจำลองสถานการณ์ และหาแนวทางการแก้ไขและพัฒนาระบบต่างๆ อาทิ เช่น การหาแนวทางการปรับปรุงรอบระยะเวลาในการดำเนินงาน แนวทางในการจัดสรรทรัพยากรเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน เป็นต้น โดยทั้งหมดจะเป็นการออกแบบและสร้างโมเดลที่คำนวณมาจากคอมพิวเตอร์ทั้งสิ้น

การจำลองสถานการณ์เป็นวิธีการจำลองระบบงานจริงเข้าสู่ระบบจำลอง เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และทดลองระบบในสภาวการณ์ต่าง ๆ การจำลองสถานการณ์เป็นวิธีการที่ง่าย สมจริง และนำไปปฏิบัติได้จริง Kelton et al. (2010) อธิบายวิธีต่างๆ ที่ใช้ในการจำลอง ดังนี้

1. วิธีมือเปล่า (By Hand) ในช่วงยุคแรก ๆ ที่ยังไม่มีคอมพิวเตอร์ การใช้วิธีการทำด้วยมือเปล่าเพียงวิธีเดียวที่ใช้กัน วิธีการดังกล่าวจะเป็นแบบง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนแต่สามารถหาคำตอบในเหตุการณ์นั้น ๆ ได้ เช่น ในปี ค.ศ. 1733 Georges Louis Leclerc ได้ทำการทดลองเพื่อประมาณค่า Pi โดยการโยนเข็มบนโต๊ะที่ขีดเส้นไว้ แล้วนับจำนวนครั้งที่เข็มหล่นลงมาทับเส้นเทียบกับจำนวนครั้งทั้งหมด

ที่โยน แล้วนำค่ามาคำนวณหาค่า Pi ในปี ค.ศ. 1920-1930 ศาสตร์ทางด้านสถิติเริ่มถูกนำมาใช้ จากนั้นเริ่มมีผู้คิดประดิษฐ์เครื่องมือขึ้นเพื่อมาช่วยในการจำลองให้มีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

2. โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์พื้นฐาน (Programming in General-Purpose Languages) คอมพิวเตอร์ถูกประดิษฐ์ขึ้นเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1950-1960 และเริ่มนำมาใช้ในงานในการจำลองสถานการณ์เพื่อช่วยในการประมวลผล ภาษาคอมพิวเตอร์พื้นฐานนี้สามารถเขียนให้เข้ากับระบบงานตามต้องการได้ดีและแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากกว่าในยุคที่ใช้มือเปล่า แต่การเขียนโปรแกรมยังคงมีความยืดยาวและยุ่งยาก ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นจึงจะเขียนโปรแกรมได้ ภาษาที่นิยมใช้ในช่วงนั้น คือ ภาษา FORTRAN

3. ภาษาการจำลองสถานการณ์ (Simulation Language) ภาษาการจำลองสถานการณ์ เช่น GPSS, Simscript, SLAM และ SIMAN ได้ถูกพัฒนาขึ้นให้มีความเหมาะสมและใช้เฉพาะกับการจำลองสถานการณ์ ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายและตรงตามที่ต้องการมากขึ้น แต่ค่อนข้างใช้เวลามากและไม่ยืดหยุ่น

4. โปรแกรมจำลองสถานการณ์ชั้นสูง (High-Level Simulators) โปรแกรมจำลองสถานการณ์ถูกพัฒนาให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น มีความสะดวกในการเลือกแบบจำลอง มีรูปภาพแสดงแบบจำลองและผลการจำลอง โปรแกรมจำลองสถานการณ์ชั้นสูงที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น โปรแกรมอารีน่า (Arena) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองสถานการณ์ชั้นสูง สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามที่ต้องการเหมือนภาษาพื้นฐานทั้งหลาย และสามารถใช้การเขียนโปรแกรมพื้นฐานร่วมกันกับโปรแกรมเฉพาะด้านอย่าง SIMAN ได้ดี

2.4.7 ส่วนต่างๆ ในการจำลองสถานการณ์

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ (2551) ได้สรุปส่วนต่าง ๆ ในการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมอารีน่าไว้ดังนี้

1. สิ่งที่สนใจในระบบ คือ สิ่งที่ถูกป้อนหรือถูกสร้างเข้ามาในระบบ และเป็นตัวที่เคลื่อนที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อรับการทำงานหรือบริการตามกิจกรรมที่เคลื่อนที่ผ่านไป เช่น ในกรณีที่เครื่องจักรชำรุดและยังซ่อมไม่เสร็จ ชิ้นงานที่กำลังทำงานอยู่ยังต้องค้างอยู่ในระบบ เป็นต้น

2. แถวคอย คือ สิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งที่สนใจในระบบไม่สามารถเคลื่อนผ่านระบบไปได้ทั้งหมดพร้อมกัน จึงต้องมีบางชิ้นที่ต้องรอคอย

3. ค่าสะสมทางสถิติ เพื่อวัดผลงานหรือประสิทธิภาพงาน เช่น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตรวมทั้งหมด เวลาสะสมที่ใช้ในการรอคอย หรือพื้นที่สะสมที่ถูกใช้ในการจัดแถวคอย เป็นต้น ค่าเหล่านี้จะเริ่มที่ศูนย์และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระบบ

4. เหตุการณ์ คือ สิ่งที่เกิดขึ้นในระบบและมีผลให้ค่าหรือพฤติกรรมในระบบเปลี่ยนไป

5. เวลาที่จำลองในระบบ คือ การบันทึกเวลาของพฤติกรรมที่เราให้ความสนใจ ไม่จำเป็นต้องตรงกับเวลาภายนอก และถ้าไม่มีเหตุการณ์ใดที่สนใจเกิดขึ้น เวลาก็จะไม่ถูกบันทึก พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมดจะถูกบันทึกตามลำดับเวลา

6. การเริ่มต้นและการสิ้นสุด ผู้ใช้ต้องเป็นผู้กำหนดสภาวะต่างๆ ในการเริ่มต้น และเงื่อนไขหรือสภาวะในการสิ้นสุดการจำลองสถานการณ์ด้วยตนเอง เช่น เริ่มต้นโดยยังไม่มีแถวคอยและชิ้นงานอยู่ในระบบเลย หรือการจำลองจะสิ้นสุดเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที เป็นต้น

ส่วนประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ ภายในโมเดลของการจำลองสถานการณ์ที่จะทำการสร้างขึ้นมีส่วนประกอบที่มีความสัมพันธ์กันและมีความหมาย ดังต่อไปนี้

1. ตัวแทนระบบ (Entities) คือ สิ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาภายในระบบเพื่อให้เป็นตัวแทนของการทำงานโดยกำหนดให้มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและสามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อเอ็นทิตี้ตัวอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ ยังเป็นวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอในการจำลองสถานการณ์ และจะสิ้นสุดลงเมื่อมีการออกจากระบบ

2. คุณสมบัติเฉพาะ (Attribute) คือ คุณลักษณะเฉพาะของเอ็นทิตี้แต่ละตัวที่เรากำหนดให้ และมีลักษณะแตกต่างจากเอ็นทิตี้ตัวอื่นๆ

3. ตัวแปร (Variable) คือ ส่วนของข้อมูลที่ใช้เพื่อการกำหนดคุณสมบัติภายในระบบโดยไม่มีการคำนึงถึงปริมาณและชนิดของเอ็นทิตี้ โดยที่ชนิดของแวริเอเบิลสามารถแบ่งได้ เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ แวริเอเบิลที่ถูกสร้างขึ้นภายในโปรแกรมอารีน่า และแวริเอเบิลที่มีการกำหนดขึ้นโดยผู้ใช้งาน

4. ทรัพยากร (Resources) คือ สิ่งที่ถูกกำหนดขึ้นให้เป็นหน่วยของการรับการบริการ เช่น คน อุปกรณ์ หรือเนื้อที่ในการจัดเก็บที่มีขนาดพื้นที่จำกัด ซึ่งส่งผลให้เอ็นทิตี้สามารถทำการจับจองทรัพยากรได้ก็ต่อเมื่อมีที่ว่าง และทำการปล่อยทรัพยากรเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานแล้ว

5. แถวคอยหรือคิว (Queues) คือ การจัดลำดับเอ็นทิตี้ในการจับจองทรัพยากร และยังเป็นที่พักของเอ็นทิตี้เมื่อมันไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ เช่น แถวคอยในการรอรับการบริการ ซึ่งถ้าค่าของแถวคอยมีมากกว่าค่าของขีดกำหนดจะต้องมีการจัดเก็บปริมาณของเอ็นทิตี้ภายในแถวคอยนั้นด้วย

6. การเก็บค่าทางสถิติ (Statistical Accumulators) คือ การวัดค่าของผลลัพธ์ที่เป็นค่ากลางทางสถิติที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ เช่น จำนวนชิ้นงานที่ทำการผลิตได้ เวลาทั้งหมดที่ใช้ภายในแถวคอย จำนวนชิ้นงานภายในแถวคอย ระยะเวลาที่ใช้ภายในแถวคอย เป็นต้น

7. เหตุการณ์ (Events) คือ สิ่งที่เกิดขึ้นในขณะที่เรากำลังทำการจำลองสถานการณ์ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอททริบิ้ว แวริเอเบิล เช่น ชิ้นงานใหม่ที่กำลังผ่านเข้าสู่ระบบ ชิ้นงานที่ทำการรับบริการจากเครื่องจักรเสร็จสิ้นและกำลังออกจากระบบ เป็นต้น

8. การเริ่มต้นและการสิ้นสุด (Starting and Stopping) คือ การกำหนดค่าของสถานะในการเริ่มต้น ค่าแอททริบิ้ว ค่าตัวแปร กระบวนการทางสถิติ และเงื่อนไขต่าง ๆ ทั้งก่อนเริ่มต้นในการจำลองสถานการณ์และเมื่อสิ้นสุดการจำลองสถานการณ์แล้ว

จากการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในกระบวนการผลิตพบว่า เราสามารถทราบแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นจากการตัดสินใจในกรณีต่างๆ โดยแนวโน้มเหล่านั้นจะแสดงผลให้รูปแบบประสิทธิภาพการทำงานในกระบวนการต่างๆ ของระบบการผลิต และเวลาในการรอคอยของแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับระบบการผลิตได้ค่อนข้างดี แต่การตัดสินใจนั้นยังมีอีก 1 ปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง นั่นคือการตัดสินใจเกี่ยวกับการตัดสินใจทางด้านการเงินในการลงทุน ซึ่งจะทำการศึกษาเป็นลำดับต่อไป

2.5 งบประมาณจ่ายลงทุน

กุสุมา ผลาพรม (2553) สรุปไว้ว่า งบประมาณจ่ายลงทุนมีความสำคัญต่ออนาคตของกิจการในการพัฒนาทั้งระยะเวลาและคุณภาพของสินทรัพย์ ถ้าบริษัทต้องการที่จะคาดคะเนในความต้องการเกี่ยวกับการลงทุน ในสินทรัพย์ล่วงหน้า ซึ่งนั่นเป็นการซื้อและติดตั้งสินทรัพย์ก่อนที่บริษัทจะต้องใช้ ในการคาดคะเนระดับการลงทุนมีความเกี่ยวข้องกันระหว่างอุปสงค์และอุปทานภายใต้สถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอน

ในการตัดสินใจถึงมูลค่าของการลงทุนในสินทรัพย์ถาวรหรือการลงทุนในระยะยาวก็ต้องการทราบผลตอบแทนจากการลงทุนนั้นและค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการลงทุนครั้งนั้น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับงบประมาณการจ่ายลงทุนที่เป็นหัวใจในการตัดสินใจที่สำคัญของธุรกิจ เพราะจะมีผลต่อความก้าวหน้าในอนาคตของธุรกิจ และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสำเร็จและบรรลุเป้าหมายของธุรกิจ นั่นคือความสามารถในการทำกำไรและสภาพคล่องของธุรกิจ

2.5.1 ประเภทของงบประมาณจ่ายลงทุน

1. การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการขยายผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ก่อนแล้วเป็นการลงทุนในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการขยายผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ก่อนแล้ว

2. การซื้อเครื่องจักรอุปกรณ์เพื่อทดแทนหรือสร้างอาคารใหม่เพื่อให้ธุรกิจสามารถดำเนินการต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

3. การวิจัยค้นคว้าและพัฒนา ต้องมีการคาดคะเนแนวโน้มเทคโนโลยีในอนาคตและผลกระทบต่อองค์กร โดยต้องมีการวางแผนเทคโนโลยีใหม่ๆ สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ สิ่งอำนวยความสะดวกใหม่ และกระบวนการใหม่ๆ

4. โครงการสำรวจ เป็นการศึกษาหรือสำรวจ และการวิเคราะห์ด้านการตลาด การวิเคราะห์ด้านเทคนิค การวิเคราะห์ด้านการเงิน และการวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

5. โครงการอื่นๆ ได้แก่ โครงการเกี่ยวกับมาตรฐานด้านสุขภาพ โครงการเพื่อควบคุมสภาพของสิ่งแวดล้อม

2.5.2 การประมาณการกระแสเงินสดของโครงการ

กระแสเงินสด (Cash Flow) หมายถึงเงินสดหรือรายการเทียบเท่าเงินสด ได้แก่เงินลงทุนระยะสั้นที่มีสภาพคล่องสูงและสามารถแปลงสภาพเป็นเงินสดได้ง่าย

เงินสดออกหรือกระแสเงินสดจ่าย (Cash Outflow) หมายถึงเงินลงทุนของโครงการ งบประมาณจ่ายลงทุนที่ธุรกิจได้วางแผนไว้ ถือเป็นต้นทุนของโครงการ หรือเป็นเงินสดสุทธิในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ ได้แก่ต้นทุนของสินทรัพย์ที่ซื้อมา โดยการปรับปรุงด้วยรายการที่กระทบต่อกระแสเงินสดที่ได้มาซึ่งสินทรัพย์

เงินสดเข้าหรือกระแสเงินสดรับ (Cash Inflow) หมายถึงผลประโยชน์ของโครงการ งบประมาณจ่ายลงทุนที่ธุรกิจได้คาดหวังไว้ว่าจะได้รับในอนาคต ซึ่งจะต้องมีระยะเวลาเกินกว่า 1 ปี โดยพิจารณาจากรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการประหยัดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นโดยพิจารณาผลทางด้านภาษี

กระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow) เป็นการแสดงกระแสเงินสดจริงๆ ที่ได้รับจากการดำเนินงานในแต่ละปี ซึ่งจะเท่ากับกระแสเงินสดรับลบด้วยกระแสเงินสดจ่าย หรือในทางบัญชีจะใช้วิธีการนำกำไรสุทธิบวกด้วยค่าเสื่อมราคา

ดังนั้นการประมาณการกระแสเงินสดของโครงการในอนาคต ต้องเป็นเงินสดที่เกิดขึ้นหลังภาษีและเป็นข้อมูลที่จัดหามาในรูปของส่วนเพิ่มเพื่อที่จะได้วิเคราะห์เฉพาะส่วนแตกต่างระหว่างกระแสเงินสดของธุรกิจในขณะที่มีโครงการกับไม่มีโครงการลงทุน เพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการลงทุน

2.5.3 วิธีการประเมินค่าโครงการ

1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) แสดงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการได้รับเงินลงทุนเริ่มแรกกลับคืน โดยให้ความสำคัญต่อระยะเวลาของโครงการจะสามารถได้เงินทุนกลับมา ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนจึงเป็นเครื่องชี้บอกถึงความเสี่ยงของการลงทุน

การตัดสินใจว่าจะปฏิเสธหรือยอมรับโครงการนั้น ใช้เกณฑ์ว่าถ้าระยะเวลาคืนทุนของโครงการน้อยกว่าระยะเวลาคืนทุนที่กำหนดให้ยอมรับโครงการ ในทางตรงข้ามถ้าระยะเวลาคืนทุนของโครงการมากกว่าระยะเวลาคืนทุนที่กำหนดให้ปฏิเสธโครงการ แต่ถ้าโครงการมีหลายๆ โครงการให้เลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด สำหรับวิธีการคำนวณ Brigham, Gapenski และ Ehrhardt, 1999 หน้า 426-433 ได้สรุปวิธีการคำนวณดังสมการ 2

สมการ 2 สมการคำนวณระยะ เวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{เงินสดรับเข้าสุทธิต่อปี}} \quad \text{---------- (2)}$$

2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) แสดงถึงผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับเข้าสุทธิตลอดโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก วิธีนี้ได้มีการพิจารณาเกี่ยวกับกระแสเงินสดที่เกี่ยวข้องทั้งโครงการ ค่าของเงินในเวลาที่แตกต่างกัน และความเสี่ยงของกระแสเงินสดในอนาคต สำหรับการตัดสินใจจะปฏิเสธหรือยอมรับโครงการนั้น ใช้เกณฑ์ว่าถ้า NPV มีค่าเป็นบวกให้ยอมรับโครงการ ในทางตรงกันข้ามถ้า NPV มีค่าเป็นลบให้ปฏิเสธโครงการ แต่ถ้ากรณีมีหลายๆ โครงการให้เลือกโครงการที่มี NPV มีค่าเป็นบวกที่สุด สำหรับวิธีการคำนวณทำได้ดังสมการ 3

สมการ 3 สมการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_o \quad \text{---------- (3)}$$

โดยที่

n = อายุของโครงการ

ES_t = ต้นทุนที่ประหยัดได้รายปี ตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินลงทุนเริ่มโครงการ (Total Investment)

I = อัตราลดค่า (Discount rate)

ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราลดค่า (discount rate) จะมีคำตอบเดียวกันตลอดโครงการ และขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาด ที่ผู้ลงทุนเผชิญอยู่ ซึ่งค่าที่เป็น base case อย่างน้อยควรมีค่าทุนเท่ากับ อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำที่ผู้ลงทุนได้รับ

4. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) แสดงถึงอัตราผลตอบแทนที่ได้รับการลงทุน เป็นอัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินรับเข้าสุทธิที่คาดหวังไว้ในอนาคตเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก สำหรับการตัดสินใจว่าจะปฏิเสธหรือยอมรับโครงการนั้นใช้เกณฑ์ว่าถ้า IRR มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ค่าของทุนให้ยอมรับโครงการ ในทางตรงกันข้ามถ้า IRR มีค่าน้อยกว่าค่าของทุนให้ปฏิเสธโครงการ แต่ถ้ากรณีที่มีหลายๆ โครงการให้เลือกโครงการที่มี IRR มีค่ามากที่สุด สำหรับวิธีการคำนวณทำได้ดังสมการ 4

สมการ 4 คำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad \text{---------- (4)}$$

โดยที่

n = อายุของโครงการ (ปี)

ES_t = ต้นทุนที่ประหยัดได้รายปี ตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินลงทุนเริ่มโครงการ (Total Investment)

IRR = อัตราผลต่อแทนภายใน

การคำนวณหาค่า IRR คือการคำนวณหา discount rate ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์

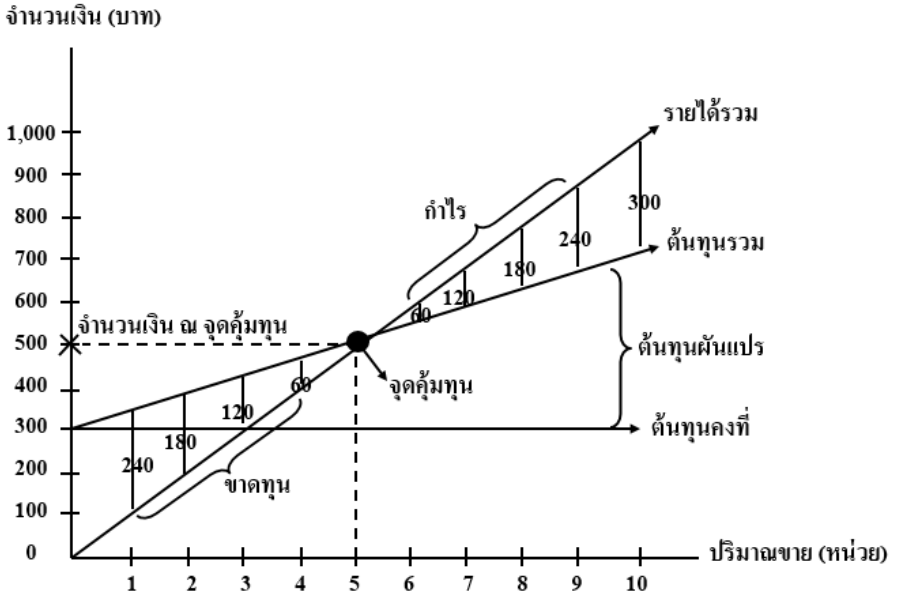
2.5.4 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

Heizer and Render (1996) กล่าวว่า การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการหากำลังการผลิตที่เหมาะสมที่บริษัทสามารถทำกำไรได้ จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนคือต้องการหาตำแหน่งที่รายรับเท่ากับรายจ่ายในรูปของตัวเงินหรือหน่วยผลิต เพื่อแสดงให้บริษัททราบว่า จะต้องผลิตสินค้าอย่างน้อยจำนวนเท่าใดเพื่อที่จะเพียงพอต่อรายจ่ายและทำให้บริษัทสามารถอยู่รอดได้

ส่วนประกอบของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ได้แก่ ต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผัน ต้นทุนรวม สมการรายรับและจุดคุ้มทุน

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) คือต้นทุนที่ยังคงมีอยู่แม้จะไม่มีการผลิตสินค้าใดๆ เลย ตัวอย่างเช่น ค่าเสื่อมราคา ภาษี หนี้สิน และค่าเช่าสถานที่ เป็นต้น
2. ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) คือ ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณสินค้าที่ผลิต ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน และค่าวัตถุดิบ เป็นต้น
3. ต้นทุนรวม (Total Cost) คือ ต้นทุนรวมระหว่างต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน
4. สมการรายรับ (Revenue Function) เป็นสมการที่ได้จากการคำนวณระหว่างราคาสินค้าคูณกันจำนวนสินค้าที่ขายได้ โดยเริ่มต้นรายรับมีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อมียอดขายสินค้ามากขึ้นก็ทำให้สมการรายรับเอียงขึ้นไปทางขวาอย่างต่อเนื่อง
5. จุดคุ้มทุน (Break-even point) เป็นจุดตัดกันระหว่างต้นทุนรวมกับสมการรายรับ ซึ่งเป็นจุดแบ่งระหว่างสองสถานะของบริษัทได้แก่ ขาดทุน(ฝั่งซ้าย) และกำไร(ฝั่งขวา)

ภาพประกอบที่ 12 แนวคิดจุดคุ้มทุน



ที่มา: Heizer and Render, 1996

วิธีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

1. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนด้วยกราฟ มีขั้นตอนดังนี้ (1) กำหนดเส้นต้นทุน โดยการลากเส้นในแนวระดับแกนนอนเป็นต้นทุนที่คงที่ และลากเส้นตรงจากจุดกำเนิดเอียงไปทางขวามือ เป็นต้นทุนแปรผัน โดยคำนวณจากค่าแรงงาน ค่าวัตถุดิบ และค่าใช้จ่ายอื่นๆ แปรผันไปตามจำนวนชิ้นงาน จากนั้นรวมต้นทุนทั้งสองเขียนเป็นเส้นตรงลากเอียงโดยเริ่มจากจุดตัดแกนของต้นทุนคงที่ตัดแกนแนวตั้ง (2) กำหนดเส้นรายรับ โดยคำนวณจากราคาสินค้าคูณกับจำนวนสินค้าที่ขายได้ โดยลากเส้นตรงจากจุดกำเนิดเอียงไปทางขวามือ และ (3) กำหนดหาจุดตัดระหว่างเส้นต้นทุนรวมและเส้นรายรับ
2. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนด้วยพีชคณิตเป็นการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณจากสูตร โดยกำหนดให้

BEP_x = จุดคุ้มทุนในหน่วยจำนวนสินค้า TR = รายรับรวม = P_x

$BEP_\$$ = จุดคุ้มทุนในหน่วยของการเงิน F = ต้นทุนคงที่

P = ราคาต่อหน่วยสินค้า V = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

x = จำนวนสินค้า TC = ต้นทุนรวม = $F + V_x$

จุดคุ้มทุนสามารถคำนวณได้โดย

รายรับรวม (TR) = ต้นทุนรวม (TC)

$P_x = F + V_x$

แก้สมการจะได้ $BEP_x = \frac{F}{P-V}$

ดังนั้นจะได้ว่า *รายได้ที่จุดคุ้มทุน* $= (BEP_x \&) P$

$= \left[\frac{F}{(P-V)}\right] P = \frac{F}{(P-V)/P}$

$= \frac{F}{1-V/P}$

กำไร = รายรับรวม (TR) – ต้นทุนรวม (TC)

$= P_x - (F + V_x)$

$= P_x - F - V_x)$

$= (P - V)_x - F$

โดยสรุปสามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้จากสมการที่ 5 และ 6

สมการ 4 คำนวณจุดคุ้มทุนในหน่วยปริมาณการผลิต

$$\textit{จุดคุ้มทุนในหน่วยปริมาณการผลิต} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาต่อหน่วยสินค้า} - \text{ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย}} \quad \text{--------- (5)}$$

สมการ 5 คำนวณจุดคุ้มทุนในหน่วยของเงิน

$$\textit{จุดคุ้มทุนในหน่วยของเงิน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{1 - \frac{\text{ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย}}{\text{ราคาต่อหน่วยสินค้า}}} \quad \text{--------- (6)}$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้ อธิบายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ แนวคิดจากทฤษฎีข้อจำกัด แนวคิดจากทฤษฎีแถวคอย การผลิตแบบลีน และการจำลองสถานการณ์

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทฤษฎีข้อจำกัด

บรรลือ ชัยสมตระกูล (2544) ประยุกต์ใช้ระบบแนวความคิดจากทฤษฎีข้อจำกัดกับโรงงานผลิตเครื่องเรือนโดยวิเคราะห์และหากระบวนการผลิตที่เป็นข้อจำกัด จากนั้นก็ปรับปรุง

กระบวนการผลิตที่เป็นข้อจำกัด ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 25% ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานลดลง 20% ปริมาณของคงคลังลดลง 25%

ชูศักดิ์ พรสิงห์ (2552) ประยุกต์ใช้ระบบแนวความคิดจากทฤษฎีข้อจำกัดและระบบควบคุมการผลิตแบบ DBR กับโรงงานผลิตของเล่นไม้จากไม้ยางพารา ที่เดิมใช้ระบบควบคุมการผลิตแบบ MRP ผลการเปรียบเทียบผลจากช่วงไตรมาสเดียวกันของก่อนและหลังการประยุกต์ สรุปว่าหลังการประยุกต์ใช้ การส่งมอบงานตรงต่อเวลาดีขึ้นจาก 77.07% เป็น 93.51% สัดส่วนมูลค่าจากการผลิตต่อค่าใช้จ่ายแรงงานเพิ่มขึ้นจาก 4.15 เป็น 5.25 ค่าเฉลี่ยเวลานำลดลงจาก 23.01 วัน เป็น 21.13 วัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์เพื่อแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต

นักวิจัยหลายท่านที่ใช้การจำลองสถานการณ์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระบบต่างๆ เช่น

ชรินทร์ สิงห์นิล (2542) ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีน่า ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลารวมในกระบวนการผลิตจริงเทียบกับการจำลองสถานการณ์ ผลทำให้สามารถลดเวลารวมของกระบวนการผลิตธนบัตรจาก 707 ชั่วโมงเหลือ 503 ชั่วโมงต่อหนึ่งรุ่นการผลิต โดยที่ปริมาณการผลิตธนบัตรคงเดิม

รังสรรค์ กระจาย (2543) ศึกษาการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแผงวงจรไฟฟ้ารวมของโรงงานแห่งหนึ่งโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SIMAN และ WITNESS แล้วนำแบบจำลองสถานการณ์มาทำการทดลอง เพื่อค้นหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตแผงวงจรไฟฟ้ารวม โดยการรวมกระบวนการผลิต Dambar และ Forming เข้าด้วยกัน สามารถลดของคงคลังในกระบวนการผลิตและลดวงจรเวลาการผลิตได้ประมาณ 10% และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้อีกประมาณ 2.78 ล้านบาทต่อปี

สถาพร พลแสน (2543) ใช้การจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมอารีน่า มาวิเคราะห์ระบบการผลิตจริงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต โดยพิจารณาจากกำลังการผลิตที่สามารถทำได้ เวลาในการประกอบชิ้นงาน อัตราการใช้พนักงาน อัตราการใช้เครื่องจักร และปริมาณงานระหว่างทำ โดยจะเน้นการจัดส่งงานระหว่างสถานีผลิตในสายการประกอบ จากงานวิจัยพบว่า การเพิ่มจำนวนงานต่อพาเลททำให้รอบเวลาของการผลิตต่อหนึ่งชิ้นงานของเครื่องจักรในสายงานการประกอบแต่ละเครื่องลดลง จึงสามารถป้อนงานเข้าสายการผลิตมากขึ้น และการลดปริมาณงานขนย้ายในทุกส่วนของการประกอบ โดยเฉพาะการย้ายงานออกจากสายงานประกอบหลักหรือเพิ่มรอบการเดินของพนักงานขนย้ายงาน จะช่วยลดปริมาณงานค้างในสายงานประกอบ และทำให้รอบเวลาการผลิตชิ้นงานลดลง เนื่องจากเป็นการลดเวลารอของชิ้นงานโดยตรง

สุชาดา วราสินธุ์ (2543) ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีนา เป็นเครื่องมือในการศึกษาถึงแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการหาเวลาที่มีการคับคั่งของงานสูง (Bottleneck) ในกระบวนการผลิต แล้ววิเคราะห์และเปรียบเทียบผลทางด้านสถิติในหลายทางเลือกเพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตที่ดีที่สุด ซึ่งทางเลือกที่ดีที่สุดทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ 1.19 เท่าของกระบวนการผลิตแบบปัจจุบัน และสามารถลดเวลาในการทำงานลงได้ร้อยละ 45.50 ของกระบวนการผลิตปัจจุบัน

Kadipasaoglu et al. (2000) ใช้การจำลองสถานการณ์อารีน่าศึกษาเปรียบเทียบ ผลกระทบเนื่องจากปริมาณกำลังการผลิตสำรอง และ ตำแหน่งของกระบวนการผลิตที่เป็นข้อจำกัด โดยผลที่ได้พบว่ากำลังการผลิตสำรองมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น แต่ส่งผลให้ผลตอบแทนลดลง สำหรับกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิต จึงมีการสรุปไว้ว่าปริมาณกำลังสำรอง หรือตำแหน่งของกระบวนการผลิตที่เป็นข้อจำกัด ขึ้นอยู่กับระดับของความแปรปรวนและการหยุดทำงานของระบบ

ภีระ ศรีอำพันธ์ (2546) ใช้โปรแกรม Process Control ในการจำลองสถานการณ์ระบบควบคุมการผลิตแบบ DBR เปรียบเทียบกับระบบการผลิตแบบเก่าคือ ระบบการควบคุมการผลิตแบบดึง เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกระจกแปรรูปนิรภัย โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาการผลิตตามกระบวนการแก้ปัญหา 5 ขั้นตอนของทฤษฎีข้อจำกัด โดยเริ่มจากการระบุข้อจำกัด และปรับปรุงข้อจำกัดให้น้อยลง ผลจากดำเนินงานในการปรับปรุงข้อจำกัดพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพหรือสามารถทำงานได้มากขึ้น 6% และงานระหว่างทำในกระบวนการผลิตลงน้อยลง 6 เท่า เมื่อเทียบกับระบบการผลิตที่ใช้ปัจจุบัน

วิลาสินี รอดนิ่ม (2548) ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีน่า และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดขนาดคัมบังที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยพิจารณาจาก ค่าเฉลี่ยของรอบระยะเวลาการผลิต (Average Cycle Time) และค่าเฉลี่ยปริมาณงานระหว่างผลิต (Average Work in Process) พบว่าขนาดคัมบังจากการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์มีผลการดำเนินงานที่ดีกว่าการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตจริง พบว่าขนาดคัมบังจากการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ให้ผลการดำเนินงานในแง่ของรอบระยะเวลาการผลิตและปริมาณการผลิตที่ดีกว่าการวิเคาะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ และคณะ (2550) ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมโปรโมเดล (Pro-Model) ในการวิเคราะห์สถานีงานที่เป็นข้อจำกัดของโรงงานผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน และทำการแก้ไขกระบวนการที่เป็นข้อจำกัด ส่งผลให้งานระหว่างผลิตมีจำนวนลดลง และมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อัตราผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 150% และได้มีการปรับแก้แบบจำลองให้มีกำลังการผลิตสูงขึ้นด้วยการเพิ่มพริ้นท์ติ้งฟิกเจอร์ จากการประมวลผลแบบจำลองพบว่า งานสามารถเข้าสู่สายการผลิตได้เร็วขึ้น

Abed (2008) ได้จำลองสถานการณ์ความต้องการที่แปรปรวน และต้องการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาการไหลของระบบที่ล่าช้าจากคอขวด และเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ผลจากการศึกษาแบบจำลองและพัฒนาปรับปรุงระบบ สามารถทำให้เวลาในการผลิตลดลง 11.4%, ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรในสถานีต่างๆเพิ่มขึ้น 50%

เจษฎา คูณมี และสิทธิพร พิมพ์สกุล (2554) ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมการผลิตแบบผสมระหว่างแบบผลักและแบบดึงและระบบควบคุมการผลิตแบบ Drum-Buffer-Rope ในกระบวนการผลิตตามสั่งของลูกค้า เพื่อต้องการที่จะตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่ต้องการสินค้าเร็วยิ่งขึ้น ทำให้ต้องปรับระบบการผลิตให้ยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพ ด้วยทฤษฎี Pull-Push System, Drum-Buffer-Rope และจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปอารีน่า (ARENA) สร้างการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบระบบการผลิตเพื่อหาระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพนำมาปรับใช้ในองค์กร จากการจำลองสถานการณ์พบว่าการควบคุมการผลิตแบบผสมมีประสิทธิภาพมากที่สุดทั้งในด้านเวลานำ การรอคอย และการกำหนดตัวกันชน (Buffer)

Sungkamee (2013) ประยุกต์ใช้เทคนิคของแนวคิดแบบลีน คือการวิเคราะห์สายธารคุณค่ามาวิเคราะห์กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อที่จะกำจัดของเสียในการผลิต และประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า ในการสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับมาตรการที่จะเพิ่มผลผลิต และได้ข้อสรุปจากการศึกษาในการผลิตว่าจะลดเวลาในวงจรการผลิตจาก 21.18 นาที เป็น 19.89 นาที สามารถใช้ประสิทธิภาพของคนในกระบวนการได้ 60% และกำจัดคอขวดการผลิต ที่นำไปสู่ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น 12.19%

Thomassey (2014) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ การแข่งขันทางด้านต้นทุนในยุโรป และด้วยต้นทุนค่าแรงที่สูง จึงทำให้โรงงานผลิตหันมาสนใจการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาแทนที่ระบบปกติ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เปรียบเทียบการไหลของกระบวนการผลิตในขั้นตอนการกระจายกระสวยสำหรับการกรอด้ายด้วยโดยระบบปกติและระบบอัตโนมัติ โดยใช้ทฤษฎีลีน และสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ทำให้พบว่าการกระจายกระสวยโดยระบบอัตโนมัติมีการไหลที่ดีกว่า และมีต้นทุนรวมที่ต่ำกว่า

Lang (2014) ได้พัฒนาประสิทธิภาพการดำเนินการของระบบการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในขณะที่มีการแข่งขันสูงในตลาดชิ้นส่วนรถยนต์ ผู้ผลิตหลายรายต้องแก้ปัญหาในการผลิตชิ้นส่วนให้

ตรงตามต้องการของตลาดและ ปรับปรุงองค์กรให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับคู่แข่งรายใหญ่ได้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปอารีน่า (ARENA) ในการจำลองสถานการณ์ระบบผลิต โดยที่ไม่ได้ยังแก้ไขระบบจริง จากการศึกษาผลของแบบจำลอง พบว่า ต้นทุนในการผลิตลดลง, การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น, มีผลกำไรมากขึ้น และรักษาการให้บริการลูกค้าเดิมรวมถึงดึงดูดลูกค้าใหม่ให้เข้ามาใช้บริการ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกของหลายๆ ท่านที่ได้นำการจำลองสถานการณ์ไปใช้แก้ปัญหาในงานดังนี้

กิตติพงศ์ ลิ้นแก้ว (2537) ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SIMAN IV ศึกษาเปรียบเทียบ ระบบควบคุมการผลิตแบบ MRP II กับ ระบบควบคุมแบบ DBR ในกระบวนการผลิตของโรงงานเสื้อผ้าสำเร็จรูป

Duclos (1995) ใช้การจำลองสถานการณ์ ศึกษาเปรียบเทียบระบบควบคุมการผลิตแบบ MRP และระบบควบคุมการผลิตแบบ DBR ในกระบวนการผลิตของโรงงานชนิดลื่นไหล

Savsar M (1997) ใช้การจำลองสถานการณ์ในกระบวนการผลิตอิเล็กทรอนิกส์บอร์ด เพื่อวิเคราะห์ว่าจำนวนบัตรคัมบังเท่าไร ให้ผลลัพธ์ของปริมาณงานระหว่างผลิตและจำนวนสินค้าสำเร็จรูปดีที่สุด

พฤทธิพงศ์ โพธิวราพรรณ (2548) ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมโปรโมเดล เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณซึ่งเป็นอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่องและแบบช่วง)

Betterton and Cox (2009) ใช้การจำลองสถานการณ์ ระบบควบคุมการผลิตแบบ DBR เพื่อปรับปรุง สายการผลิตแบบติดต่อกัน

Wu et al (2010) ใช้การจำลองสถานการณ์ ศึกษาเปรียบเทียบระบบควบคุมการผลิตแบบ DBR กับระบบควบคุมการผลิตแบบตัด (Cutting Approach) โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ในกระบวนการผลิตที่มีการไหลของงานย่อมมีกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดหรือคอขวดในระบบ โดยสามารถหากระบวนการที่เป็นข้อจำกัดดังกล่าวได้จากหลักการของ TOC ที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (Five - step Process) ดังนี้

1. หาจุดที่เป็นข้อจำกัดของระบบหรือกระบวนการ
2. หาวิธีการที่ใช้ประโยชน์จากจุดที่เป็นข้อจำกัดอย่างเต็มที่
3. จัดการทุกอย่างเพื่อสนับสนุนการทำงานของข้อจำกัด
4. หาวิธีที่ลดการเป็นข้อจำกัดลง
5. ถ้าหากขั้นตอนที่ผ่านมาข้อจำกัดได้ลดลง ให้ย้อนไปที่ขันตอนที่ 1

จากนั้นก็พบว่าเมื่อพบกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดในกระบวนการผลิตมักจะพบความสูญเสียมากกว่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการและหนึ่งในนั้นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่งานวิจัยให้ความสำคัญคือระยะเวลาในการรอคอย เพื่อเป็นตัววัดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และเมื่อทราบปัญหาและตัวชี้วัดในกระบวนการผลิตแล้ว ก็จะนำเครื่องมือและเทคนิคของการผลิตแบบลีนเข้ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงในการลงทุนจะมีการนำโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการจำลองสถานการณ์ในสถานการณ์ต่างๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตว่าหากดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแผนจะเกิดผลกับกระบวนการผลิตอย่างไรบ้าง

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์พบว่ามีหลายโปรแกรม แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ต่างๆ ในการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต

ปีที่ศึกษา	**ประเภทอุตสาหกรรมการผลิต**	**ประเทศ**	**ผู้วิจัย**	**โปรแกรมที่ใช้**	
				อารีน่า	**อื่นๆ**
1999	ธนบัตร	ไทย	ชรินทร์ สิงห์นิล	✓	
2000	พลาสติก	ไทย	สุชาดา วราสินธุ์	✓	
2000	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	ไทย	รังสรรค์ กระจาย	✓	
2000	การผลิตทั่วไป	สหรัฐอเมริกา	Kadipasaoglu et al	✓	
2000	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	ไทย	สถาพร พลแสน	✓	
2004	อุปกรณ์กระจก	ไทย	ภีระ ศรีอำพันธ์		✓ (Process Control)
2005	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	ไทย	วิลาสินี รอดนิ่ม	✓	Mathematic Model)
2007	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	ไทย	บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ และคณะ		✓ (Pre-Model)
2008	อาหาร	ซาอุดิอาระเบีย	Seraj Yousef Abed	✓	
2011	อุปกรณ์ไฟฟ้า	ไทย	เจษฎา คูณมี	✓	

ปีที่ศึกษา	ประเภทอุตสาหกรรมการผลิต	ประเทศ	ผู้วิจัย	โปรแกรมที่ใช้	
				อารีน่า	อื่นๆ
2013	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	ไทย	พีรยา สังขมี	✓	
2014	สิ่งทอ	ฝรั่งเศส	Sébastien Thomassey	✓	
2014	รถยนต์	สหรัฐอเมริกา	Teresa Lang, Edward J	✓	

ที่มา: ผู้วิจัย

นอกจากนี้ในปัจุบันมีโปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่ถูกเขียนขึ้นมาใหม่ๆ อีกมากมาย แต่ยังคงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ที่ราคาค่อนข้างสูง และยังไม่มีหนังสือที่เป็นสื่อการเรียนการสอนที่สามารถทำการศึกษาได้ ดังนั้นโปรแกรมอารีน่าจึงยังคงได้รับความนิยมและเหมาะสมกับการนำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นสำหรับสถานการณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต สำหรับโปรแกรมต่างๆ นั้นได้รวบรวมและสรุปข้อเปรียบเทียบไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบข้อดีและข้อจำกัดของโปรแกรมจำลองสถานการณ์

โปรแกรม	ข้อดี	ข้อจำกัด
Pro-Model	- ง่ายต่อการใช้งานพอสมควร - สามารถออกแบบ Model ที่แสดงภาพเคลื่อนไหวได้	- ยังไม่มีหนังสือที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง
Process Control	- ใช้ในการจำลองสถานการณ์เชิงเหตุการณ์ - ใช้ในการจำลองสถานการณ์เชิงพฤติกรรม	- การสร้างแบบจำลองซับซ้อน
ARENA	- สามารถวิเคราะห์ปัญหาแบบ Discrete Event - ใช้ในระดับ Operation Process - ตอบโจทย์ได้ดีในทางวิศวกรรมอุตสาหการ - สามารถใช้ Feature Function ในการทำงาน - สามารถเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสม - มีหนังสือและสื่อการสอนที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย - มีกรณีศึกษาที่นำไปประยุกต์ใช้แล้วประสบความสำเร็จทั้งในประเทศ และต่างประเทศ	- ยังไม่สามารถปรับแก้หรือเขียนโค้ดเข้าไปแต่ละส่วนของ Model ได้ทันทีด้วยภาษา Java

โปรแกรม	ข้อดี	ข้อจำกัด
AnyLogic	- สามารถวิเคราะห์ปัญหาแบบ Discrete Event, System Dynamics และ Agent Bases - ใช้ในระดับ Operation Process และ ระดับ Strategic Plan - สามารตอบโจทย์ได้ทุกสายงานทั้ง วิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และบริหารศาสตร์ - สามารถสร้างโมเดลได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย - มี 3D Animation - สามารถปรับแก้หรือเขียนโค้ดเข้าไปแต่ละส่วนของ Model ได้ทันทีด้วยภาษา Java	- ยังไม่มีหนังสือที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง - ยังไม่มีกรณีศึกษาให้เรียนรู้ - หากต้องการศึกษาจะต้องไปเรียนในหลักสูตรเฉพาะและราคาค่อนข้างสูง
Simio	- สามารถนำไปใช้เพื่อการศึกษาพฤติกรรมและปรับปรุงความสามารถของระบบที่มีความซับซ้อน ไม่ว่าจะเป็นการทหาร สนามบิน ระบบการผลิต การจัดการห่วงโซ่อุปทาน ท่าเรือ การพัฒนาระบบลีน หรือซิกซิกม่า - สร้างแบบจำลองในรูปแบบ 3มิติได้อย่างรวดเร็วและง่ายดายด้วยการทำงานแบบ Drag-and-Drop ที่เชื่อมประสานกันช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างแบบจำลองได้ง่ายและรวดเร็ว	- ยังไม่มีหนังสือที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง - ยังไม่มีกรณีศึกษาให้เรียนรู้ - หากต้องการศึกษาจะต้องไปเรียนในหลักสูตรเฉพาะและราคาค่อนข้างสูง
FlexSim	- สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติ การแสดงผลแบบ 3 มิติ แบบ Real Time - สามารถจำลองระบบได้ครอบคลุมสายห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) เช่น ใช้เพื่อออกแบบคลังสินค้า (Warehouse) และระบบการจัดเก็บสินค้าแบบอัตโนมัติ สามารถใช้วิเคราะห์การรับและจ่ายสินค้าได้ - สามารถแสดงการจำลองเพื่อวางแผนในการควบคุมวัสดุคงคลัง (Inventory Control) การวิเคราะห์ Performance ของสายการผลิตได้อย่างหลากหลาย	- ยังไม่มีหนังสือที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง - มีกรณีศึกษาให้เรียนรู้ไม่มาก - หากต้องการศึกษาจะต้องไปเรียนในหลักสูตรเฉพาะและราคาค่อนข้างสูง

ที่มา: https://www.google.co.th/?gws_rd=ssl#tbm=vid&q=anylogic+in+manufacturing, http://www.simlogy.com/news.html, http://hapfind.com/event/fb/-flexsim_518762

และเพื่อเป็นการวิเคราะห์ทางธุรกิจที่สมบูรณ์ ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ทางด้านการเงินเป็นเป็นตัวชี้วัดเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจ โดยจะทำการคำนวณเกี่ยวกับดัชนีชี้วัดทางด้านการเงิน ดังนี้

- จุดคุ้มทุน (Breakeven point)
- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)
- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)
- อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีข้อจำกัดพบกระบวนการที่เป็นคอขวดในกระบวนการผลิต
2. ศึกษาทฤษฎีแถวคอยเพื่อพิจารณาปริมาณแถวคอยที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ปัจจุบัน
3. นำเครื่องมือและเทคนิคของลีนเข้ามาสร้างแนวคิดสำหรับการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต
4. สร้างแบบจำลองสถานการณ์อารีน่า เพื่อเป็นเครื่องมือประกอบการตัดสินใจในส่วนของกระบวนการทำงาน
5. วิเคราะห์ทางด้านการเงิน เป็นตัวชี้วัดที่ช่วยในการตัดสินใจในการลงทุน

สำหรับประเด็นสำคัญของการทำงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า จากการศึกษางานวิจัยส่วนใหญ่ในเชิงอุตสาหกรรมการผลิตที่ได้กล่าวมาในข้างต้น มุ่งเน้นในการศึกษาการแก้ปัญหากระบวนการที่เป็นข้อจำกัดหรือคอขวด โดยส่วนใหญ่จะใช้ประสิทธิภาพการทำงานเป็นตัวชี้วัดผลของงานวิจัย แต่จุดเด่นของงานวิจัยฉบับนี้ นอกจากจะใช้ประสิทธิภาพในการทำงานเป็นตัวชี้วัดแล้ว ยังให้ความสนใจกับการวิเคราะห์ทางการเงินว่าจะคุ้มค่าการลงทุนหรือไม่ ซึ่งเป็นจุดที่แตกต่างจากงานวิจัยฉบับอื่น และนอกจากนี้งานวิจัยฉบับนี้ยังจะทำการสรุปรูปแบบการวิเคราะห์ตั้งแต่เริ่มต้นการหากระบวนการที่เป็นคอขวด จนกระทั้งการวิเคราะห์การเงินอีกด้วย

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับการติดตั้งสถานีงานเพิ่มเติมในกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดของการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยวิเคราะห์ถึงความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานว่าจะมีผลอย่างไร และมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ศึกษารายละเอียดของบริษัทกรณีศึกษา
- ข้อมูลเบื้องต้นขององค์กร
- ข้อมูลกระบวนการผลิต
- ข้อมูลสินค้าคงคลัง

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3 การสร้างแบบจำลอง

3.4 การกำหนดสถานการณ์ในการวิจัย

3.5 การจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ผลกระทบ

3.6 การวิเคราะห์ทางการเงิน

3.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์

3.8 สรุปรูปแบบการการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม

3.9 สรุปผลและนำเสนองานวิจัย

3.1 รายละเอียดบริษัทกรณีศึกษา

3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นขององค์กร

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทชั้นนำทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบอัตโนมัติ ให้บริการเกี่ยวกับวิธีการและอุปกรณ์เพื่อการรักษาความปลอดภัย การส่งผ่านพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการกระจายของกระแสไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของอุตสาหกรรมการค้าและหน่วยงานสาธารณูปโภค

บริษัทกรณีศึกษาสาขาประเทศไทยมีประวัติศาสตร์อันยาวนานกับการพัฒนาสาธารณูปโภคและภาคอุตสาหกรรมของไทยมานานกว่า 90 ปี

ฐานการผลิตในประเทศไทยตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมบางปู มีการผลิตตัวเก็บประจุแรงดันต่ำ, การผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า, บริการและการตรวจสอบน้ำมันด้วยห้องปฏิบัติการน้ำมัน และสวิตช์แรงดันไฟฟ้าขนาดกลางและต่ำ

เพื่อการส่งเสริมการบริการหลังการขายและเพื่อให้บริการลูกค้าได้ทั่วประเทศ บริษัทกรณีศึกษาได้จัดตั้งศูนย์ธุรกิจในจังหวัดระยอง จังหวัดชลบุรี จังหวัดสระบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และจังหวัดขอนแก่น

สำหรับข้อมูลสินค้าและลูกค้าขององค์กร บริษัทกรณีศึกษามีการแบ่งกลุ่มสินค้าออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยแยกออกเป็นธุรกิจต่างๆ ประกอบด้วย Power Product คือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดของแรงดันไฟฟ้ากลางถึงสูง ได้แก่ เบรคเกอร์วงจรสวิตซ์ตัวเก็บประจุ และหม้อแปลงไฟฟ้า Power System เป็นการสร้างระบบแบบครบวงจรสำหรับการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้า Discrete Automation and Motion ได้แก่ผลิตภัณฑ์ประเภทมอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไดรฟ์ โซ่ล่าเซลล์ และหุ่นยนต์ Low Voltage Products ได้แก่ผลิตภัณฑ์และระบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในบ้าน ที่อยู่อาศัย และอาคารอุตสาหกรรม รวมทั้งวงจรไฟฟ้าเบรคเกอร์แรงดันต่ำ สวิทช์ควบคุมผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์สายไฟ และเปลือกสายเคเบิล และ Process Automation ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ระบบและบริการที่ออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของกระบวนการทางอุตสาหกรรม เป็นต้น

สำหรับสินค้าที่เราจะทำการศึกษาอยู่ในกลุ่มธุรกิจ Power Product เป็นสินค้าที่เรียกว่าหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) ทำหน้าที่เพิ่มและลดแรงดันไฟฟ้าดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 โดยมีลักษณะของผลิตภัณฑ์และกลุ่มลูกค้าดังข้อมูลด้านล่าง

ภาพประกอบที่ 13 สินค้าและลูกค้าของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ลักษณะผลิตภัณฑ์

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังคือ เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับการใช้งานของลูกค้า

ลูกค้าของผลิตภัณฑ์

การไฟฟ้าและหน่วยงานระบบสาธารณูปโภคโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ, ธุรกิจอุตสาหกรรม และสถานประกอบการในเชิงพาณิชย์

Power Transformer Product

ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

3.1.2 ข้อมูลกระบวนการผลิต

สำหรับกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

ภาพประกอบที่ 14 ภาพแสดงกระบวนการทำงานขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

จากการศึกษาเวลาในกระบวนการผลิตสามารถสรุปค่าเวลาเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 3

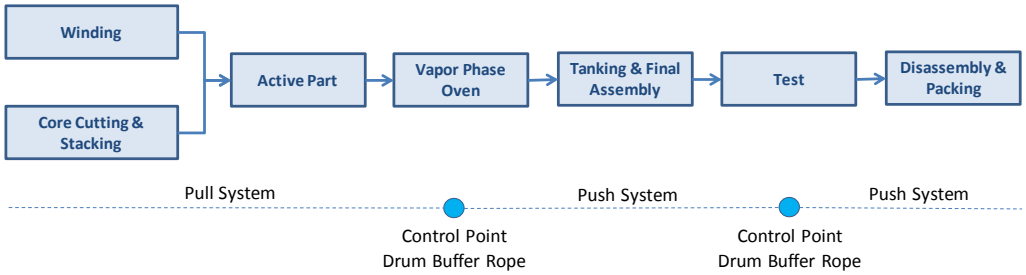
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิตในแต่ละกระบวนการ

กระบวนการผลิต	จำนวนสถานี	เวลาทำงานเฉลี่ย (วัน)	ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิตต่อสถานี (วัน)
ผลิตแกนเหล็ก	2	6.2	3.1
ผลิตขดลวด	2	4.0	2.0
ประกอบไส้ในหม้อแปลง	3	6.9	2.3
อบไส้ในหม้อแปลง	1	4.0	4.0
ประกอบขั้นสุดท้าย	2	7.3	3.7
ตรวจสอบหม้อแปลง	1	3.1	3.1
บรรจุภัณฑ์	2	6.3	3.1

ที่มา: ข้อมูลเวลาการผลิตย้อนหลังปี 2557

บริษัทกรณีศึกษามีการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบผสมระหว่างระบบการผลิตแบบ Pull-Push System และ Drum Buffer Rope โดยแบ่งระบบการผลิตสำหรับแต่ละกระบวนการดังนี้

ภาพประกอบที่ 15 ระบบที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ



ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

Pull System หรือระบบดึง เป็นระบบที่ใช้หลักการการดึงวัตถุดิบเข้ามาทำงานในกระบวนการผลิตขดลวด (Winding) และกระบวนการผลิตแกนเหล็ก (Core Cutting & Stacking) เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง (Active Part)

Push System หรือระบบผลัก เป็นระบบที่ใช้หลักการการผลักงานระหว่างกระบวนการไปยังกระบวนการถัดไปได้แก่ กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลงลงไปในถังหม้อแปลง (Tanking & Final Assembly) กระบวนตรวจสอบหม้อแปลง (Test) และกระบวนการรื้อและทำบรรจุภัณฑ์สำหรับหม้อแปลง (Disassembly & Packing)

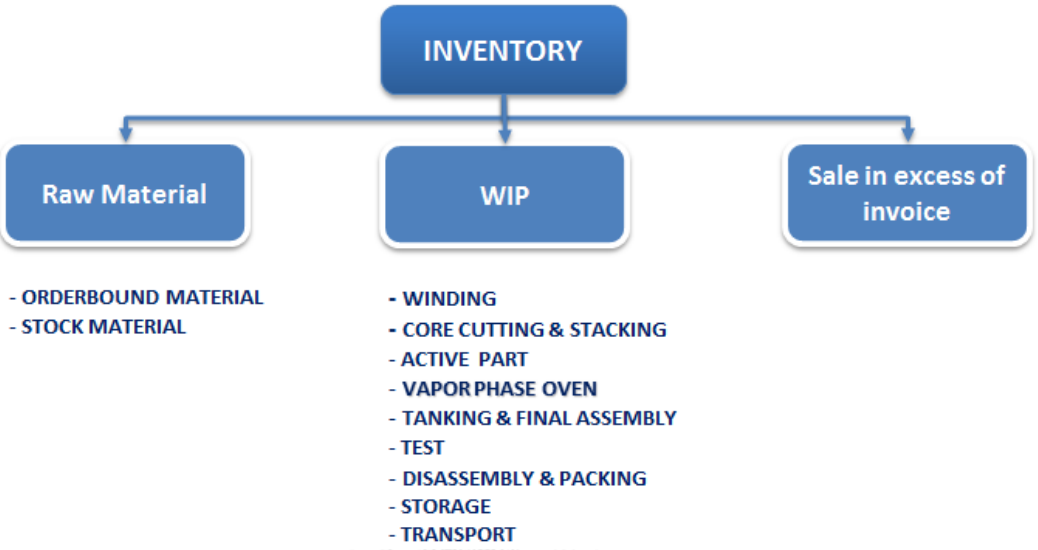
Drum Buffer Rope หรือระบบควบคุมกระบวนการโดยใช้ตารางเวลา ใช้กับกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดโดยการกำหนดตารางเวลาว่าจะเริ่มกระบวนการเมื่อไหร่ และจบกระบวนการเมื่อไหร่ โดยทั้ง 2 กระบวนการจะเป็นกระบวนการที่ใช้ควบคุมการวางแผนการผลิตทั้งหมด

สำหรับการเริ่มต้นกระบวนการผลิต เมื่อได้ตารางเวลาจากกระบวนการทั้ง 2 คือกระบวนการอบความชื้น และกระบวนการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง จะนำมาเป็นตัวกำหนดกระบวนการผลิตทั้งหมด และยังสามารถนำไปวางแผนการเข้ามาของวัตถุดิบที่เป็นเฉพาะสำหรับโปรเจคนั้นๆ ในที่นี้จึงได้ทำการสรุปสินค้าคงคลังที่อยู่ในโรงงานดังนี้

3.1.3 ข้อมูลสินค้าคงคลัง

โรงงานกรณีศึกษามีโครงสร้างของวัตถุดิบในโรงงาน ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

ภาพประกอบที่ 16 โครงสร้างการบริหารจัดการวัตถุดิบ



ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

Raw Material แบ่งวิธีการจัดการวัตถุดิบเป็น 2 ประเภทคือ

1) Orderbound Material วัตถุดิบที่ใช้เฉพาะสำหรับแต่ละโปรเจค ต้องมีการออกแบบเฉพาะสำหรับแต่ละโปรเจค มีการบริหารจัดการโดยการควบคุมการเข้าของวัตถุดิบตามแผนเพื่อนำมาใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต โดยมีการกำหนดวัตถุดิบเป็นกลุ่มๆ ให้สอดคล้องกลับกระบวนการผลิตนั้นๆ สำหรับการวางแผนเป็นการวางแผนแบบย้อนหลัง (Backward Planning) ใช้หลักทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constant) เป็นตัวกำหนดการนำเข้าของวัตถุดิบในกระบวนการต่างๆ ดังภาพ

ภาพประกอบที่ 17 การวางแผนในการนำวัตถุดิบเข้าโรงงาน

ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

จากภาพแสดงถึงการวางแผนในการนำเข้าของวัตถุดิบเข้ามาในโรงงานมีการแบ่งเป็นกลุ่ม โดยวัตถุดิบที่นำเข้ามาในกลุ่มของ Material KIT 1 จะต้องถึงโรงงานก่อนกระบวนการเตาอบเริ่มทำงานเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งจะนำวัตถุดิบดังกล่าวมาใช้ในผลิตแกนเหล็กและผลิตขดลวด สำหรับวัตถุดิบที่นำเข้ามาในกลุ่มของ Material KIT 2 จะต้องถึงโรงงานก่อนกระบวนการเตาอบเริ่มทำงานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งจะนำวัตถุดิบดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง และวัตถุดิบที่นำเข้ามาในกลุ่มของ Material KIT 3 จะต้องถึงโรงงานก่อนกระบวนการเตาอบเริ่มทำงานเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งจะนำวัตถุดิบดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย

2) Stock Material วัตถุดิบที่ใช้สำหรับทุกโปรเจค หรือเกือบทุกโปรเจค ซึ่งสำหรับวัตถุดิบกลุ่มที่เป็น Stock Material นี้จะเริ่มต้นจากการแบ่งกลุ่มของวัตถุดิบก่อนที่จะกำหนดวิธีการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง โดยการแบ่งกลุ่มของวัตถุดิบพิจารณาจากปัจจัยในเรื่อง ขนาดของวัตถุดิบ ราคาของวัตถุดิบ ลักษณะของวัตถุดิบ และการใช้งานของวัตถุดิบ หลังจากพิจารณาปัจจัยต่างๆ แล้วได้มีการแบ่งกลุ่มวัตถุดิบดังนี้

- Main Store Material เป็นวัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก ราคาแพง สามารถระบุได้ว่าแต่ละโปรเจคใช้จำนวนเท่าไหร่ และต้องมีใบ Test Report เพื่อรับรองคุณภาพของวัตถุดิบส่งให้ลูกค้า

- Bincard Material เป็นวัตถุดิบที่มีลักษณะของหน่วยของวัตถุดิบเป็นเมตรและกิโลกรัม มีขนาดใหญ่และหนัก ปริมาณการใช้งานไม่สามารถระบุได้แน่นอน ขึ้นอยู่กับหน้างาน ดังนั้นวัตถุดิบประเภทนี้จะถูกนำไปวางไว้ที่พื้นที่ทำงานในแผนกต่างๆ และให้ผู้ใช้งานจะเป็นผู้บันทึกปริมาณการใช้งานลงในแบบฟอร์มที่กำหนดไว้

- Twobin เป็นวัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก ราคาไม่แพง และไม่สามารถระบุได้เนื่องจากปริมาณใช้งานค่อนข้างเยอะและมีความหลากหลาย เช่น น็อต สกรู และแหวน โดยลักษณะของวัตถุดิบของกลุ่มนี้จะมี 2 กล่อง ผู้ใช้งานจะใช้กล่องที่ 1 จนหมดก่อนจึงค่อยดึงกล่องที่ 2 มาใช้งาน โดยเมื่อกล่องที่ 1 หมด ผู้ใช้งานจะนำกล่องเปล่ามาส่งคืนสโตร์ทันที และทางสโตร์ก็จะทำการออกใบขอซื้อวัตถุดิบตัวดังกล่าว และเมื่อวัตถุดิบมาถึงโรงงานสโตร์ก็จะนำวัตถุดิบมาเติม และผู้ใช้งานก็จะใช้งานจากกล่องนั้นๆ โดยการหมุนเวียนดังที่กล่าวมาข้างต้น

- Smartbin Material เป็นวิธีการบริหารจัดการวัตถุดิบแบบใหม่ ซึ่งผู้ขานจะเป็นผู้บริหารสินค้าคงคลังให้ โดยจะต้องพยาการณ์ปริมาณการใช้งานล่วงหน้าสำหรับปีถัดๆ ในทุกๆสิ้นปี โดยการบริหารจัดการสินค้าคงคลังกลุ่มนี้เป็นแบบ Periodic Review System ผสมกับ Continuous Review System เมื่อวัตถุดิบลดลงเหลือปริมาณที่ตั้งไว้คือ Reorder Point ทางผู้ขายจะนำของมา

เติมเต็มให้เท่ากับปริมาณตามที่กำหนดภายใน 1 สัปดาห์ แต่ในกรณีเร่งด่วนหากของลดลงถึงจุด Safety Stock ทางผู้ขายจะนำของมาเติมภายใน 24 ชั่วโมง

WIP (Work in Process) เป็นสินค้าคงคลังที่อยู่ในกระบวนการผลิตจนกระทั่งส่งมอบ Finish Goods เนื่องจากผลิตภัณฑ์หม้อแปลงไม่มีการผลิตก่อนได้รับคำสั่งซื้อจึงไม่มี

Sale in exceed of invoice เป็น Inventory ในรูปของตัวเงินที่เมื่อมีการส่งมอบผลิตภัณฑ์ไปแล้วแต่ยังไม่ได้รับเงินจากลูกค้าสำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้ศึกษาจะต้องทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นไปที่ 2 ส่วนคือ Raw Material และ Work in Process เนื่องจากต้องพิจารณาเกี่ยวกับจำนวนของสินค้าคงคลังที่อยู่ในกระบวนการผลิตว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเตาอบ จะส่งผลกระทบต่อสินค้าคงคลังประเภทนี้อย่างไร

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

แหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยข้อมูลจาก 2 แหล่ง คือ

1. ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ ประกอบด้วย
   - การสัมภาษณ์ผู้บริหารเกี่ยวกับนโยบายในการนำเตาอบที่ไม่ได้งานจากโรงงานหลักที่ต่างประเทศมาใช้งานที่สาขากรณีศึกษาในประเทศไทย
   - การสัมภาษณ์ฝ่ายขายเกี่ยวกับ การวิเคราะห์การขยายตัวของตลาดหม้อแปลงไฟฟ้าว่าความต้องการจะเพิ่มขึ้น 15%
2. ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมของบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่
   - แนวโน้มของ GDP ของประเทศที่มีผลต่อการขยายตัวของตลาดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ภาพประกอบที่ 18 แนวโน้มของ GDP ของประเทศที่มีผลต่อตลาดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

กลุ่มประเทศลูกค้าหลัก	2015	2016	2017	2018	2019	2020	แนวโน้ม	สัดส่วนการเปลี่ยนแปลง
ไทย	1,107,000	1,156,080	1,218,229	1,285,559	1,357,102	1,440,671		23%
อินโดนีเซีย	2,838,643	3,018,889	3,240,436	3,498,814	3,789,333	4,103,298		31%
มาเลเซีย	813,517	860,231	918,984	984,757	1,056,463	1,133,204		28%
ฟิลิปปินส์	742,251	798,393	865,192	940,421	1,023,404	1,113,547		33%
สิงคโปร์	468,909	488,351	512,844	539,924	569,523	600,688		22%
ออสเตรเลีย	1,136,918	1,183,258	1,240,719	1,303,781	1,371,342	1,440,671		21%
นิวซีแลนด์	165,987	172,034	179,304	187,570	196,452	205,803		19%
กลุ่มประเทศลูกค้าใหม่	2015	2016	2017	2018	2019	2020	ค่าเฉลี่ย	25%
พม่า	267,736	293,669	323,703	356,624	392,332	431,653		38%
สเปน	1,636,279	1,697,817	1,765,873	1,838,333	1,914,047	1,990,115		18%
ชิลี	424,298	440,089	460,744	484,786	511,666	540,992		22%
อุรุกวัย	74,189	76,723	80,246	84,354	88,858	93,599		21%
เปรู	385,384	402,818	432,557	464,397	494,958	525,893		27%
							ค่าเฉลี่ย	25%

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_(nominal)

- การเข้ามาของวัตถุดิบย้อนหลังปี 2557 วัตถุดิบตั้งต้นที่จะเริ่มผลิตปี 2557 มีสั่งเข้ามาเตรียมไว้ตั้งแต่ปี 2556 รวม 5 โปรเจค และทุกๆสัปดาห์จะมีวัตถุดิบเข้ามา 2 โปรเจค
- ระยะเวลาในแต่ละกระบวนการของการผลิต และระยะเวลารวมในกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้น จนถึงกระบวนการสิ้นสุด (Total Thought Put Time) ย้อนหลังปี 2557

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในกระบวนการผลิต

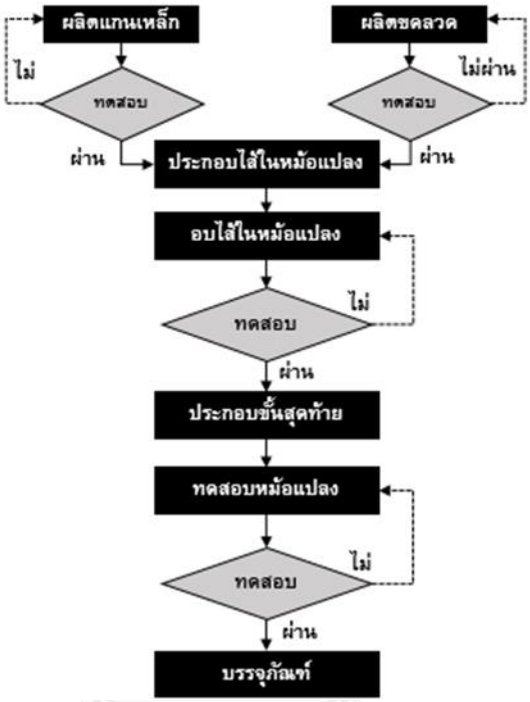
No	S/N	Core	Winding	AP	VP	Final	Test	Pack	Total
1	507025	3.8	6.3	5.9	4.2	6.8	3.7	9.3	36.1
2	507017	2.0	5.6	3.0	4.3	6.1	2.8	6.1	27.7
3	507018	3.8	7.2	10.3	3.9	10.8	4.1	4.8	41.0
4	507019	2.7	5.0	6.9	4.2	6.0	3.1	8.0	33.1
5	507020	4.5	8.1	5.7	4.0	12.9	3.2	6.2	40.0
6	507029	5.5	5.0	7.2	3.7	7.9	3.5	8.8	36.5
7	507030	5.4	4.3	6.1	4.0	6.5	2.8	9.3	34.1
8	507005	4.5	7.0	4.7	3.8	8.0	3.6	10.2	37.3
9	507006	3.8	7.9	6.7	4.1	8.8	2.1	9.7	39.3
10	507042	2.7	5.6	3.8	3.3	7.9	2.5	8.0	31.2
.					.				.
.					.				.
.					.				.
79	508015	1.3	3.2	8.8	3.9	5.8	4.8	4.8	31.4
80	507057	2.4	4.8	5.6	3.0	5.4	4.6	4.3	27.7
81	508016	3.3	6.4	7.1	4.6	8.2	2.6	8.1	37.0
82	508011	4.2	5.2	9.0	4.3	5.8	3.7	6.2	34.2
83	508012	4.1	7.6	8.2	3.3	8.0	3.6	5.0	35.6
84	508029	2.8	9.5	5.0	4.1	8.3	5.8	7.8	40.3
85	508037	3.4	6.9	3.5	3.7	9.2	2.5	5.9	31.6
86	508038	5.6	7.6	5.6	4.3	9.1	3.5	5.4	35.6
87	508045	3.2	6.6	6.5	4.2	3.2	5.1	2.8	28.5
88	508034	4.7	6.3	5.1	4.7	7.9	3.7	3.5	31.3
	MAX	**6.6**	**9.5**	**13.7**	**5.0**	**13.6**	**6.0**	**10.2**	**42.2**
	MIN	**1.3**	**2.1**	**2.3**	**3.0**	**1.3**	**0.4**	**1.9**	**24.0**
	AVERAGE	**4.0**	**6.2**	**6.9**	**4.0**	**7.3**	**3.1**	**6.3**	**34.1**
	STDEV	**1.1**	**1.5**	**2.1**	**0.5**	**2.4**	**1.4**	**1.9**	**4.7**

ที่มา: ข้อมูลเวลาการผลิตย้อนหลังปี 2557

3.3 การสร้างแบบจำลอง

สำหรับกรณีศึกษานี้ได้ทำการวิจัยโดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีน่า ซึ่งขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์สามารถทำตามกระบวนดังภาพประกอบที่ 19

ภาพประกอบที่ 19 ขั้นตอนของกระบวนการในการนำไปสร้างแบบจำลองสถานการณ์



ที่มา: ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.1 องค์ประกอบของแบบจำลอง

1. การเข้ามาถึงของวัตถุที่เราสนใจ (Entity & Attribute)

Entity ที่เข้ามาในระบบคือ วัตถุดิบ โดยจะเป็นสัญญาการเริ่มให้เริ่มการผลิต และหลังจากที่วัตถุดิบผ่านกระบวนการไปแล้วจะแปลงสภาพเป็นงานระหว่างทำที่เกิดขึ้นตามสถานีงานต่างๆ

2. หน่วยให้บริการ (Service)

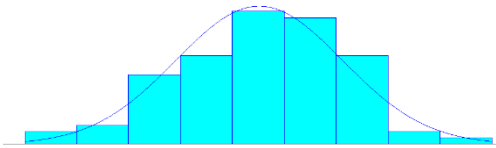
ในงานวิจัยนี้หน่วยการให้บริการคือสถานีงานในแต่ละกระบวนการโดนจะใช้ข้อมูลการทำงานจริงของแต่ละสถานีงานในปี 2557 มาเป็นข้อมูลในการนำเข้าไปใช้ในแบบจำลอง โดยการทำ Input Analyzer ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- จัดกลุ่มข้อมูลดิบของการเข้ามาในระบบของวัตถุดิบ และระยะเวลาการทำงาน
- นำข้อมูลดิบที่เตรียมไว้ใส่ใน Notepad และเปลี่ยนนามสกุลไฟล์เป็น “ABC.txt” เปิดเครื่องมือ Input analyzer โดยเลือก New ต่อด้วย Use Existing Data File แล้วเลือก

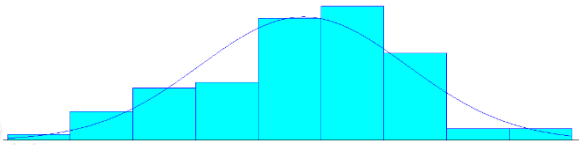
ไฟล์ .txt ที่ได้บันทึกไว้ในข้อ 2 เมื่อเลือกแล้วจะปรากฏหน้าต่างแสดงกราฟแท่ง (Histogram) จากนั้นเลือก Fit all ระบบจะแสดงผลรูปแบบการกระจายตัว (Distribution) ที่ควรจะนำไปใช้ในแบบจำลอง โดยต้องเลือกรูปแบบการกระจายตัวที่มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 มาเป็นรูปแบบที่จะใช้ทำแบบจำลองดังภาพประกอบที่ 20

ภาพประกอบที่ 20 รูปแบบการแจกแจงข้อมูลของแต่ละกระบวนการผลิต

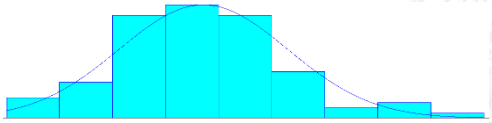
กระบวนการผลิตแกนเหล็ก



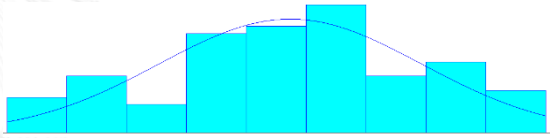
กระบวนการผลิตขดลวด



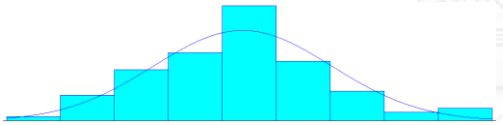
กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง



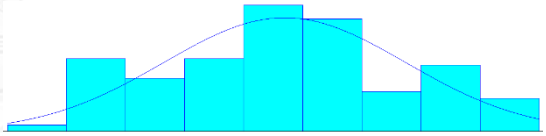
กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง



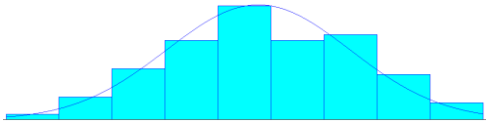
กระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย



กระบวนทดสอบหม้อแปลง



กระบวนการบรรจุภัณฑ์



ที่มา: Input Analyzer

จากวิธีการข้างต้นเมื่อนำข้อมูลเข้าไปทำการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการกระจายตัวของข้อมูล ได้รูปแบบการแจกแจงดังตารางที่ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาการผลิตในแต่ละกระบวนการ

กระบวนการผลิต	รูปแบบการแจกแจง
ผลิตแกนเหล็ก	NORM(4.01, 1.07)
ผลิตขดลวด	NORM(6.19, 1.47)
ประกอบไส้ในหม้อแปลง	NORM(6.95, 2.12)
อบไส้ในหม้อแปลง	NORM(4.05, 0.488)
ประกอบขั้นสุดท้าย	NORM(7.32, 2.39)
ตรวจสอบหม้อแปลง	NORM(3.13, 1.37)
บรรจุภัณฑ์	NORM(6.31, 1.92)

ที่มา: Input Analyzer

3. ทรัพยากร (Resource) ประกอบด้วยสถานีงานของกระบวนการผลิต โดยมีจำนวนสถานีการทำงานดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ทรัพยากรของระบบ

ลำดับ	ชื่อกระบวนการ	จำนวนสถานีการทำงาน
1	กระบวนการการผลิตขดลวด: Winding	2
2	กระบวนการตัดผลิตแกนเหล็ก: Core Cutting & Stacking	2
3	กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง: Active Part	3
4	กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง: Vapor Phase Oven	1
5	กระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย: Tanking & Final Assembly	2
6	กระบวนตรวจสอบหม้อแปลง: Test	1
7	กระบวนการรื้อและทำบรรจุภัณฑ์สำหรับหม้อแปลง: Disassembly & Packing	2

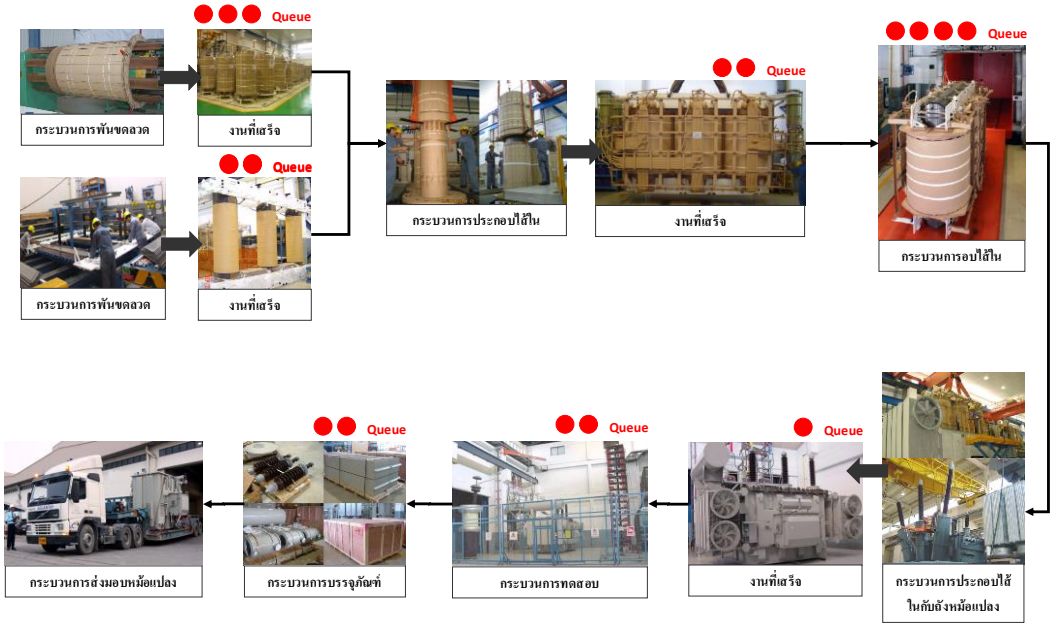
ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

4. แถวคอยการเข้ารับบริการ (Queue)

การที่งานระหว่างทำจะไปยังสถานีงานต่อไปได้นั้น จะต้องเสร็จสิ้นที่กระบวนการก่อนหน้าตามลำดับที่กำหนดไว้ก่อน กล่าวคือ งานระหว่างทำที่เสร็จจากกระบวนการผลิตขดลวด เมื่อเสร็จแล้วจะนำไปประกอบกับงานระหว่างทำที่เสร็จจากการะบวนการผลิตแกนเหล็ก ในกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง จากนั้นจะส่งงานเข้าไปอบที่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง และเมื่อเสร็จจะ

นำไปประกอบที่กระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย แล้วนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบหม้อแปลง และเมื่อทดสอบผ่านแล้วจะนำมารื้อและทำการบรรจุภัณฑ์ เพื่อส่งมอบให้กับลูกค้าเป็นลำดับต่อไป ดังนั้นแถวคอยจึงจะเกิดขึ้นในสถานีงานต่างๆดังภาพประกอบที่ 20 เนื่องจากมีจำนวนสถานีงานไม่เท่ากันและระยะเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานที่ไม่เท่ากัน

ภาพประกอบที่ 21 ตัวอย่างการเกิดแถวคอยในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง



ที่มา: ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. การตัดสินใจ (Decision)

วัตถุดิบที่เข้ามาจะไหลไปตามกระบวนการต่างๆ ตามลำดับและระยะเวลาที่กำหนด

3.3.2 สมมติฐานของแบบจำลองสถานการณ์ (Model Assumption)

1. ในโมเดลนี้จะใช้ข้อมูลของการเข้ามาของวัตถุดิบ และระยะเวลาในการทำงานของกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นในปี 2557
2. การเข้าใช้บริการกระบวนการผลิตของวัตถุดิบที่เข้ามาในระบบ เป็นแบบเข้าก่อน ออกก่อน (First in First out)
3. การไหลของวัตถุดิบเป็นไปตามลำดับของกระบวนการผลิตที่วางไว้
4. แบบจำลองไม่ได้คำนึงถึงกรณีมีสถานการณ์ที่ไม่คาดคิดเกิดขึ้น เช่น อุบัติเหตุ

3.3.3 จำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ผลกระทบ

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์อาศัยข้อมูลพื้นฐานจากการศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนในกระบวนการผลิตและและระยะเวลาในกระบวนการผลิตของระบบการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยโมดูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ประกอบด้วย

1. บัญชีแสดงกรรมวิธีพื้นฐาน

ตารางที่ 7 ลักษณะการใช้งานในแต่ละโมดูลในบัญชีแสดงกรรมวิธีพื้นฐาน

โมดูล	ลักษณะการใช้งานในการสร้างแบบจำลอง
Create	เป็นการเริ่มต้นสร้างการเข้ามาของวัตถุ โดยในการศึกษาครั้งนี้หมายถึงการเข้ามาของวัตถุดิบ
Assign	ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของวัตถุในระบบ ว่าแต่ละวัตถุแต่ละตัวมีคุณสมบัติอย่างไรบ้าง
Process	เป็นโครงสร้างแสดงกระบวนการทำงานในสถานีงานต่างๆ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะนำข้อมูลดิบของการทำงานในแต่ละกระบวนการมาทำการวิเคราะห์โดยใช้การกระจายตัวของข้อมูลจาก Input Analyzer แล้วนำการกระจายตัวที่เหมาะสมมาใช้ในการกำหนดเวลาในการทำงาน
Decide	ใช้ในการตัดสินใจภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้กับเงื่อนไขในการตรวจสอบว่า หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วผ่านกระบวนการตรวจสอบหรือไม่ โดยอาศัยข้อมูลจากแผนกตรวจสอบมากำหนดสัดส่วน
Batch	เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่รวมวัตถุที่เสร็จจากกระบวนการก่อนหน้าเพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการต่อไป ถ้ามีกระบวนการใดกระบวนหนึ่งยังทำงานไม่เสร็จ จะทำให้อีกกระบวนการหนึ่งต้องหยุดรอ
Record	เป็นโมดูลที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลทางสถิติที่ต้องการทราบในแบบจำลอง
Dispose	เป็นโมดูลที่ใช้ในการจบการทำงานของวัตถุดิบที่เราสนใจให้ออกจากระบบแบบจำลอง

ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

2. บัญชีกรรมวิธีก้าวหน้า

ตารางที่ 8 ลักษณะการใช้งานในแต่ละโมดูลในบัญชีแสดงกรรมวิธีก้าวหน้า

โมดูล	ลักษณะการใช้งานในการสร้างแบบจำลอง
Match	เนื่องจากโมเดลมีการรวมงานที่เสร็จจาก 2 กระบวนการเข้ามาเป็นส่วนประกอบในการทำงานของกระบวนการถัดไป จึงมีการใช้โมดูล Match เพื่อเป็นการรวมงานที่เสร็จและรอคิวอยู่ในกระบวนการทั้งสองเข้าด้วยกัน แต่ในดูลนี้งานที่เสร็จจากทั้งสองกระบวนการยังคงมีค่าประจำตัวแยกกัน

ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

3. บัญชีแสดงกรรมวิธีขนถ่าย

เมื่อโมดูลด้านล่างถูกสร้างขึ้น สามารถนำไปสร้าง Animation ได้ในลำดับถัดไป เนื่องจากเป็นการสร้างลักษณะตำแหน่งทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับที่ตั้ง

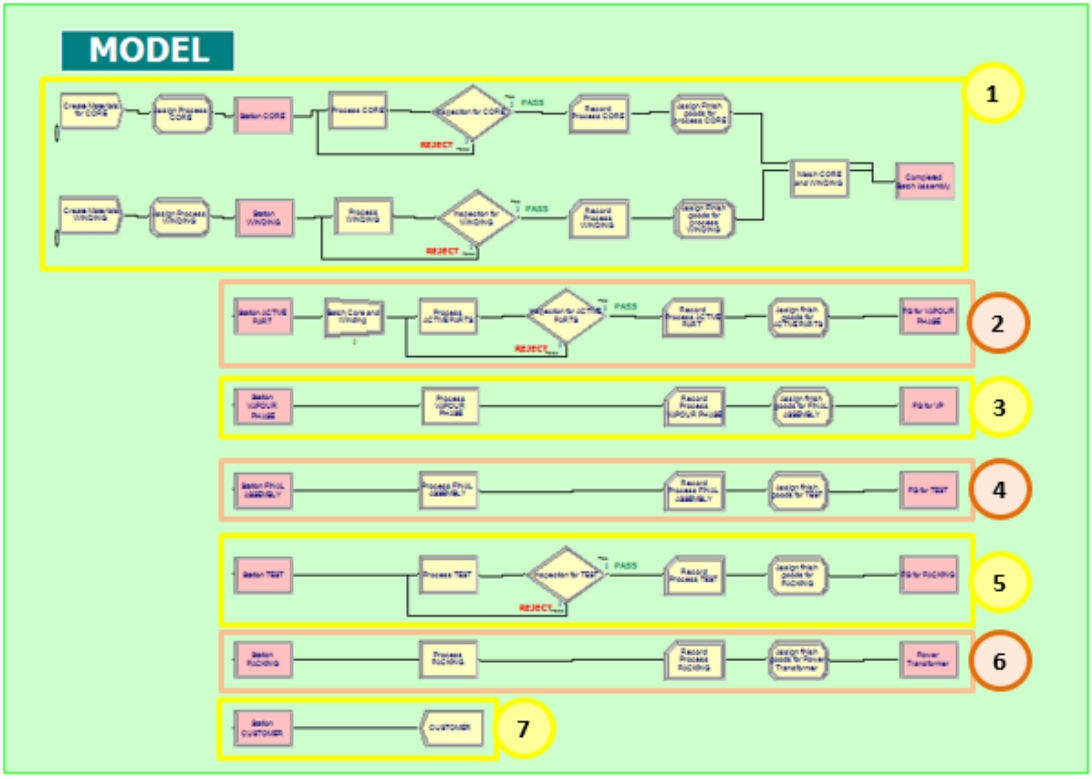
ตารางที่ 9 ลักษณะการใช้งานในแต่ละโมดูลในบัญชีแสดงกรรมวิธีขนถ่าย

โมดูล	ลักษณะการใช้งานในการสร้างแบบจำลอง
Route	เป็นหน่วยโครงสร้างที่ทำหน้าที่ขนถ่ายชิ้นงานที่ไปยังสถานีปลายทาง
Station	เป็นโครงสร้างที่ระบุชื่อกระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับลักษณะและตำแหน่งทางกายภาพ

ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

โดยจากการนำโมดูลข้างต้นมาสร้างแบบจำลองได้แบบจำลองดังภาพประกอบที่ 21

ภาพประกอบที่ 22 แบบจำลองสถานการณ์

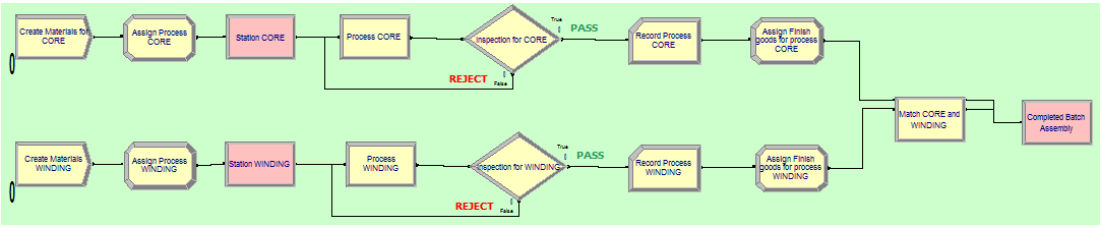


ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบของโมดูล ประกอบด้วย 7 องค์ประกอบดังนี้

<u>องค์ประกอบส่วนที่ 1</u>

ภาพประกอบที่ 23 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 1



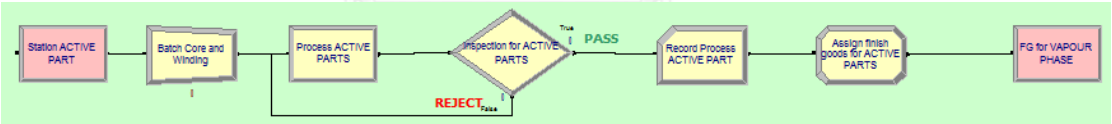
ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 1 เริ่มต้นจากการเข้ามาของวัตถุดิบที่กระบวนการผลิตแกนเหล็ก และกระบวนการผลิตขดลวดด้วยโมดูล Create โดยทุกๆ สัปดาห์จะมีวัตถุดิบเข้ามา 2 โปรเจค หรือทุกๆ 2.5 วันจะมีวัตถุดิบเข้ามา 1 โปรเจค จากข้อมูลย้อนหลังปี 2557 จากนั้นวัตถุดิบที่เข้ามาจะถูกระบุค่าด้วยโมดูล Assign ว่าเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตแกนเหล็ก และกระบวนการผลิตขดลวด

ลำดับต่อมาวัตถุดิบดังกล่าวจะเข้าสู่สถานีงานภายใต้โมดูล Station และผ่านกระบวนการตัดเรียงเหล็กและพันขดลวด โดยเวลาการทำงานของกระบวนการทั้งสอง นำเข้าโดยใช้ Input Analyzer ที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลย้อนหลังปี 2557 หลังจากนั้นชิ้นงานทั้งสองก็จะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ โดยจากข้อมูลทางสถิติในอดีตมีเพียง 5% เท่านั้นที่ไม่ผ่านการทดสอบ แสดงว่าชิ้นงาน 95% ผ่านการทดสอบทั้งหมด สำหรับการระบุสัดส่วนในการทดสอบนี้ใช้โมดูล Decide หลังจากตรวจสอบชิ้นงานเสร็จแล้ว และทำการเก็บค่าของจำนวนชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบด้วยโมดูล Record และใช้โมดูล Assign ระบุค่าอีกครั้งว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็นงานสำเร็จรูปจากกระบวนการผลิตแกนเหล็ก และกระบวนการผลิตขดลวด จากนั้นจะนำงานที่เสร็จจากทั้งสองกระบวนการรวมกันภายใต้เงื่อนไขว่า จะต้องมีชิ้นงานของทั้งสองกระบวนการเสร็จเรียบร้อย จะมีกระบวนการเดียวไม่ได้ โดยใช้โมดูล Match เพื่อระบุการรวมชิ้นงานทั้งสองให้ครบถ้วน แต่ถึงอย่างไรก็ตามโมดูล Match เป็นรวมชิ้นงานเพื่อส่งไปยังกระบวนการถัดไป แต่ยังไม่ได้เป็นโมดูลที่เป็นคำสั่งให้ประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกัน จากนั้นชิ้นงานสำเร็จรูปจากที่มีครบทั้งสองกระบวนการก็จะเข้าโมดูล Route เพื่อส่งไปยังกระบวนการถัดไป

<u>องค์ประกอบส่วนที่ 2</u>

ภาพประกอบที่ 24 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 2



CHULALONGKORN UNIVERSITY

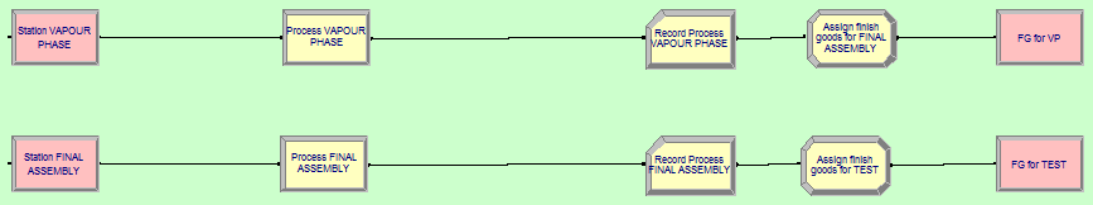
ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 2 เริ่มต้นจากสถานีงานประกอบไส้ในหม้อแปลงโดยใช้โมดูล Station เป็นการรับชิ้นงานสำเร็จรูปจากองค์ประกอบที่ 1 โดยนำชิ้นงานสำเร็จรูปจากกระบวนการผลิตแกนเหล็ก และผลิตขดลวด มาประกอบรวมกันโดยการใช้โมดูล Batch เพื่อเป็นการรวมคุณสมบัติของทั้งสองชิ้นงานเข้าเป็นคุณสมบัติเดียวกับ แล้วเข้าสู่กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลงภายใต้โมดูล Process โดยเวลาการทำงานของกระบวนการทั้งสอง นำเข้าโดยใช้ Input Analyzer ที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลย้อนหลังปี 2557 หลังจากนั้นชิ้นงานทั้งสองก็จะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ โดยจากข้อมูลทางสถิติในอดีตมีเพียง 5% เท่านั้นที่ไม่ผ่านการทดสอบ แสดงว่าชิ้นงาน 95% ผ่านการทดสอบทั้งหมด สำหรับการระบุสัดส่วนในการทดสอบนี้ใช้โมดูล Decide หลังจากตรวจสอบชิ้นงานเสร็จแล้ว และทำการเก็บค่าของจำนวนชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบด้วยโมดูล Record และใช้โมดูล

Assign ระบุค่าอีกครั้งว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็นงานสำเร็จรูปจากกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง จากนั้นเข้าโมดูล Route เพื่อส่งไปยังกระบวนการถัดไป

องค์ประกอบส่วนที่ 3 และ 4

ภาพประกอบที่ 25 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 3 และ 4

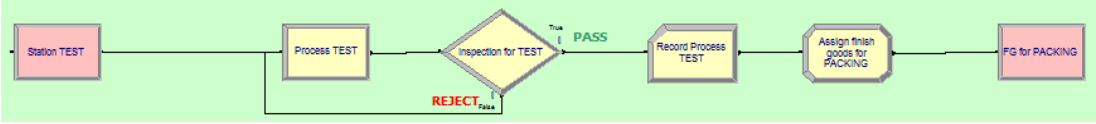


ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 3 และ 4 มีลักษณะการเขียนเหมือนกัน โดยองค์ประกอบส่วนที่ 3 เริ่มต้นจากสถานีงานอบไส้ในหม้อแปลงซึ่งใช้โมดูล Station เป็นการรับชิ้นงานสำเร็จรูปจากองค์ประกอบส่วนที่ 2 คือชิ้นงานสำเร็จรูปของกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง แล้วเข้าสู่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงภายใต้โมดูล Process โดยเวลาการทำงานของกระบวนการนำเข้าโดยใช้ Input Analyzer ที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลย้อนหลังปี 2557 และทำการเก็บค่าของจำนวนชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบด้วยโมดูล Record และใช้โมดูล Assign ระบุค่าอีกครั้งว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็นงานสำเร็จรูปจากกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง จากนั้นเข้าโมดูล Route เพื่อส่งไปยังกระบวนการถัดไป ส่วนองค์ประกอบส่วนที่ 4 จะเริ่มต้นจากสถานีงานประกอบไส้ในหม้อแปลงกับถังหม้อแปลง จนกระทั่งรอส่งไปยังกระบวนการถัดไป โดยมีขั้นตอนระหว่างทางเหมือนกับองค์ประกอบส่วนที่ 3 ทุกประการ

องค์ประกอบส่วนที่ 5

ภาพประกอบที่ 26 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 5



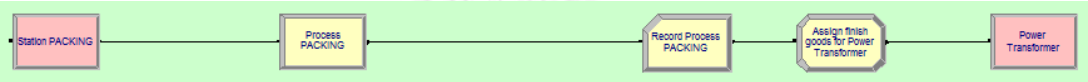
ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 5 เริ่มต้นจากสถานีงานทดสอบหม้อแปลงซึ่งใช้โมดูล Station เป็นการรับชิ้นงานสำเร็จรูปจากองค์ประกอบส่วนที่ 4 คือชิ้นงานสำเร็จรูปของกระบวนการประกอบไส้ในหม้อ

แปลงกับถังหม้อแปลง แล้วเข้าสู่กระบวนการทดสอบหม้อแปลงภายใต้โมดูล Process โดยเวลาการทำงานของกระบวนการนำเข้าโดยใช้ Input Analyzer ที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลย้อนหลังปี 2557 หลังจากนั้นชิ้นงานก็จะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ โดยจากข้อมูลทางสถิติในอดีตมีเพียง 5% เท่านั้นที่ไม่ผ่านการทดสอบ แสดงว่าชิ้นงาน 95% ผ่านการทดสอบทั้งหมด สำหรับการระบุสัดส่วนในการทดสอบนี้ใช้โมดูล Decide หลังจากตรวจสอบชิ้นงานเสร็จแล้ว และทำการเก็บค่าของจำนวนชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบด้วยโมดูล Record และใช้โมดูล Assign ระบุค่าอีกครั้งว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็นงานสำเร็จรูปจากกระบวนการทดสอบหม้อแปลง จากนั้นเข้าโมดูล Route เพื่อส่งไปยังกระบวนการถัดไป

องค์ประกอบส่วนที่ 6

ภาพประกอบที่ 27 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 6

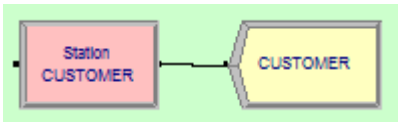


ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 6 จะเริ่มต้นจากสถานีงานบรรจุภัณฑ์ จนกระทั่งรอส่งไปยังกระบวนการถัดไป โดยมีขั้นตอนระหว่างทางเหมือนกับองค์ประกอบส่วนที่ 3 ทุกประการ

องค์ประกอบส่วนที่ 7

ภาพประกอบที่ 28 องค์ประกอบของแบบจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 7

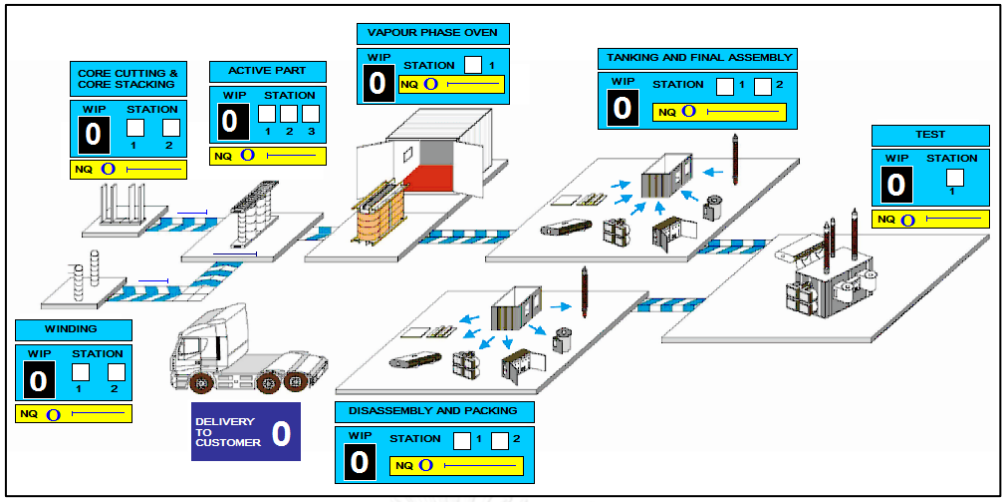


ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 7 เป็นการจบกระบวนการทำงาน โดยงานที่เสร็จจากองค์ประกอบส่วนที่ 6 จะถูกส่งไปยังลูกค้าที่องค์ประกอบส่วนนี้ด้วยโมดูล Station และปิดด้วยโมดูล Dispose เป็นการจบกระบวนการจำลองสถานการณ์

นอกจากนี้เพื่อแสดงให้การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตงานยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้จัดทำการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว ดังรายละเอียดด้านล่างนี้

ภาพประกอบที่ 29 การจำลองสถานการณ์ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว

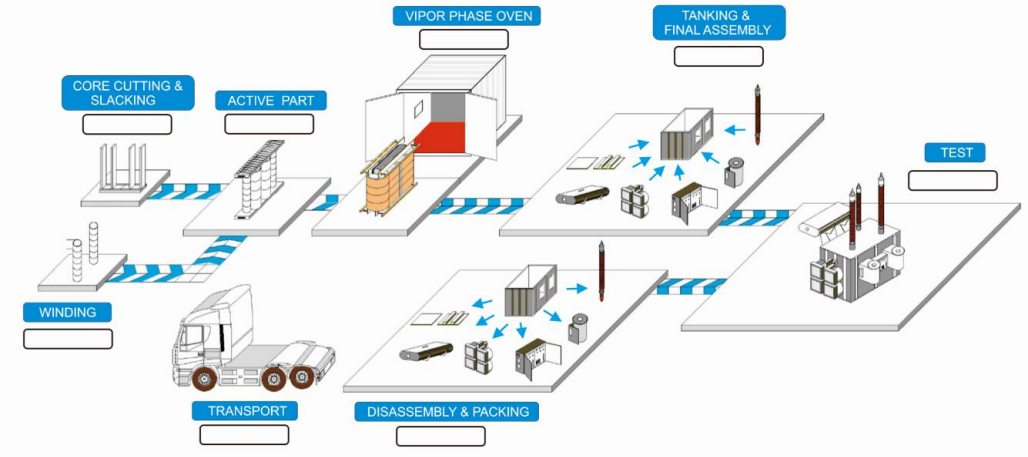


ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

สำหรับการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหวมีองค์ประกอบดังนี้

<u>องค์ประกอบส่วนที่ 1</u> พื้นหลังของแบบจำลองภาพเคลื่อนไหว ผู้วิจัยได้ดัดแปลงได้แผนผังจริงของโรงงานแล้วนำมาสร้างในโปรแกรมเขียนแบบ (Auto-CAD)

ภาพประกอบที่ 30 องค์ประกอบส่วนที่ 1 ของการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว



ที่มา: โปรแกรม AutoCAD ออกแบบโดย นายเกรียงศักดิ์ อ่าวอุดมพันธ์

องค์ประกอบส่วนที่ 2 ป้ายแสดงชื่อของสถานที่การทำงาน

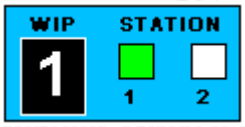
ภาพประกอบที่ 31 องค์ประกอบส่วนที่ 2 ของการจำลองสถานการณ์
ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว

ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 3 ป้ายแสดงสถานะของกระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการ โดยป้ายดังกล่าวจะแสดงจำนวนปริมาณงานระหว่างทำในกระบวนการว่ามีจำนวนเท่าไหร่ และแสดงสถานะของกระบวนการ ณ เวลานั้นที่รันโปรแกรมอารีน่า ว่ากระบวนการดังกล่าวว่าง หรือกำลังทำงานอยู่ โดยกำหนดว่าหากกระบวนการทำงานอยู่จะแสดงสีเขียว และหากกระบวนการว่างงานจะแสดงสีขาว

ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของรูปด้านล่าง สามารถอธิบายได้ว่า ที่กระบวนการมีงานระหว่างทำอยู่จำนวน 1 โปรเจค และสถานีงานของกระบวนการสถานีที่ 1 กำลังทำงาน แต่สถานีที่ 2 ว่างงาน เป็นต้น

ภาพประกอบที่ 32 องค์ประกอบส่วนที่ 3 ของการจำลองสถานการณ์
ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว

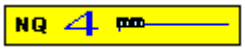


ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 4 ป้ายแสดงจำนวนคิวในกระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการ โดยป้ายดังกล่าวจะแสดงจำนวนคิวว่ามีจำนวนเท่าไหร่

ยกตัวอย่างเช่น ภาพประกอบที่ 32 สามารถอธิบายได้ว่า ที่มีจำนวนคิวทั้งหมด 4 โปรเจค

ภาพประกอบที่ 33 องค์ประกอบส่วนที่ 4 ของการจำลองสถานการณ์
ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว



ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

องค์ประกอบส่วนที่ 5 ป้ายแสดงจำนวนงานเสร็จเพื่อส่งมอบให้กับลูกค้า โดยป้ายดังกล่าวจะแสดงจำนวนงานทั้งหมดว่ามีจำนวนเท่าไหร่

ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของรูปด้านล่าง สามารถอธิบายได้ว่า มีจำนวนงานที่เสร็จจำนวน 57 โปรเจคที่พร้อมจะส่งมอบให้กับลูกค้า

ภาพประกอบที่ 34 องค์ประกอบส่วนที่ 5 ของการจำลองสถานการณ์
ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว

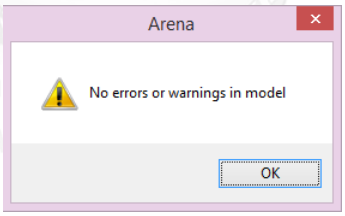
ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

3.3.4 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification and Validation)

1. Model Verification

- ทดสอบการแบบจำลองว่ามี error เกิดขึ้นหรือไม่โดยการกด F4 จากการทดสอบพบว่าโมเดลทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่มีความผิดพลาดดังภาพประกอบด้านล่าง

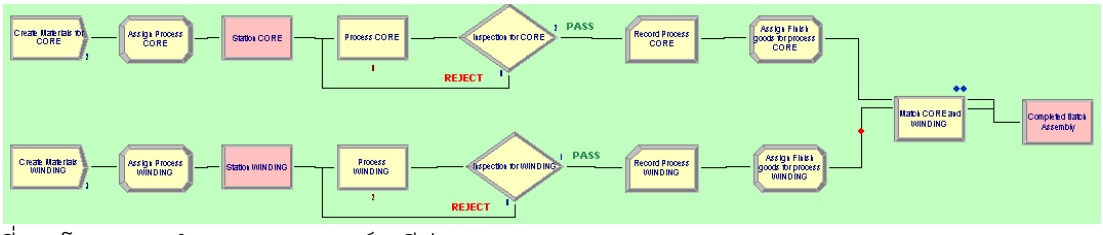
ภาพประกอบที่ 35 ผลการทดสอบความผิดพลาดของโมเดล



ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

- ทดสอบโดยการใส่รูปภาพที่การเข้ามาของ Entity ให้แตกต่างกันเพื่อดูการเข้ามาในระบบของ Entity ต่างๆ ว่าเป็นตามความต้องการหรือไม่ จากการทดสอบแล้วพิจารณาการไหลของวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเป็นไปตามที่ต้องการ ดังเช่น การไหลของงานที่เสร็จจากกระบวนการผลิตแกนเหล็กที่แทนด้วยรูปภาพบอลสีน้ำเงิน และกระบวนการผลิตขดลวดที่แทนด้วยบอลสีแดง จะต้องรอให้ครบทั้งสองชิ้นงานก่อนจึงจะส่งต่อไปยังกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีกระบวนการใด กระบวนการหนึ่งมารอ 2 โปรเจคก็ตาม ก็จะยังไม่ส่งต่อ จะต้องรอให้ครบก่อนดังภาพ

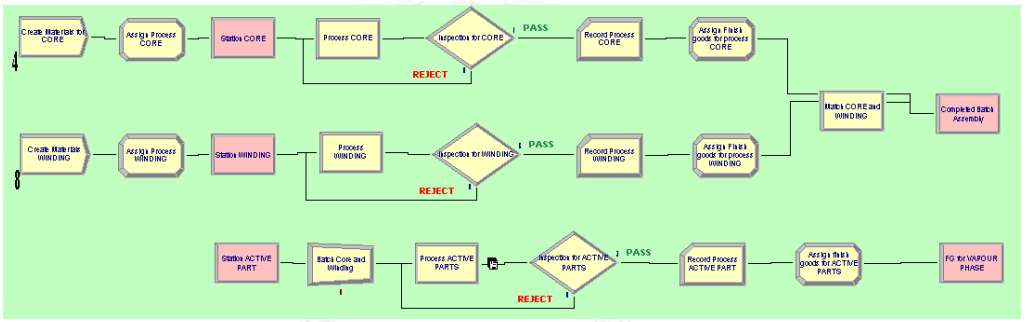
ภาพประกอบที่ 36 ผลการทดสอบการไหลของกระบวนการผลิต



ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบที่กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง โดยการเปลี่ยนรูปภาพจากลูกบอลสีน้ำเงินและสีแดง ให้เป็นเอกสารเพื่อตรวจสอบดูว่างานทั้งหมดประกอบกันที่กระบวนการดังกล่าว และมีการรวมค่ากันจริงก่อนที่จะส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป

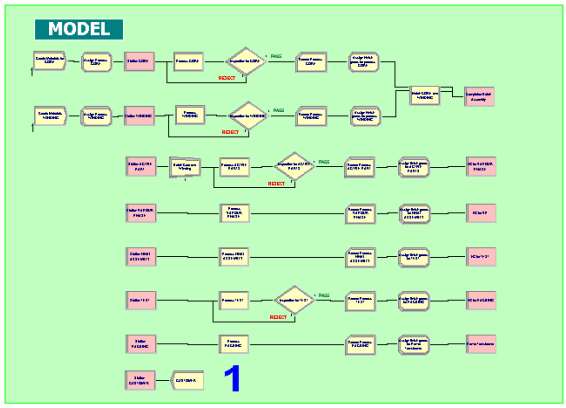
ภาพประกอบที่ 37 ผลการทดสอบการไหลที่กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง



ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

- ทดลองรันแบบจำลองไล่ตาม Logic ที่ที่วางระบบไว้ไปเรื่อยๆ ทำการทดสอบการเข้าของวัตถุดิบที่จะทำให้เกิดงานที่สำเร็จ 1 โปรเจค ผลที่ได้เป็นไปตาม Logic ที่วางไว้ดังภาพ

ภาพประกอบที่ 38 ผลการทดสอบระบบของโมเดล



ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

- ทดลองรันนานๆ โดยการกำหนดเวลาในการรันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดูว่าแบบจำลองยังสามารถทำงานได้ตามปกติหรือไม่ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการรันสามารถรันได้ตามปกติทุกประการ

2. Model Validation

- เปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองว่าใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของระบบ โดยดูจากจำนวน Number Out ที่ออกจากระบบ จากการทดสอบโดยการรันทั้งหมด 15 รอบ พบว่า Number Out ที่ออกจากระบบเท่ากับจำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้จริงตามข้อมูลย้อนหลังคือ 88 โปรเจค
- ตรวจสอบว่าแบบจำลองมีตรรกะถูกต้องตามที่ต้องการให้เป็นหรือไม่

  (1) Sensitivity Analysis ทดสอบแบบจำลองโดยการเพิ่มจำนวน Entity ที่เข้าสู่ระบบ 5%

  (2) Sensitivity Analysis ทดสอบแบบจำลองโดยการเพิ่มจำนวน Entity ที่เข้าสู่ระบบ 25%

  (3) Extreme Conditions ทดสอบแบบจำลองโดยการเพิ่มจำนวน Entity ที่เข้าสู่ระบบให้เป็นค่าสูงสุด เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ

  จากการทดสอบพบว่าการเพื่อ Entity ที่เข้าสู่ระบบ ทำให้จำนวน Number Out ที่ออกจากระบบเพิ่มขึ้นด้วย จนกระทั่งมีกระบวนการที่ทำงานเต็มกำลังการผลิต นั่นคือการเกิดคอขวดขึ้นในกระบวนการผลิต ก็จะทำให้ไม่ว่าเพิ่มปริมาณ Entity เข้ามาเท่าไหร่ก็ตาม Number Out ก็จะยังเท่าเดิม เนื่องจากเต็มประสิทธิภาพของการผลิตทั้งกระบวนการนี้แล้ว จึงทำให้สรุปได้ว่าโมเดลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเป็นเหตุเป็นผลที่ถูกต้องตามตรรกะทางคณิตศาสตร์

3. การหาจำนวนรอบในการประมวลผล (Number of Replications)

เพื่อลดความคลาดเคลื่อน (Error) ของแบบจำลอง และใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงมากที่สุด จึงต้องทำการหาจำนวนรอบในการทดสอบแบบจำลอง (Number of Replications) โดยคำนวณจากสมการที่ 7

สมการ 4 สมการการคำนวณหาจำนวนรอบในการประมวลผล

$$N = n_0 \left(\frac{h_0^2}{h^2}\right) \qquad \text{--------- (7)}$$

โดยที่

N หมายถึง จำนวน Replication ที่เหมาะสมที่ต้องการหา

n_0 หมายถึง จำนวน Replication ที่มากกว่า 1 ครั้งแล้ว

h_0^2 หมายถึง แทนค่า Half – Width จากการทดสอบแบบจำลองที่มากกว่า 1 ครั้ง

h^2 หมายถึง ค่าเฉลี่ย(Average) X 0.05 (Confidence-interval half-width ที่ 95%)

สำหรับงานวิจัยนี้สนใจปริมาณงานระหว่างทำในระบบจึงจะพิจารณาพิจารณาจาก ค่า Half – Width ของ Waiting Time และทำการทดสอบ Run Model เริ่มต้น 10 รอบการประมวลผล ได้ผลดังตารางด้านล่าง และจากข้อมูลจำนวนรอบที่สูงที่สุดในตัวแปรที่ผู้วิจัยสนใจคือ 528 รอบ ดังนั้นเพื่อความแม่นยำในการประมวลผล ผู้วิจัยจะทำได้รันผลของโมเดลทั้งหมด 600 รอบการประมวลผล

ตารางที่ 10 จำนวนรอบในการรันโมเดล

Factor	CI	n_0	Average	h_0	h_0^2	h	h^2	N
Number Out	0.05	10	87.5	89.60	0.90	4.375	19.14063	0.5
Wating Time								
Process CORE.Queue	0.05	10	9.68	2.84	8.07	0.48	0.23	345
Process WINDING.Queue	0.05	10	126.78	41.29	1,704.86	6.34	40.18	424
Process ACTIVE PARTS.Queue	0.05	10	28.93	6.88	47.33	1.45	2.09	226
Process VAPOUR PHASE.Queue	0.05	10	21.27	6.04	36.48	1.06	1.13	323
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	0.05	10	45.73	14.22	202.21	2.29	5.23	387
Process TEST.Queue	0.05	10	1,041.93	118.72	14,094.44	52.10	2,714.05	52
Process PACKING.Queue	0.05	10	1,013.08	323.78	104,833.49	50.65	2,565.83	409
Number In Queue								
Process ACTIVE PARTS.Queue	0.05	10	0.13	0.04	0.00	0.01	0.00	363
Process CORE.Queue	0.05	10	2.28	0.83	0.69	0.11	0.01	528
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	0.05	10	0.30	0.07	0.00	0.02	0.00	217
Process PACKING.Queue	0.05	10	0.22	0.07	0.00	0.01	0.00	400
Process TEST.Queue	0.05	10	0.50	0.16	0.03	0.02	0.00	414
Process VAPOUR PHASE.Queue	0.05	10	13.47	1.73	2.99	0.67	0.45	66
Process WINDING.Queue	0.05	10	17.80	6.06	36.72	0.89	0.79	464
Instantaneous Utilization								
ACTIVE PART 1	0.05	10	0.75	0.03	0.00	0.04	0.00	6
ACTIVE PART 2	0.05	10	0.76	0.02	0.00	0.04	0.00	3
ACTIVE PART 3	0.05	10	0.75	0.03	0.00	0.04	0.00	6
CORE 1	0.05	10	0.84	0.05	0.00	0.04	0.00	14
CORE 2	0.05	10	0.86	0.04	0.00	0.04	0.00	9
FINAL 1	0.05	10	0.90	0.02	0.00	0.05	0.00	2
FINAL 2	0.05	10	0.89	0.02	0.00	0.04	0.00	2
PACKING 1	0.05	10	0.78	0.02	0.00	0.04	0.00	3
PACKING 2	0.05	10	0.76	0.03	0.00	0.04	0.00	6
TEST	0.05	10	0.81	0.04	0.00	0.04	0.00	10
VAPOUR PHASE 1	0.05	10	1.00	0.00	-	0.05	0.00	0
WINDING 1	0.05	10	1.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0
WINDING 2	0.05	10	1.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0
Maximum Replication								528
Replication for use in Model								**600**

ที่มา: รีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

3.4 การกำหนดสถานการณ์ในงานวิจัย

เนื่องจากการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดมีปัจจัยทางด้านยอดขายหรือความต้องการของลูกค้า เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงได้มีการกำหนดสถานการณ์ทั้งหมด 3 แบบ

1. สถานการณ์ที่ลูกค้ามีความต้องการเท่ากับปี 2557
2. สถานการณ์ที่ลูกค้ามีความต้องการเพิ่มขึ้น 15% ตามเป้าหมายของโรงงาน
3. สถานการณ์ที่ลูกค้ามีความต้องการเพิ่มขึ้น 25% ตามอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์

โดยนำปัจจัยด้านความต้องการทางตลาดเข้ามาพิจารณา ซึ่งมีขั้นตอนในการกำหนดสถานการณ์ดังนี้

3.4.1 กำหนดให้สถาการณ์ที่มีความต้องการเท่ากับความต้องการเดิมของปี 2557 เพราะเนื่องจากการดำเนินธุรกิจนั้นจะต้องมีกำไรเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในกรณีที่ความต้องการน้อยที่สุดจึงไม่ควรจะต่ำกว่าความต้องการเดิมของปี 2557

3.4.2 ตั้งเป้าที่สถานการณ์ที่ความต้องการมีแนวโน้มว่าจะเป็นไปได้มากที่สุดให้เท่ากับนโยบายของผู้บริหารคือ ความต้องการเพิ่มขึ้น 15%

3.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ล่วงหน้า 5 ปี โดยจากข้อมูลการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศของ IMF พบว่า ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศของกลุ่มประเทศลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.7 ในการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยในการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศว่า กลุ่มประเทศลูกค้ามีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ 25%

จากสมมติฐานที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงนำมาสรุปเป็นสถานการณ์ที่จะใช้ศึกษาได้ดังนี้

1. สถานการณ์ที่ 1 คือสถานการณ์ที่ความต้องการของลูกค้าเท่ากับปี 2557
2. สถานการณ์ที่ 2 คือสถานการณ์ที่ความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้น 15%
3. สถานการณ์ที่ 3 คือสถานการณ์ที่ความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้น 25%

สำหรับการสร้างแบบจำลองนั้น จากข้อมูลสถานการณ์ และสมมติฐานที่กำหนดไว้จะทำการสร้างแบบจำลองดังนี้

1. สถานการณ์ของการทำงานในปัจจุบัน คือมีเตาอบ 1 ตัวในกระบวนการผลิต โดยจะให้แบบจำลองนี้เป็นโมเดลตั้งต้นของงานวิจัย

2. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์การทำงานเมื่อเพิ่มเตาอบ 1 ตัว เข้าไปในกระบวนการผลิต ใช้แบบจำลองขึ้นต้นเป็นตัวหลักแล้วเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรหรือ Resource ในการให้บริการจาก 1 เป็น 2
3. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์การทำงานเมื่อเพิ่มเตาอบ 1 ตัว เข้าไปในกระบวนการ และปริมาณความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้น 15 %
4. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์การทำงานเมื่อเพิ่มเตาอบ 1 ตัว เข้าไปในกระบวนการ และปริมาณความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้น 25 %

3.5 การจำลองสถานการณ์และวิเคราห์ผลกระทบ

จากวัตถุประสงค์ประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการทราบว่าเมื่อเพิ่มสถานีงานของการอบไส้ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ซึ่งสถานีงานที่เป็นข้อจำกัดของระบบจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานอย่างไร ผู้วิจัยจึงสนใจตัวชี้วัดจากการจำลองสถาการณ์ดังนี้

3.5.1 การใช้งานของกระบวนการผลิตในสถานการณ์ต่างๆ สำหรับการจำลองสถานการณ์นั้นจะทำการจำลองทั้งหมด 3 สถานการณ์ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 3.4

3.5.2 ระยะเวลาในการรอคอย (Waiting Time) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแต่ละสถานี สำหรับการจำลองสถานการณ์นั้นจะทำการจำลองทั้งหมด 3 สถานการณ์ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 3.4

3.5.3 จำนวนคิวในการรอคอย (Number in queue) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแต่ละสถานี สำหรับการจำลองสถานการณ์นั้นจะทำการจำลองทั้งหมด 3 สถานการณ์ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 3.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6 การวิเคราะห์ทางการเงิน

3.6.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

3.6.2 การคำนวณจุดคุ้มทุนสำหรับโครงการ ในการคำนวณสำหรับจุดคุ้มทุนของโครงการนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) และ (6)

3.6.3 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ในการคำนวณสำหรับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

3.6.4 การคำนวณอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (IRR) ในการคำนวณสำหรับอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (IRR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

สำหรับการวิเคราะห์ทางการเงินนั้นจะต้องใช้ข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณ โดยที่มาของข้อมูลเป็นดังนี้

ตารางที่ 11 องค์ประกอบและที่มาของข้อมูลในการวิเคราะห์ทางการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงิน	เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ	จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตเพิ่มขึ้นต่อปี (A)	ราคาขายเฉลี่ยต่อหน่วย (B)	รายได้ต่อปี (D) = (A)x(B)	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย(C)
ระยะเวลาคืนทุน	x	x	x	x	x
NPV	x	x	x	x	x
IRR	x	x	x	x	x
จุดคุ้มทุน	x		x		x
ที่มาของข้อมูล					
โมเดลตั้งต้น	บริษัทกรณีศึกษา	ข้อมูลปี 2557	บริษัทกรณีศึกษา	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา
แบบจำลองในสถานการณ์ต่างๆ	บริษัทกรณีศึกษา	ARENA	บริษัทกรณีศึกษา	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา

การวิเคราะห์ทางการเงิน	ต้นทุนผันแปร (E) = (A)x(C)	เงินสดรับสุทธิ (D)-(E)	ระยะเวลาของโครงการ	อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ
ระยะเวลาคืนทุน	x	x		
NPV	x	x	x	x
IRR	x	x	x	
จุดคุ้มทุน				
ที่มาของข้อมูล				
โมเดลตั้งต้น	ผลคำนวณ	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา	บริษัทกรณีศึกษา
แบบจำลองในสถานการณ์ต่างๆ	ผลคำนวณ	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา	บริษัทกรณีศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6.5การวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆ มีการพิจาราณาตัวชี้วัดดังนี้

1. วิเคราะห์งานระหว่างทำในกระบวนการผลิตที่สถานีงานต่างๆ
2. วิเคราะห์ระยะเวลาการรอคอยในสถานีงานต่างๆ
3. วิเคราะห์ความคุ้นทุน ผลตอบแทนทางการเงิน และความคุ้มค่าในการลงทุน

โดยตัวชี้วัดดังกล่าวนำมาสรุปเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบของตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบข้อมูลในสถานการณ์ความต้องการต่างๆ

SCENARIO	สถาการณ์ที่ความต้องการต่างๆ	จำนวนสถานีเตาอบ	ผลิตขดลวด		ผลิตแกนเหล็ก	
			Waiting Time	NQ	Waiting Time	NQ
BASE CASE	ความต้องการเท่ากับปี 2557	1				
BASE CASE	ความต้องการเท่ากับปี 2557	2				
MOST LIKELY	ความต้องการเพิ่มขึ้น 15% ตามเป้าหมายของบริษัท	2				
BEST CASE	ความต้องการเพิ่มขึ้น 25% ตามการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP)	2				

SCENARIO	สถาการณ์ที่ความต้องการต่างๆ	จำนวนสถานีเตาอบ	ประกอบไส้ในหม้อแปลง		อบไส้ในหม้อแปลง	
			Waiting Time	NQ	Waiting Time	NQ
BASE CASE	ความต้องการเท่ากับปี 2557	1				
BASE CASE	ความต้องการเท่ากับปี 2557	2				
MOST LIKELY	ความต้องการเพิ่มขึ้น 15% ตามเป้าหมายของบริษัท	2				
BEST CASE	ความต้องการเพิ่มขึ้น 25% ตามการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP)	2				

SCENARIO	สถาการณ์ที่ความต้องการต่างๆ	จำนวนสถานีเตาอบ	ประกอบขั้นสุดท้าย		ตรวจสอบหม้อแปลง		บรรจุภัณฑ์	
			Waiting Time	NQ	Waiting Time	NQ	Waiting Time	NQ
BASE CASE	ความต้องการเท่ากับปี 2557	1						
BASE CASE	ความต้องการเท่ากับปี 2557	2						
MOST LIKELY	ความต้องการเพิ่มขึ้น 15% ตามเป้าหมายของบริษัท	2						
BEST CASE	ความต้องการเพิ่มขึ้น 25% ตามการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP)	2						

ที่มา: ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ทางการเงินในสถานการณ์ความต้องการต่างๆ

SCENARIO	สถาการณ์ที่ความต้องการต่างๆ	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	NPV	IRR	จุดคุ้มทุน (จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น)	จุดคุ้มทุน (ล้านบาท)
SCENARIO 1	ความต้องการเท่ากับปี 2557					
SCENARIO 2	ความต้องการเพิ่มขึ้น 15% ตามเป้าหมายของบริษัท					
SCENARIO 3	ความต้องการเพิ่มขึ้น 25% ตามการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP)					
เงื่อนไขทางการเงิน		ระยะเวลาคืนทุนของโครงการน้อยกว่าระยะเวลาคืนทุนที่บริษัทกำหนด (น้อยกว่า 5 ปี)	มีค่าเป็นบวก	มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราลดค่าที่ 10%	สามารถวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในหน่วยปริมาณการผลิต และจุดคุ้มทุนในหน่วยของเงิน	

ที่มา: ผู้วิจัย

3.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือในโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่าที่ชื่อว่า Output Analyzer ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.7.1 การสร้างคำสั่งเพื่อให้โปรแกรมเก็บค่าทางสถิติจากการรันโมเดล

ผู้วิจัยใช้โมดูล Statistic ที่บัชชีแสดงกรรมวิธีก้าวหน้าเพื่อเก็บค่าทางสถิติของแต่ละตัวชี้วัดที่สนใจ ทำการเปลี่ยนชื่อและใส่ข้อมูลเพื่อระบุรายละเอียดต่างๆ จากนั้นทำการบันทึกและเพิ่มนามสกุลของไฟล์ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปเป็น .dat สำหรับตัวอย่างการตั้งค่าและบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประมวลผล แสดงดังภาพประกอบที่ 44

ภาพประกอบที่ 39 ตัวอย่างการตั้งแต่และบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประมวลผลใน Output Analyzer

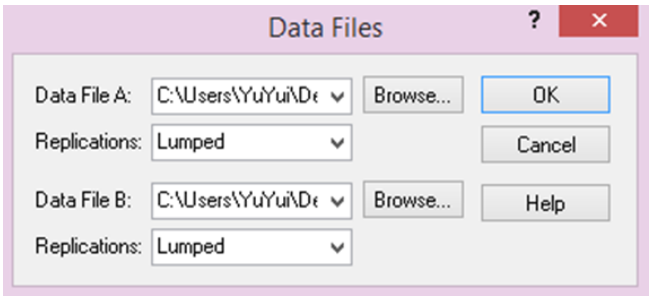
	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1	Statistic 1	Output	TAVG(Process VAPOUR PHASE.Queue.WaitingTime)	Base Case WT VP	C:\Users\YuYui\Desktop\MASTER DEGREE (THESIS)\MODEL\BASE CASE (Demand on Y2014)\STATISTIC TEST\Base Case WT VP.dat

ที่มา: โปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

3.7.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์ใน Output Analyzer

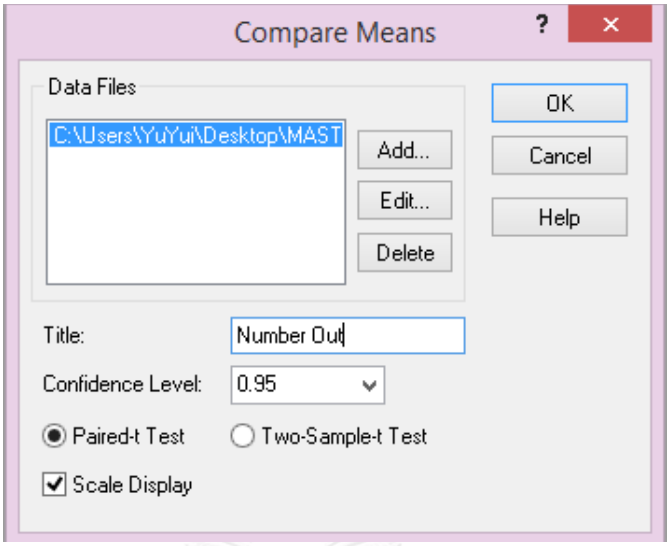
ในงานวิจัยนี้ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์ประกอบด้วย ผลผลิต (Number Out) ระยะเวลารอคอย (Waiting Time) และจำนวนคิว (Number in Queue) โดยจะใช้การวิเคราะห์ด้วย Output Analyzer ภายใต้คำสั่ง Compare Means จากนั้นเลือกข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์และได้เก็บค่าไว้ในข้อ 3.7.1 ซึ่งตัวอย่างในการเลือกข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 45 จากนั้นเลือกเงื่อนไขในการวิเคราะห์แบบ Paired-T Test เนื่องจากเป็นกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน ภายใต้ความเชื่อมั่นที่ 95% ดังภาพประกอบที่ 46 และสุดท้ายจะได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวณของผลลัพธ์ดังดังภาพประกอบที่ 47

ภาพประกอบที่ 40 ตัวอย่างการเลือกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ใน Output Analyzer



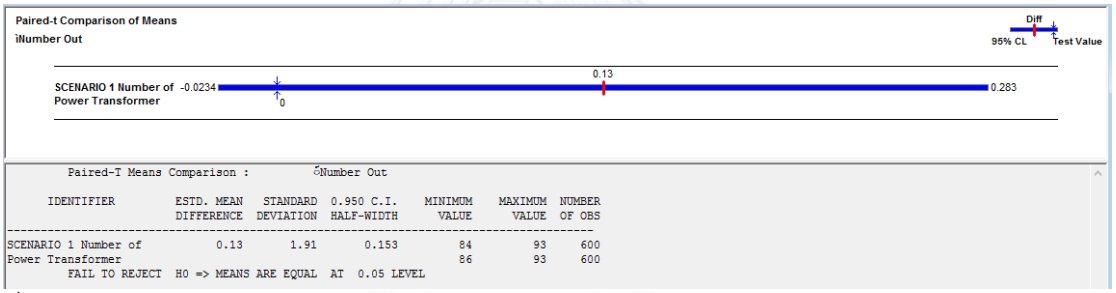
ที่มา: การวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วย Output Analyzer

ภาพประกอบที่ 41 ตัวอย่างการเลือกเงื่อนไขในการวิเคราะห์ใน Output Analyzer



ที่มา: Output Analyzer

ภาพประกอบที่ 42 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความแปรปรวณของผลลัพธ์



ที่มา: Output Analyzer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.8 การสรุปรูปแบบการการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม

หลังจากที่ทำการวิจัยทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะทำการสรุปขั้นตอนและวิธีการตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการออกมาเป็นรูปแบบการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม

3.9 การสรุปผลและนำเสนองานวิจัย

ในขั้นตอนสุดท้าย คือการสรุปผลงานวิจัยโดยนำผลที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในสถานการณ์ต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับโรงงานกรณีศึกษา รวมถึงการอธิบายถึงลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ทางในเชิงวิชาการด้วย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้ เป็นการแสดงผลการวิจัย โดยผู้วิจัยได้แบ่งเนื้อหาเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.1 ผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดของระบบ

4.2 ผลกระทบต่อกระบวนการผลิตทั้งหมด

4.2.1 ระยะเวลารอคอยในกระบวนการผลิต

4.2.2 จำนวนคิวในกระบวนการผลิต

4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์

4.4 ผลวิเคราะห์ทางการเงิน

4.5 สรุปรูปแบบการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม

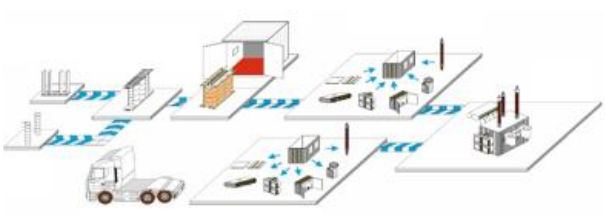
4.1 ผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการที่เป็นข้อจำกัดของระบบ

จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีน่าโดยการใช้เวลาการนำเข้าวัตถุดิบและข้อมูลของเวลาการทำงานในแต่ละกระบวนการของปี 2557 พบว่า กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงหรือ Vapur Phase Oven เป็นข้อจำกัดของกระบวนการผลิต เนื่องจากมีการใช้งานกระบวนการดังกล่าวถึง 100% ตามภาพประกอบที่ 42

จากนั้นเมื่อนำการทดลองจำลองสถานการณ์ตามนโยบายของโรงงานกรณีศึกษาคือ เพิ่มสถานีงานของเตาอบไส้ในหม้อแปลงเข้าไปอีก 1 สถานีพบว่าการใช้งานในกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงลดลง แสดงว่าประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการดีขึ้น และไม่เป็นข้อจำกัดของกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอีกต่อไป อีกทั้งผลผลิตโดยรวมยังสามารถผลิตหม้อแปลงได้เพิ่มขึ้นจาก 88 เป็น 97 เครื่องดังภาพประกอบที่ 43

ภาพประกอบที่ 43 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการของการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า (ก่อน)

BEFORE

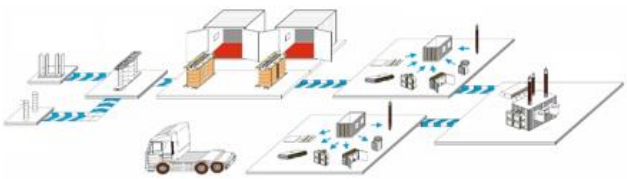


Scenario		Base Case
PROCESS	**STATION**	**UTILIZATION**
Core Shop	2	85%
Winding Shop	2	99%
Active Part Shop	3	75%
Vapour Phase Oven	1	100%
Final Assembly Shop	2	90%
Test Shop	1	81%
Disassembly & Packing Shop	2	77%
NUMBER OUT (Transformers)		**88**

ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

ภาพประกอบที่ 44 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการของการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า (หลัง)

AFTER



Scenario		Maximum Capacity
PROCESS	**STATION**	**UTILIZATION**
Core Shop	2	84%
Winding Shop	2	99%
Active Part Shop	3	75%
Vapour Phase Oven	2	62%
Final Assembly Shop	2	99%
Test Shop	1	88%
Disassembly & Packing Shop	2	84%
NUMBER OUT (Transformers)		**97**

ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

สำหรับสถานการณ์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ทั้ง 3 สถานการณ์นั้นได้ถูกสร้างแบบจำลองและนำมาวิเคราะห์ดังนี้

สถานการณ์ตั้งต้น (BASE CASE) ผลิตหม้อแปลงจำนวน 88 เครื่อง กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงมีประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 100%

สถานการณ์ที่ 1 (SCENARIO 1: จำนวนหม้อแปลงที่ต้องการผลิตเท่ากับปี 2557คือ 88 เครื่อง) หลังจากที่ได้เพิ่มเตาอบไส้ในหม้อแปลงพบว่า ประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 46%

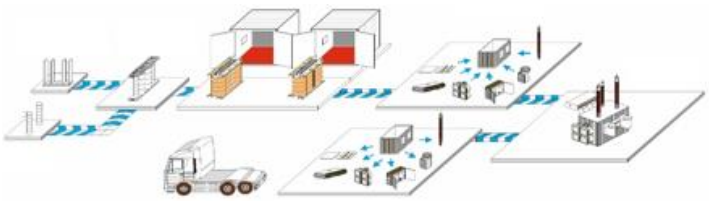
และหากในกรณีที่ทำการจำลองสถานการณ์ให้ผลิตเต็มกำลังการผลิต ประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 62% และได้ค้นพบข้อจำกัดของแบบจำลองใหม่คือกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย หรือ Final Assembly Shop ที่มีการใช้งาน 99% ซึ่งสามารถผลิตหม้อแปลงได้จำนวน 97 เครื่อง และเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้สามารถผลิตได้ตามความต้องการที่สถานการณ์ที่ 2 ตั้งไว้คือ ผลิตหม้อแปลงจำนวน 101 เครื่อง เราก็จะทำการเพิ่มกำลังการผลิตที่กระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย โดยในที่นี้จะเปิดเวลาทำงานล่วงเวลาให้พนักงานทำงาน

สถานการณ์ที่ 2 (SCENARIO 2: จำนวนหม้อแปลงที่ต้องการผลิตเพิ่มขึ้นจากปี 2557 ในสัดส่วน15% คือ 101 เครื่อง) จะพบว่ากระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลงยังสามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 53% แต่ในระบบการผลิตนี้ก็จะพบว่ามีกระบวนการใหม่ที่เป็นข้อจำกัดของระบบคือ กระบวนการทดสอบ ดังนั้นหากต้องการผลิตให้ได้ตามความต้องการของสถานการณ์ที่ 3 จะต้องทำการเปิดเวลาทำงานล่วงเวลาในแผนกดังกล่าว

สถานการณ์ที่ 3 (SCENARIO 3: จำนวนหม้อแปลงที่ต้องการผลิตเพิ่มขึ้นจากปี 2557 ในสัดส่วน 25% คือ 110 เครื่อง) จะพบว่ากระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลงยังสามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 62%

ภาพประกอบที่ 45 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการในสถานการณ์ต่างๆ

AFTER



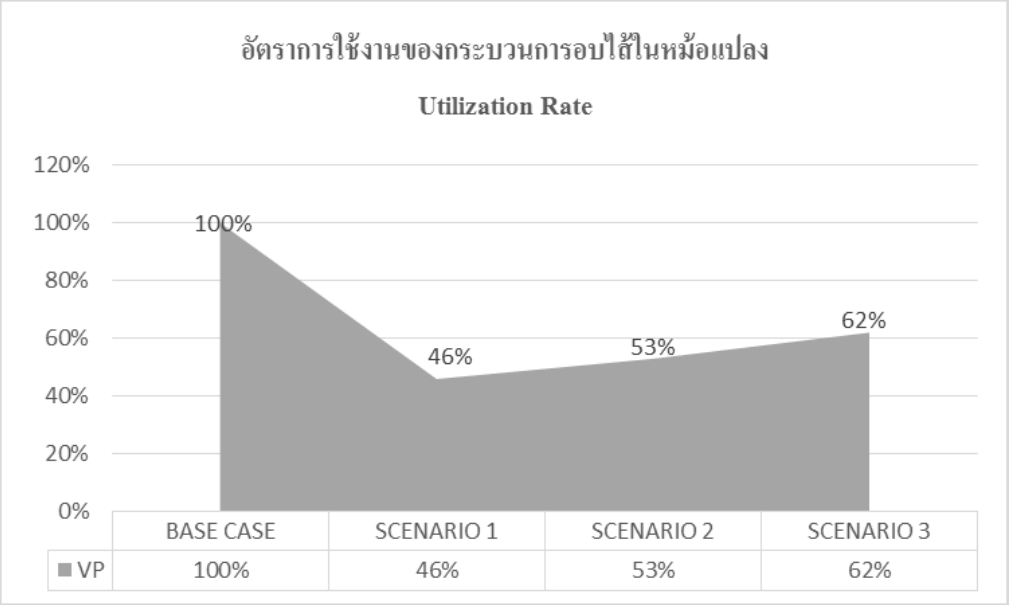
		SCENARIO 1			SCENARIO 2		SCENARIO 3
Scenario	Scenario	Base Case	Maximum Capacity	Add OT Final (Max Cap)	15%	Add OT Test	25%
PROCESS	STATION	UTILIZATION					
Core Shop	2	42%	84%	84%	50%	84%	84%
Winding Shop	2	70%	99%	100%	82%	100%	100%
Active Part Shop	3	54%	75%	75%	62%	75%	75%
Vapour Phase Oven	2	46%	62%	62%	53%	62%	62%
Final Assembly Shop	2	86%	99%	92%	80%	92%	92%
Test Shop	1	79%	88%	97%	90%	64%	64%
Disassembly & Packing Shop	2	77%	84%	91%	87%	95%	95%
NUMBER OUT (Transformers)		88	97	105	101	110	110

ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า หลังจากเพิ่มสถานีงานของกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงเพิ่มอีก 1 สถานี ประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงดีขึ้น และกระบวนการดังกล่าว

ก็ไม่เป็นข้อจำกัดของระบบการผลิตอีกต่อไป ดังภาพประกอบที่ 46 ที่แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดังกล่าวยังคงสามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้

ภาพประกอบที่ 46 อัตราการใช้งานกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง



ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

4.2 ผลกระทบต่อกระบวนการผลิตทั้งหมด

4.2.1 ระยะเวลารอคอยในกระบวนการผลิต

ผลของระยะเวลารอคอยรวมหลังจากเพิ่มสถานีกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงลดลงจากเดิมที่สถานการณ์ตั้งต้น 2,602 ชั่วโมง เป็น 1,786 ชั่วโมงในสถานการณ์ที่ 1 จำนวน 1,590 ชั่วโมงในสถานการณ์ที่ 2 และจำนวน 1,622 ชั่วโมงในสถานการณ์ที่ 3 ดังตารางที่ 14

สำหรับจำนวนคิวรวมก็เช่นกันหลังจากเพิ่มสถานีกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงพบว่า จำนวนคิวลดลงจากเดิมที่สถานการณ์ตั้งต้นมีหม้อแปลงระหว่างผลิตจำนวน 40 เครื่อง เป็น 21 เครื่องในสถานการณ์ที่ 1 จำนวน 17 เครื่องในสถานการณ์ที่ 2 และ จำนวน 27 เครื่องในสถานการณ์ที่ 3 ดังสรุปตามตารางที่ 15

ตารางที่ 14 เวลารอคอยในสถานีงานต่างๆ

กระบวนการผลิต	**สถานการณ์ตั้งต้น**	**สถานการณ์ที่**		
		1	**2**	**3**
ผลิตแกนเหล็ก	123	111	111	121
ผลิตขดลวด	1,334	988	1,100	1,323
ประกอบไส้ในหม้อแปลง	10	10	9	9
อบไส้ในหม้อแปลง	1,034	7	7	7
ประกอบขั้นสุดท้าย	34	539	51	51
ตรวจสอบหม้อแปลง	47	92	225	5
บรรจุภัณฑ์	20	40	87	105
เวลารอคอยรวม	**2,602**	**1,786**	**1,590**	**1,622**

ที่มา: Process Analyzer

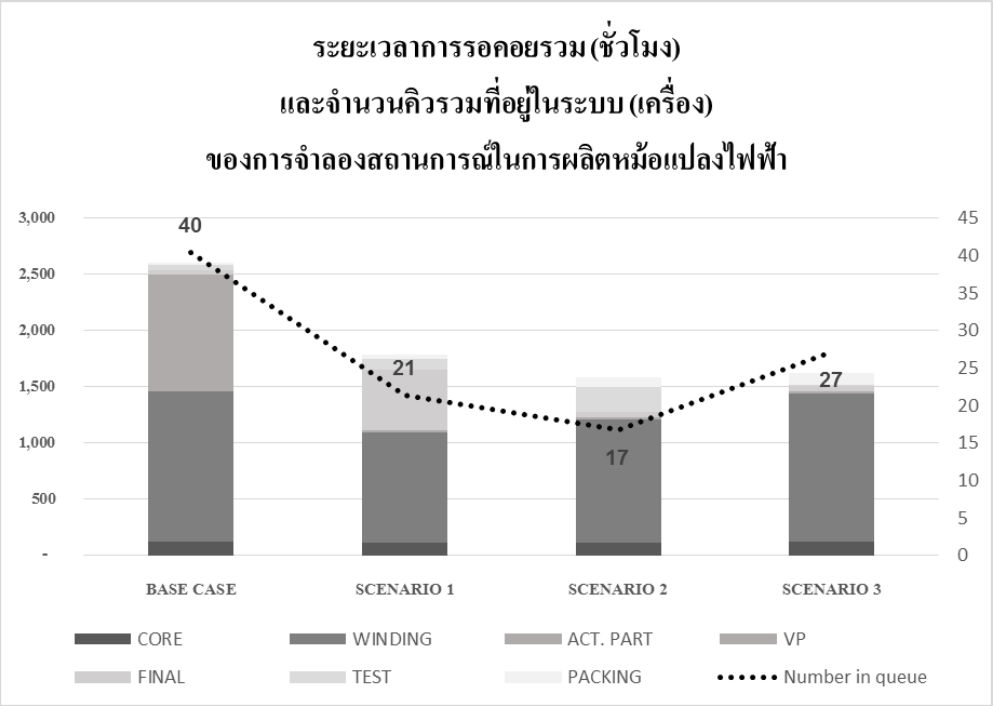
ตารางที่ 15 งานระหว่างผลิตในสถานีงานต่างๆ

กระบวนการผลิต	**สถานการณ์ตั้งต้น**	**สถานการณ์ที่**		
		1	**2**	**3**
ผลิตแกนเหล็ก	2	1	1	2
ผลิตขดลวด	24	9	12	23
ประกอบไส้ในหม้อแปลง	0	0	0	0
อบไส้ในหม้อแปลง	13	0	0	0
ประกอบขั้นสุดท้าย	0	5	1	1
ตรวจสอบหม้อแปลง	1	1	3	0
บรรจุภัณฑ์	0	5	1	1
จำนวนคิวรวม	**40**	**21**	**17**	**27**

ที่มา: Process Analyzer

จากข้อมูลทั้งสองส่วนสามารถนำมาสรุปเป็นกราฟได้ดังภาพประกอบที่ 46

ภาพประกอบที่ 47 ระยะเวลาการรอคอยรวมและจำนวนคิวรวมในสถานการณ์ต่างๆ



ที่มา: ผู้วิจัย

4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์

สำหรับวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของผลผลิต (Number Out) แสดงผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 16 ระยะเวลารอคอย (Waiting Time) แสดงผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 17-23 และจำนวนคิว (Number in Queue) แสดงผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 24-30

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของผลผลิต (Number Out)

ผลลัพธ์ของผลผลิต	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)

ที่มา: Output Analyzer

ระยะเวลารอคอย (Waiting Time)

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอยในกระบวนการผลิตแกนเหล็ก

กระบวนการผลิตแกนเหล็ก	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการผลิตขดลวด

กระบวนการผลิตขดลวด	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง

กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง

กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการประกอบสุดท้าย

กระบวนการประกอบสุดท้าย	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการตรวจสอบหม้อแปลง

กระบวนการตรวจสอบหม้อแปลง	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของระยะเวลารอคอย (Waiting Time) ในกระบวนการบรรจุภัณฑ์

กระบวนการบรรจุภัณฑ์	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณคิว (Number in Queue)

ตารางที่ 24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการผลิตแกนเหล็ก

กระบวนการผลิตแกนเหล็ก	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)	ไม่แตกต่าง

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 25 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการผลิตขดลวด

กระบวนการผลิตขดลวด	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 26 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง

กระบวนการประกอบไส้ในหม้อแปลง	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง

กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง

ที่มา: Output Analyzer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย

กระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการตรวสอบหม้อแปลง

กระบวนการตรวสอบหม้อแปลง	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (ลดลง)

ที่มา: Output Analyzer

ตารางที่ 30 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลลัพธ์ของจำนวนคิว (NQ) ในกระบวนการบรรจุภัณฑ์

กระบวนการบรรจภัณฑ์	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
BASE CASE	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)	แตกต่าง (เพิ่มขึ้น)

ที่มา: Output Analyzer

4.4 ผลวิเคราะห์ทางการเงิน

หลังจากวิเคราะห์กระบวนการผลิตเสร็จ ผู้วิจัยได้นำจำนวนหม้อแปลงที่ผลิตตามสถานการณ์ต่างๆ มาวิเคราะห์ผลลัพธ์ รวมถึงการนำต้นทุนในการลงทุนเริ่มต้นดังตารางที่ 31 และต้นทุนในการเปิดการทำงานล่วงเวลาให้กับพนักงานแผนกต่างๆ ดังตารางที่ 32 เพื่อพิจารณาต้นทุนที่จะเกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ จากนั้นก็ทำการวิเคราะห์ทางการเงินได้ผลตามตารางที่ 33 โดยที่สถานการณ์ที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุน 0.7 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 9 และผลตอบแทนภายใน 51% ส่วนสถานการณ์ที่ 3 ระยะเวลาคืนทุน 0.7 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 17 และผลตอบแทนภายใน 52% แต่ในสถานการณ์ที่ 1 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ -23 อัตราผลตอบแทนภายใน -100% เนื่องจากไม่มีปริมาณการผลิตหรือรายได้ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสรุปได้ว่าโรงงานกรณีศึกษาจะต้องมีความต้องการสินค้าจากลูกค้าตามกรณีที่ 2 และ 3 คือจะต้องขายให้ได้มากกว่าความต้องการของปี 2557 15% และ 25% เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน แต่ถ้าพิจารณาจากจุดคุ้มทุนนั้น หากโรงงานกรณีศึกษาสามารถผลิตหม้อแปลงได้ 94 เครื่อง หรือมูลค่า 2,353 ล้านบาท ก็จะคืนทุนพอดี

ตารางที่ 31 ต้นทุนเริ่มต้นโครงการในการย้ายและติดตั้งเตาอบไส้ในหม้อแปลงใหม่

Exchange Rate (Budget Rate)	32.109	
Description	**KUSD**	**KTHB**
Transportation door-door Base on quote for Bilbao-Bangkok	95	3050
Land Hefei reloading harbour and unloading Bangkok (3x5 KUSD)		
Disassembly Hefei 4 weeks, 6 peaple $1000/week		
Assembly in Bangkok 8 weeks, 6 peaple $1000/week	135	4335
New electrical and piping insulation New solvent		
New Thermal oil		
New Hydraulic and Pneumatic piping		
New piping material		
New Cooling system Maybe existing cooling machine can be used and shared between the 2 VP	30	963
Power Supply Maybe you need to install new transformer	120	3853
Exhaust piping Modification to roof and/or walls	160	5137
Foundation work for autoclave		
Solvent, Waste water, Wast oil tanks and foundation for tanks		
Additional material such as vacuum oil and new electrical parts.	30	963
Repair of components broken during transport		
New electrical heater 400 kW with thyristor control	60	1927
Micafil commissioning cost	20	642
Other	50	1605
Total Cost	**700**	**22476**

ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 32 ค่าล่วงเวลาพนักงานในแผนกต่างๆ

กระบวนการผลิต	ค่าใช้จ่ายในเวลาทำงานปกติ		ค่าใช้จ่ายหลังจากลดเวลาทำงาน		ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลง	
	จำนวนวัน	ต้นทุน	จำนวนวัน	ต้นทุน	โดยรวม	ต่อวัน
ผลิตขดลวด	6	200	4	280	+80	+40
ผลิตแกนเหล็ก	4	150	3	210	+60	+60
ประกอบไส้ในหม้อแปลง	4	100	3	140	+40	+40
อบไส้ในหม้อแปลง	4	100	3	140	+40	+40
ประกอบขั้นสุดท้าย	7	300	6	420	+120	+120
ตรวจสอบหม้อแปลง	3	150	2	210	+60	+60
บรรจุภัณฑ์	6	50	5	70	+20	+20

ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

ตารางที่ 33 ผลของการวิเคราะห์ทางการเงิน

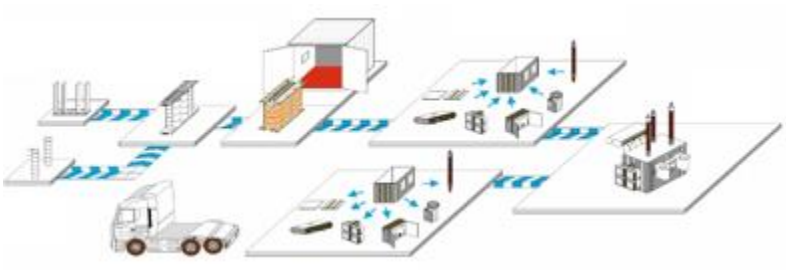
ดัชนีชี้วัด	หลังเพิ่มกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง (เต็มกำลังการผลิต)	สถานการณ์ที่		
		1	2	3
จุดคุ้มทุน: เครื่อง	94	94	97	102
จุดคุ้มทุน: ล้านบาท	2,353	2,353	2,415	2,562
ระยะเวลาคืนทุน (<5 ปี)	0.7	N/A	0.7	0.7
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ: NPV (>0): ล้านบาท	8	*-23*	9	17
อัตราผลตอบแทนภายใน: IRR (>=10%)	47%	*-100*	51%	52%
จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้ (เครื่อง)	**97**	**88**	**101**	**110**

ที่มา: ผู้วิจัย

4.4 สรุปรูปแบบการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ามาเป็นส่วนร่วม

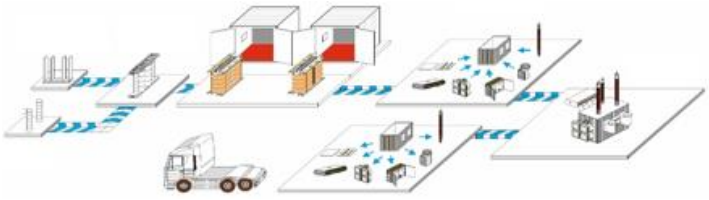
รูปแบบการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเริ่มจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตตามตารางที่ ที่ได้ออกแบบไว้ใน excel โดยเมื่อกรอกค่าประสิทธิภาพการทำงานลงไป จะทำให้เห็นได้ว่าในสถานการณ์ต่างๆ กระบวนการใดที่เป็นข้อจำกัดของระบบการผลิต

ตารางที่ 34 ตารางสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อหาข้อจำกัดในกระบวนการผลิต (ก่อนเพิ่มสถานีงานของกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง)

BEFORE		
		
Scenario		**Base Case**
PROCESS	**STATION**	**UTILIZATION**
Core Shop	2	85%
Winding Shop	2	99%
Active Part Shop	3	75%
Vapour Phase Oven	1	100%
Final Assembly Shop	2	90%
Test Shop	1	81%
Disassembly & Packing Shop	2	77%
NUMBER OUT (Transformers)		**88**

ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ต SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

ตารางที่ 35 ตารางสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อหาข้อจำกัดในกระบวนการผลิต (หลังเพิ่มสถานีงานของกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง)

AFTER							
							
		SCENARIO 1			**SCENARIO 2**		**SCENARIO 3**
Scenario	**Scenario**	**Base Case**	**Maximum Capacity**	**Add OT Final (Max Cap)**	**15%**	**Add OT Test**	**25%**
PROCESS	**STATION**	**UTILIZATION**					
Core Shop	2	42%	84%	84%	50%	84%	84%
Winding Shop	2	70%	99%	100%	82%	100%	100%
Active Part Shop	3	54%	75%	75%	62%	75%	75%
Vapour Phase Oven	2	46%	62%	62%	53%	62%	62%
Final Assembly Shop	2	86%	99%	92%	80%	92%	92%
Test Shop	1	79%	88%	97%	90%	64%	64%
Disassembly & Packing Shop	2	77%	84%	91%	87%	95%	95%
NUMBER OUT (Transformers)		**88**	**97**	**105**	**101**	**110**	**110**

ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ต SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

จากนั้นนำปริมาณการผลิตในสถานการณ์ต่างๆ และต้นทุนต่างๆ ไปคำนวณดัชนีชี้วัดทางการเงินดังตารางที่ 36 โดยจะระบุแหล่งที่มาของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณไว้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 36 การคำนวณดัชนีชี้วัดทางการเงิน

ที่มาของข้อมูล	ที่มาของข้อมูล								
โมเดลตั้งต้น	บริษัทกรณีศึกษา	ข้อมูลปี 2557	บริษัทกรณีศึกษา	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา	ผลคำนวณ	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา	บริษัทกรณีศึกษา
แบบจำลองในสถานการณ์ต่างๆ	บริษัทกรณีศึกษา	ARENA	บริษัทกรณีศึกษา	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา	ผลคำนวณ	ผลคำนวณ	บริษัทกรณีศึกษา	บริษัทกรณีศึกษา
SCRNARIO 1: Maximum Capacity									
การวิเคราะห์ทางการเงิน	**เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ**	**จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตเพิ่มขึ้นต่อปี (A)**	**ราคาขายเฉลี่ยต่อหน่วย (B)**	**รายได้ต่อปี (D) = (A)x(B)**	**ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย(C)**	**ต้นทุนผันแปร (E) = (A)x(C)**	**เงินสดรับสุทธิ (D)-(E)**	**ระยะเวลาของโครงการ**	**อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ**
ระยะเวลาคืนทุน	23	9	25	225	21.3	191	34		
NPV	23	9	25	225	21.3	191	34	1	10
IRR	23	9	25	225	21.3	191	34	1	
จุดคุ้มทุน	23		25		21.3				
SCRNARIO 1: Demand as Y2014									
การวิเคราะห์ทางการเงิน	**เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ**	**จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตเพิ่มขึ้นต่อปี (A)**	**ราคาขายเฉลี่ยต่อหน่วย (B)**	**รายได้ต่อปี (D) = (A)x(B)**	**ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย(C)**	**ต้นทุนผันแปร (E) = (A)x(C)**	**เงินสดรับสุทธิ (D)-(E)**	**ระยะเวลาของโครงการ**	**อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ**
ระยะเวลาคืนทุน	23	0	25	0	21.3	0	0		
NPV	23	0	25	0	21.3	0	0	1	10
IRR	23	0	25	0	21.3	0	0	1	
จุดคุ้มทุน	23		25		21.3				
SCENARIO 2: DEMAND INCREASE 15%									
การวิเคราะห์ทางการเงิน	**เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ**	**จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตเพิ่มขึ้นต่อปี (A)**	**ราคาขายเฉลี่ยต่อหน่วย (B)**	**รายได้ต่อปี (D) = (A)x(B)**	**ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย(C)**	**ต้นทุนผันแปร (E) = (A)x(C)**	**เงินสดรับสุทธิ (D)-(E)**	**ระยะเวลาของโครงการ**	**อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ**
ระยะเวลาคืนทุน	23	13	25	325	22.3	290	35		
NPV	23	13	25	325	22.3	290	35	1	10
IRR	23	13	25	325	22.3	290	35	1	
จุดคุ้มทุน	23		25		22.3				
SCENARIO 3: DEMAND INCREASE 25%									
การวิเคราะห์ทางการเงิน	**เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ**	**จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตเพิ่มขึ้นต่อปี (A)**	**ราคาขายเฉลี่ยต่อหน่วย (B)**	**รายได้ต่อปี (D) = (A)x(B)**	**ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย(C)**	**ต้นทุนผันแปร (E) = (A)x(C)**	**เงินสดรับสุทธิ (D)-(E)**	**ระยะเวลาของโครงการ**	**อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ**
ระยะเวลาคืนทุน	23	22	25	550	23.4	515	35		
NPV	23	22	25	550	23.4	515	35	1	10
IRR	23	22	25	550	23.4	515	35	1	
จุดคุ้มทุน	23		25		23.4				

Chulalongkorn University

ที่มา: ผู้วิจัย

สุดท้ายนำผลที่ได้จากการคำนวณมาสรุปดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ผลทางการเงินเทียบกับเป้าหมายที่กำหนดเพื่อนำไปวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

SCENARIO	สถาการณ์ที่ความต้องการต่างๆ	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	NPV	IRR	จุดคุ้มทุน (จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น)	จุดคุ้มทุน (ล้านบาท)
AFTER	เต็มกำลังการผลิตหลังจากเพิ่มกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลง	**0.7**	**8**	**47%**	**94**	**2,353**
SCENARIO 1	ความต้องการเท่ากับปี 2557	**N/A**	**-23**	**-100%**	**94**	**2,353**
SCENARIO 2	ความต้องการเพิ่มขึ้น 15% ตามเป้าหมายของบริษัท	**0.7**	**9**	**51%**	**97**	**2,415**
SCENARIO 3	ความต้องการเพิ่มขึ้น 25% ตามการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP)	**0.7**	**17**	**52%**	**102**	**2,562**
เงื่อนไขทางการเงิน		ระยะเวลาคืนทุนของโครงการน้อยกว่าระยะเวลาคืนทุนที่บริษัทกำหนด (น้อยกว่า 5 ปี)	มีค่าเป็นบวก	มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราลดค่าที่ 10%	สามารถวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในหน่วยปริมาณการผลิต และจุดคุ้มทุนในหน่วยของเงิน	

ที่มา: ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปใช้ และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองจำลองสถานการณ์พบว่าการปฏิบัติการที่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงลดลง แสดงว่ายังไม่ถูกใช้งานจนเต็มกำลัง อีกทั้งผลผลิตโดยรวมยังสามารถผลิตหม้อแปลงได้เพิ่มขึ้นจาก 88 เป็น 97 เครื่อง และกระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงไม่เป็นข้อจำกัดในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอีกต่อไป เนื่องจากสัดส่วนการใช้งานของกระบวนการดังกล่าวลดลงจาก 100% เป็น 46% ในสถานการณ์ที่ 1 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเท่ากับปี 2557 คือ 88 เครื่อง) 53% ในสถานการณ์ที่ 2 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 15% คือ 101 เครื่อง) และ 62% ในสถานการณ์ที่ 3 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 25% คือ 110 เครื่อง) แสดงว่ากระบวนการผลิตสามารถรองรับปริมาณการผลิตที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นจากการทดลองได้มากกว่า 25%

สำหรับระยะเวลารอคอยในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง หลังจากแก้ไขปัญหาข้อจำกัดที่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงพบว่าระยะเวลารอคอยลดลง จากสถานการณ์ตั้งต้นที่ 2.602 ชั่วโมง เป็น 1,786 ชั่วโมงในสถานการณ์ที่ 1 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเท่ากับปี 2557 คือ 88 เครื่อง) 1,590 ชั่วโมงในสถานการณ์ที่ 2 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 15% คือ 101 เครื่อง) และ 1,622 ชั่วโมงในสถานการณ์ที่ 3 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 25% คือ 110 เครื่อง) จะเห็นได้ว่าระยะเวลารอคอยลดลงเรื่อยๆ จากสถานการณ์ตั้งต้น แต่พอถึงปริมาณการผลิตที่ระดับหนึ่งจะพบว่าระยะเวลารอคอยเพิ่มขึ้น

ในส่วนของจำนวนคิวในระบบการผลิตก็เช่นกัน หลังจากแก้ไขปัญหาข้อจำกัดที่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงพบว่าจำนวนคิวลดลงเช่นกัน จากสถานการณ์ตั้งต้นที่ 40 เครื่อง เป็น 21 เครื่องในสถานการณ์ที่ 1 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเท่ากับปี 2557 คือ 88 เครื่อง) 17 เครื่องในสถานการณ์ที่ 2 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 15% คือ 101 เครื่อง) และ 27 เครื่องในสถานการณ์ที่ 3 (ความต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 25% คือ 110 เครื่อง) จะเห็นได้ว่าจำนวนคิวลดลงเรื่อยๆ จากสถานการณ์ตั้งต้น แต่พอถึงปริมาณการผลิตที่ระดับหนึ่งจะพบว่าจำนวนคิวเพิ่มขึ้น

และสุดท้ายสำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนพบว่า สถานการณ์ที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุน 0.7 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 9 และผลตอบแทนภายใน 51% ส่วนสถานการณ์ที่ 3 ระยะเวลาคืนทุน 0.7 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 17 และผลตอบแทนภายใน 52% แต่ในสถานการณ์ที่ 1 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ -23 อัตราผลตอบแทนภายใน -100% เนื่องจากไม่มีปริมาณการผลิตหรือรายได้ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสรุปได้ว่าโรงงานกรณีศึกษาจะต้องมีความต้องการสินค้าจากลูกค้าตามกรณีที่ 2 และ 3 คือจะต้องขายให้ได้มากกว่าความต้องการของปี 2557 15% และ 25% เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน แต่ถ้าพิจารณาจากจุดคุ้มทุนนั้น หากโรงงานกรณีศึกษาสามารถผลิตหม้อแปลงได้ 94 เครื่อง หรือมูลค่า 2,353 ล้านบาท ก็จะคืนทุนพอดี และหากพิจารณาในมุมมองที่ความต้องการของลูกค้ามีน้อยกว่าปี 2557 จะพบว่าโครงการดังกล่าวไม่ควรลงทุน เนื่องจากกำลังการผลิตที่มีอยู่ยังสามารถรองรับต่อความต้องการดังกล่าวได้โดยไม่จำเป็นต้องมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้พบว่า การวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยการประยุกต์การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ นอกจากจะสามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นประสิทธิภาพการทำงานของระบบการผลิต ระยะเวลาการรอคอยในกระบวนผลิต และจำนวนคิวที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว ยังช่วยประกอบการตัดสินใจเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดที่พึงจะได้รับ เนื่องจากการจำลองสถานการณ์สามารถสร้างสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตของธุรกิจ แล้วนำมาประมวลผลเพื่อดูแนวโน้มเกี่ยวกับปัจจัยที่ผู้วิจัยสนใจว่าแนวโน้มของแต่ละสถานการณ์จะเป็นอย่างไร จึงเป็นการช่วยลดความเสี่ยงในการลงทุนก่อนที่จะตัดสินใจลงทุนจริงกับโครงการที่อยู่ในขั้นตอนการพิจารณาอีกด้วย ดังงานวิจัยของผู้วิจัยท่านอื่นๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้เช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปใช้

1. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในเพียงข้อมูลย้อนหลังจากปี 2557 ซึ่งระยะเวลาของกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการมีความแปรปรวนที่ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าในปี 2557 เท่านั้น ซึ่งแต่ละกลุ่มลูกค้าที่แตกต่างกันก็จะมีความต้องการทางด้านเทคนิคที่แตกต่างกันออกไปด้วย ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการผลิตเช่น กระบวนการที่เป็นข้อจำกัดอาจจะเปลี่ยนไป แต่ถึงอย่างไรก็ตามหากเปลี่ยนระยะเวลาในการผลิตก็สามารถนำตารางที่ 19 เป็นรูปแบบในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้ และสามารถนำรูปแบบตามตารางที่ 20 และ 21 ไปใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนได้

2. เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในกับกระบวนการผลิต ให้ผลิตในปริมาณการผลิตที่พอเหมาะ สถานีที่เป็นต้นน้ำ นั่นคือ สถานีตัดเรียงเหล็ก และพันขดลวด ควรมีระบบช่วยตรวจสอบ

ปริมาณสินค้าคงคลัง เพื่อไม่ให้สินค้าคงคลังดังกล่าวเข้ามารอ แล้วทำให้เกิดเงินจมในกระบวนการผลิต โดยอาจจะมีการประยุกต์ใช้ระบบการนำวัตถุดิบเข้ามาแบบทันเวลาพอดี หรือ Just In Time

3. ระยะเวลาในแต่ละกระบวนการเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต ดังนั้นหากเราศึกษาเกี่ยวกับการจัดสมดุลการผลิตหรือ Line Balancing จะทำให้เรามีเป้าหมายได้ว่าแต่ละกระบวนการควรมีระยะเวลาในการผลิตเป็นเท่าไหร่ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคร่าวๆ เกี่ยวกับการจัดสมดุลการผลิต โดยการใช้รอบของการผลิต ซึ่งพิจารณาจากระยะเวลาการผลิต กับจำนวนสถานีในแต่ละกระบวนการพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในแต่ละกระบวนการผลิตต้องปรับให้ได้ตามตารางที่ 22

ตารางที่ 38 การเปรียบเทียบเวลาทำงานก่อน และหลังการปรับสมดุลการผลิต

กระบวนการผลิต	**จำนวนสถานี**	**เวลาทำงานเฉลี่ย (วัน)**	**เวลาทำงานจากการปรับสมดุลการผลิต (วัน)**
ผลิตแกนเหล็ก	2	4	4
ผลิตขดลวด	2	**6**	**4**
ประกอบไส้ในหม้อแปลง	3	**7**	**6**
อบไส้ในหม้อแปลง	1	4	4
ประกอบขั้นสุดท้าย	2	**7**	**4**
ตรวจสอบหม้อแปลง	1	**3**	**2**
บรรจุภัณฑ์	2	**6**	**4**

ที่มา ผู้วิจัย

และเมื่อนำเวลาการทำงานในแต่ละกระบวนการผลิตเข้าไปจำลองสถานการณ์ในโปรแกรมการจำลองสถานการณ์พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการมีความสมดุล และมีอัตราการใช้งานกระบวนการผลิตดังตารางที่ 39 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ต่างๆ จะพบว่า กรณีของการปรับสมดุลการผลิต มีอัตราการใช้งานของกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างเท่ากัน นั้นหมายความว่า ในกระบวนการผลิตจะมีระยะเวลารอคอยที่สั้น และจำนวนคิวที่น้อยกว่าสถานการณ์อื่นๆ ดังภาพประกอบที่

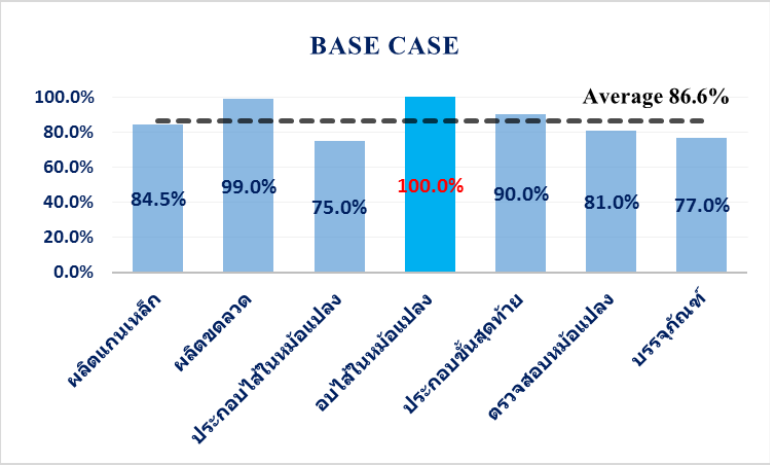
ตารางที่ 39 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละกระบวนการ เมื่อปรับสมดุลการผลิต

Line Balancing		
PROCESS	**STATION**	**Focus cycle time**
Core Shop	2	84%
Winding Shop	2	84%
Active Part Shop	3	81%
Vapour Phase Oven	2	77%
Final Assembly Shop	2	77%
Test Shop	1	80%
Disassembly & Packing Shop	2	76%
NUMBER OUT (Transformers)		**139**

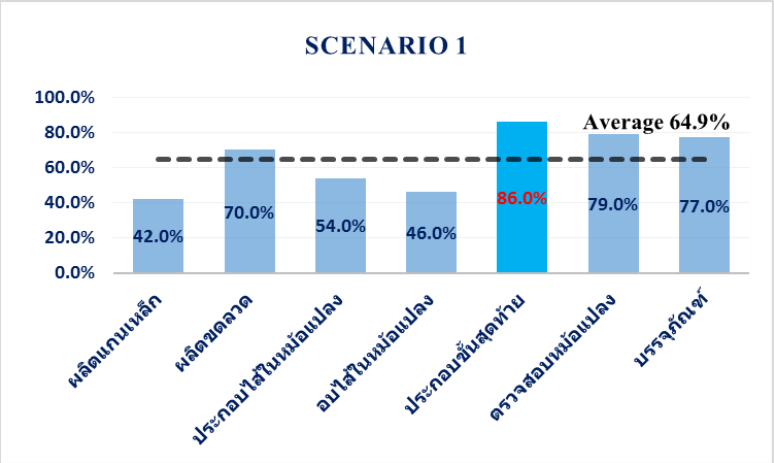
ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

ภาพประกอบที่ 48 อัตราการใช้งานของกระบวนการผลิตในสถานการณ์ต่างๆ

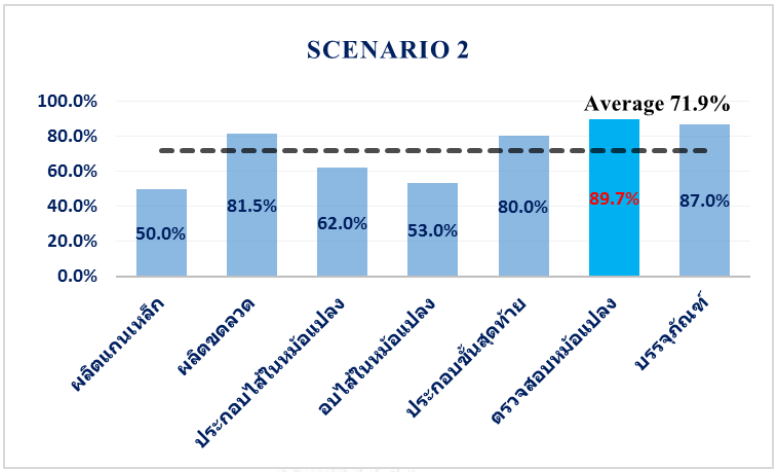
สถานการณ์ตั้งต้น ก่อนเพิ่มสถานีอบไส้ในหม้อแปลง



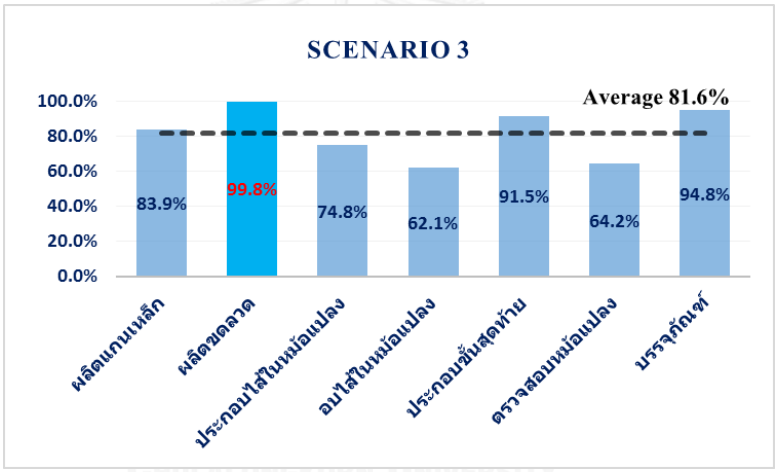
สถานการณ์ที่ 1 ความต้องการของลูกค้าเท่ากับปี 2557



สถานการณ์ที่ 2 ความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 ที่ 15%

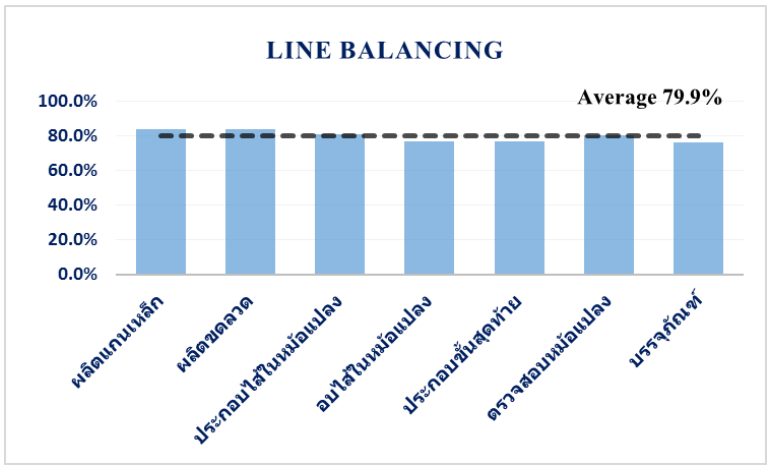


สถานการณ์ที่ 3 ความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นจากปี 2557 ที่ 25%



CHULALONGKORN UNIVERSITY

สถานการณ์ปรับสมดุลการผลิต



ที่มา: การวิเคราะห์ผลจากรีพอร์ต SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

แต่ถึงอย่างไรก็ตามความเป็นไปได้ในการปรับระยะเวลาของกระบวนการผลิตก็ขึ้นอยู่กับความต้องการทางด้านเทคนิคของลูกค้า ดังนั้นแสดงว่าฝ่ายขายอาจจะต้องเข้ามามีส่วนร่วมด้วยในการนำเสนอทางด้านเทคนิคให้ไม่มีความหลากหลายจนเกิดไป เพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงที่สุดที่พึงจะเป็นได้

4. สืบเนื่องมาจากกรณีข้อเสนอแนะในข้อ 3 นอกจากจะเป็นการนำไปเพื่อตั้งเป็นเป้าหมายของเวลาในการผลิตของกระบวนการต่างๆ แล้ว ยังสามารถวางแผนในการปรับปรุงแต่ละกระบวนการโดยอาจจะไม่ใช้เพียงแต่มองว่าจะลดเวลาการทำงานโดยเปิดชั่วโมงล่วงเวลาเพียงอย่างเดียว แต่ยังอาจจะสามารถนำเทคนิคการผลิตแบบลีน ซึ่งอาจจะมีการจัดโครงการไคเซน การพัฒนาศักยภาพของพนักงานให้สามารถทำงานได้หลายๆ สถานีงาน เพื่อให้ระยะเวลาการทำงานเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ โดยไม่ต้องมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้น

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยสามารถวิจัยให้ครอบคลุมทุกกระบวนการตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้น ซึ่งคือกระบวนการออกแบบ กระบวนการจัดเตรียมวัตถุดิบ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์กระบวนการที่เป็นข้อจำกัดได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. ในการวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยสามารถนำปริมาณงานที่มีอยู่ในมือหรือ Order Backlog มาตั้งเป็นสถานการณ์เพิ่มเติมในการพิจารณาปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้

5.2.3 ข้อเสนอแนะใช้เชิงวิชาการ

การปรับปรุงกระบวนการผลิตที่เป็นข้อจำกัดหรือคอขวดของระบบ เมื่อปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวจนไม่เป็นข้อจำกัดของระบบแล้ว ก็จะส่งผลให้กระบวนการอื่นๆ ในระบบเป็นข้อจำกัดแทน และจะหมุนแบบนี้ไปเรื่อยๆ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การปรับปรุงกระบวนการผลิตไม่มีวันสิ้นสุด มีปัจจัยใหม่ๆ เข้ามาก่อความแปรปรวนในกระบวนการผลิตได้ตลอดเวลา ดังนั้นการศึกษาการปรับปรุงระบบการผลิตที่ดี จะต้องถึงศึกษาทั้งปัจจัยภายนอก อันได้แก่ ความต้องการของตลาด นโยบายการค้า นโยบายการนำเข้า-ส่งออก รวมถึงคู่แข่งทางการค้า และอื่นๆ สำหรับปัจจัยภายใน อันได้แก่ กำลังการผลิต ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรและพนักงาน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจษฎา คูณมี, & สิทธิพร พิมพ์สกุล. (2554). การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมการผลิตแบบผสมระหว่างแบบผลักแบบดึง และระบบควบคุมการผลิตแบบ Drum-Buffer-Rope ในกระบวนการผลิตตามสั่งของลูกค้าโดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, *22*(4), 69-76.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2545). การวิเคราะห์เชิงปริมาณ. กรุงเทพฯ: คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การผลิตและการจ่ายไฟฟ้า. Retrieved from http://dnfe5.nfe.go.th/ilp/electric/Elec-2.htm

กิตติพงศ์ ลิ้นแก้ว. (2537). การประยุกต์หลักการของทฤษฎีข้อจำกัดเพื่อช่วยในการวางแผนและควบคุมการผลิตในโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กุสุมา ผลาพรม. (2553). การบริหารการเงินในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สื่อเสริมกรุงเทพ.

ชรินทร์ สิงห์นิล. (2542). การปรับปรุงกระบวนการเพิ่มผลผลิตธนบัตร. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชูศักดิ์ พรสิงห์. (2552). การประยุกต์ใช้ทฤษฎีข้อจำกัดในระบบการผลิตตามสั่งแบบยืดหยุ่น. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล. (2545). หม้อแปลงไฟฟ้า. นนทบุรี: เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์.

บรรลือ ชัยสมตระกูล. (2544). การเพิ่มผลผลิตด้วยทฤษฎีข้อจำกัด: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเรือน. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์, วุฒินันท์ นุ่นแก้ว, & วรพล ธนารักษ์สกุล. (2550). การจำลองสถานการณ์ตามหลักการของทฤษฎีข้อจำกัดเพื่อการปรับปรุงสายการผลิตแผ่นวงจรชนิดอ่อน. วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น, *34*(4), 459–464.

พฤทธิพงศ์ โพธิวราพรรณ. (2548). การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่อง-แบบช่วง): กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ. (วิศวกรรมศาสตร

มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภีระ ศรีอำพันธ์. (2546). การนำระบบทฤษฎีข้อจำกัดเข้ามาใช้ในการวางแผนและการควบคุมการผลิตโรงงานกระจกนิรภัย. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มงคล สกุลแก้ว, & กิจจา ศรีพัฑฒางกุระ. (2559). ASEAN Power Grid. Retrieved from http://www2.egat.co.th/apg/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=472

มานพ วราภักดิ์. (2550). การจำลอง. กรุงเทพฯ: วี พริ้นท์.

รังสรรค์ กระจาย. (2553). การปรับปรุงกระบวนการโดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์โรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้า. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. (2551). คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีน่า. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วินัย พุทธกูล. (2551). การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการจัดการทางธุรกิจ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิลาสินี รอดนิ่ม. (2548). การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมการผลิตแบบผลักและดึงและกำหนดขนาดคัมบังในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาพร พลแสน. (2543). การใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตหัวอ่าน. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุชาดา วราสินธุ์. (2543). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล: กรณีศึกษาโรงงานนครปฐมไทยพลาสติก. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อุดม สุรเชิดเกียรติ. (2540). การจำลอง. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาษาอังกฤษ

Betterton, C. E., & Cox, J. F. (2009). Espoused Drum-Buffer-Rope Flow Control in Serial Lines : A Comparative Study of Simulation Models. *International Journal of Production Economics, 117*, 66-79.

Duclos, L.K., Spencer, & M.S. (1995). The Impact of a Constraint Buffer in a Flow Shop. *International Journal of Production Economics, 42*, 175-185.

Goldratt, E.M., Fox, & R.E. (1986). *The Race*. Hudson: North River Press.

Goldratt, E. M., & Cox. (2004). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement* (3rd ed.). Great Barrington: North River Press.

Jay Heizer, & Barry Render. (1996). *Production & operations management*: Prentice Hall.

Kadipasaoglu, S.N. Xiang, W. Hurley, S. F., & Khumawala B. M. (2000). A Study on the Effect of the Extent and Location of Protective Capacity in Flow Systems. *International Journal of Production Economics, 63*, 217-228.

Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Swets, & N.B. (2010). *Simulation with Arena* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Liker, & J.K. (2004). *The Toyota Way*. New York: McGraw-Hill.

Peeraya Sungkamee, & Panitarn Peerapattana. (2013). The measures to improve the manufacturing process by using the lean concept for hard disk drive industry. *AIJSTPME, 6*(1), 57-66.

Savsar M. (1997). Simulation Analysis of a Pull-Push System for an Electronic Assembly Line. *International Journal of Production Economics*(51), 205-214.

Sebastien Thomassey. (2014). A simulation based comparison: Manual and automatic distribution setup in a textile yarn rewinding unit of a yarn dyeing factory. *Journal of Simulation Modelling Practice and Theory, 45*, 80-90.

Seraj Yousef Abed. (2008). *Improving Productivity in Food Processing Industries Using Simulation - A Case Study.* Paper presented at the 12th WSEAS International Conference on Systems, Greece.

Shannon, & R.E. (1975). *Systems Simulation: the art and science*. New Jersey: PrenticeHall.

Teresa Lang, & Edward J T. (2014). *Simulation Improves Manufacture and Material Handling of Forged Metal Components.* (Engineering), University of Michigan.

Wu, H.H. Chen, C.P. Tsai, C.H., Yang, & C.J. (2010). Simulation and Scheduling Implementation Study of TFT-LCD Cell Plants Using Drum-Buffer-Rope

System. *International Journal of Expert Systems with Application, 37*, 8127-8133.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
เวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการในปี 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 40 เวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการผลิตของปี 2557

No	S/N	Core	Winding	AP	VP	Final	Test	Pack	Total
1	507025	3.8	6.3	5.9	4.2	6.8	3.7	9.3	36.1
2	507017	2.0	5.6	3.0	4.3	6.1	2.8	6.1	27.7
3	507018	3.8	7.2	10.3	3.9	10.8	4.1	4.8	41.0
4	507019	2.7	5.0	6.9	4.2	6.0	3.1	8.0	33.1
5	507020	4.5	8.1	5.7	4.0	12.9	3.2	6.2	40.0
6	507029	5.5	5.0	7.2	3.7	7.9	3.5	8.8	36.5
7	507030	5.4	4.3	6.1	4.0	6.5	2.8	9.3	34.1
8	507005	4.5	7.0	4.7	3.8	8.0	3.6	10.2	37.3
9	507006	3.8	7.9	6.7	4.1	8.8	2.1	9.7	39.3
10	507042	2.7	5.6	3.8	3.3	7.9	2.5	8.0	31.2
11	507043	3.6	6.8	9.8	4.1	4.5	2.6	2.7	30.5
12	507049	4.4	7.4	7.1	4.3	4.1	1.2	5.9	29.9
13	507050	2.4	6.0	8.6	4.2	12.0	1.0	9.2	41.0
14	507003	4.3	6.8	6.5	3.4	5.9	0.7	3.8	27.1
15	507048	5.3	4.9	3.2	4.1	5.0	4.0	7.1	28.7
16	507023	3.5	4.2	4.1	3.5	4.3	2.7	5.3	24.1
17	507024	4.3	7.2	7.2	4.2	10.9	1.0	5.5	36.0
18	507051	4.2	4.0	8.4	4.2	9.9	2.4	5.0	34.2
19	507004	4.3	6.1	7.8	4.8	8.1	3.9	10.1	40.8
20	507007	4.6	5.8	7.4	4.8	7.0	3.8	3.7	32.5
21	507008	3.0	7.0	6.9	4.8	10.4	1.7	5.9	36.7
22	507041	6.6	4.7	8.3	4.6	8.6	4.6	6.7	39.3
23	507035	2.4	4.3	7.1	4.5	5.3	1.0	4.7	26.9
24	507036	5.5	8.1	8.0	4.1	7.5	4.4	6.2	38.2
25	507037	2.1	7.3	7.7	4.2	4.8	3.0	6.2	33.2
26	507044	3.4	7.0	9.9	4.2	9.2	4.0	5.8	40.0
27	507045	3.3	7.2	7.1	4.8	5.8	1.0	8.4	34.3
28	507046	4.6	6.4	5.7	5.0	7.8	3.1	8.4	36.4
29	507047	1.9	4.2	6.1	3.3	3.9	3.1	4.6	25.1
30	507009	2.8	7.6	5.8	4.6	7.2	3.8	8.8	37.9
31	507010	5.3	3.5	8.0	4.0	6.7	4.7	6.7	35.4
32	507052	3.8	6.8	4.4	4.2	13.0	4.9	7.3	40.7
33	507053	3.3	8.5	12.5	4.4	3.8	5.1	6.7	41.0
34	507038	5.8	5.0	4.4	3.7	8.6	2.2	7.5	32.3
35	507039	4.5	6.5	5.9	3.9	6.2	5.5	8.6	36.7
36	507040	3.8	9.2	5.0	4.3	7.3	2.9	5.9	34.6
37	508009	3.0	8.3	9.7	3.9	5.2	2.9	6.4	36.4
38	508010	4.7	5.1	10.2	4.4	13.6	2.9	5.5	41.6
39	508003	3.6	6.1	6.4	3.7	6.5	1.0	5.1	28.8
40	507037	4.0	3.5	7.9	4.7	7.6	2.3	6.2	32.6
41	508001	5.4	7.7	8.3	3.8	7.5	5.8	3.7	36.8
42	508002	4.1	8.0	5.0	3.2	7.9	2.7	6.8	33.6
43	508004	4.8	7.6	5.9	3.4	3.6	0.4	6.8	27.7
44	507067	5.3	6.0	5.7	4.1	7.9	1.2	8.1	33.0
45	507061	5.4	6.5	6.3	3.6	7.6	2.0	4.6	30.6
46	507033	3.4	7.7	6.2	4.3	7.4	1.4	8.3	35.3
47	507034	5.9	4.1	5.4	4.0	4.9	2.9	6.9	30.1
48	507031	5.1	6.9	7.8	3.0	10.9	4.6	5.5	38.8
49	507032	2.9	3.2	9.4	4.5	7.3	4.9	7.0	36.4
50	507062	4.6	6.2	7.4	4.5	10.5	5.2	5.7	39.4
51	507063	3.9	3.6	8.5	4.7	8.1	1.0	9.2	35.4
52	507032	1.5	7.3	9.7	3.7	9.5	2.1	10.1	42.2
53	507058	5.5	2.1	5.6	4.4	8.4	4.7	4.2	32.8

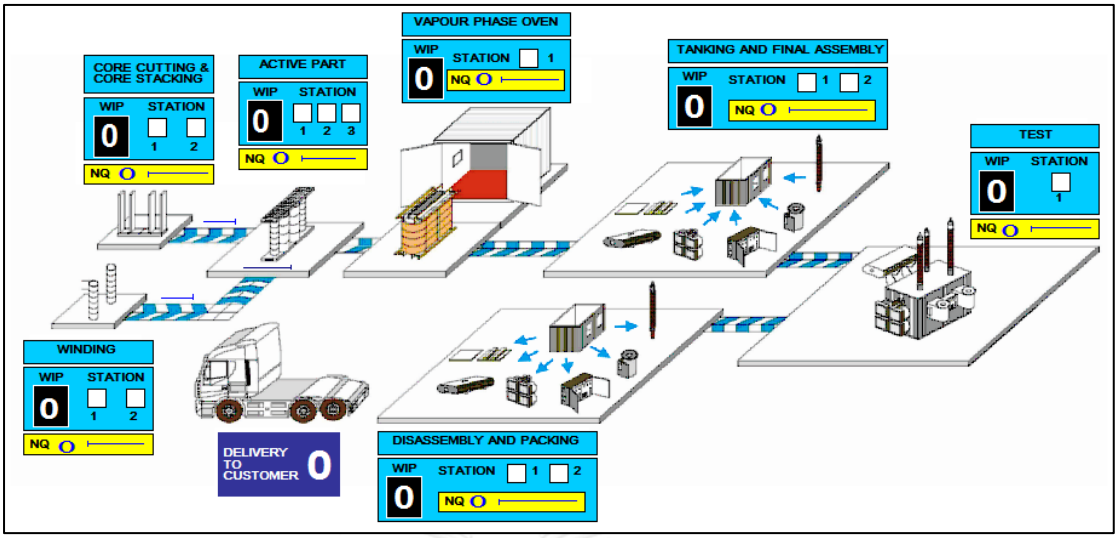
No	S/N	Core	Winding	AP	VP	Final	Test	Pack	Total
54	507059	3.5	4.2	8.0	3.5	5.9	3.7	4.5	29.8
55	507060	3.9	8.2	6.4	4.7	7.7	5.2	1.9	34.1
56	507066	3.0	6.9	7.6	3.3	5.7	1.8	6.7	32.1
57	507064	5.6	4.1	6.1	4.4	6.7	3.8	7.8	34.4
58	507065	3.9	6.4	5.4	3.3	1.3	3.1	6.7	26.2
59	508005	4.5	7.8	6.3	4.5	7.8	4.0	4.3	34.8
60	508006	3.9	5.8	6.9	3.8	6.2	2.4	6.6	31.8
61	508024	4.8	6.6	8.6	3.8	5.1	4.4	8.8	37.2
62	508025	4.7	4.4	7.3	3.2	11.3	0.9	3.9	31.4
63	508007	2.9	6.7	8.4	4.3	10.8	2.9	5.0	38.2
64	508021	3.7	6.5	5.6	4.7	5.8	3.4	4.4	30.5
65	508022	2.4	5.8	3.2	3.7	7.1	2.6	2.7	25.1
66	508023	4.8	5.8	9.1	3.7	3.6	1.0	4.9	28.2
67	508017	4.4	5.9	7.7	3.8	3.8	2.0	5.7	29.0
68	507054	4.5	7.3	7.4	3.8	7.6	1.5	5.5	33.1
69	508020	4.5	6.1	11.8	3.9	7.2	5.5	6.7	41.2
70	508028	4.5	4.7	4.8	3.7	5.1	2.9	2.9	24.0
71	507055	3.9	6.0	13.7	3.1	9.3	3.6	5.7	41.6
72	507056	5.1	7.4	11.6	4.2	4.0	6.0	8.1	41.4
73	508023	4.4	6.8	6.3	4.7	9.4	2.8	7.7	37.8
74	507057	4.1	7.3	5.6	4.6	9.6	4.7	5.6	37.3
75	508030	5.1	7.9	9.1	4.9	3.2	1.9	8.6	35.5
76	508013	2.6	5.5	2.3	3.3	8.3	2.7	8.5	30.6
77	508014	3.8	6.4	4.5	3.6	9.5	1.8	7.7	33.5
78	508026	4.5	5.9	4.5	4.3	7.0	3.0	3.7	28.4
79	508015	1.3	3.2	8.8	3.9	5.8	4.8	4.8	31.4
80	507057	2.4	4.8	5.6	3.0	5.4	4.6	4.3	27.7
81	508016	3.3	6.4	7.1	4.6	8.2	2.6	8.1	37.0
82	508011	4.2	5.2	9.0	4.3	5.8	3.7	6.2	34.2
83	508012	4.1	7.6	8.2	3.3	8.0	3.6	5.0	35.6
84	508029	2.8	9.5	5.0	4.1	8.3	5.8	7.8	40.3
85	508037	3.4	6.9	3.5	3.7	9.2	2.5	5.9	31.6
86	508038	5.6	7.6	5.6	4.3	9.1	3.5	5.4	35.6
87	508045	3.2	6.6	6.5	4.2	3.2	5.1	2.8	28.5
88	508034	4.7	6.3	5.1	4.7	7.9	3.7	3.5	31.3
	MAX	**6.6**	**9.5**	**13.7**	**5.0**	**13.6**	**6.0**	**10.2**	**42.2**
	MIN	**1.3**	**2.1**	**2.3**	**3.0**	**1.3**	**0.4**	**1.9**	**24.0**
	AVERAGE	**4.0**	**6.2**	**6.9**	**4.0**	**7.3**	**3.1**	**6.3**	**34.1**
	STDEV	**1.1**	**1.5**	**2.1**	**0.5**	**2.4**	**1.4**	**1.9**	**4.7**

ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา

ภาคผนวก ข
ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีน่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สถานการณ์ตั้งต้น (BASE CASE)



Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match CORE and WINDING.Queue1	1281.45	< 33.67	96.8154	2344.98	0.00	3964.76
Match CORE and WINDING.Queue2	4.2917	< 1.50	0.00	227.18	0.00	727.57
Process ACTIVE PARTS.Queue	9.9175	< 0.50	1.1404	80.7943	0.00	373.85
Process CORE.Queue	122.83	< 6.14	16.9540	656.08	0.00	1073.28
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	33.5589	< 1.56	7.7800	163.95	0.00	450.53
Process PACKING.Queue	19.8236	< 0.59	5.8734	62.7582	0.00	328.88
Process TEST.Queue	47.4837	< 1.53	16.1867	205.01	0.00	575.29
Process VAPOUR PHASE.Queue	1034.01	< 13.88	385.14	1563.28	0.00	2741.91
Process WINDING.Queue	1334.01	< 30.97	258.53	2768.58	0.00	4302.26

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Match CORE and WINDING.Queue1	21.7805	< 0.63	1.1700	41.3876	0.00	73.0000
Match CORE and WINDING.Queue2	0.05304144	< 0.02	0.00	3.0632	0.00	11.0000
Process ACTIVE PARTS.Queue	0.1355	< 0.01	0.01429543	1.2451	0.00	8.0000
Process CORE.Queue	2.2466	< 0.13	0.2245	13.1580	0.00	22.0000
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	0.3467	< 0.02	0.08081948	1.7291	0.00	5.0000
Process PACKING.Queue	0.2034	< 0.01	0.06034282	0.6376	0.00	5.0000
Process TEST.Queue	0.5158	< 0.02	0.1700	2.2918	0.00	7.0000
Process VAPOUR PHASE.Queue	13.3148	< 0.20	4.7851	21.3368	0.00	38.0000
Process WINDING.Queue	23.5699	< 0.63	3.4850	56.6211	0.00	84.0000

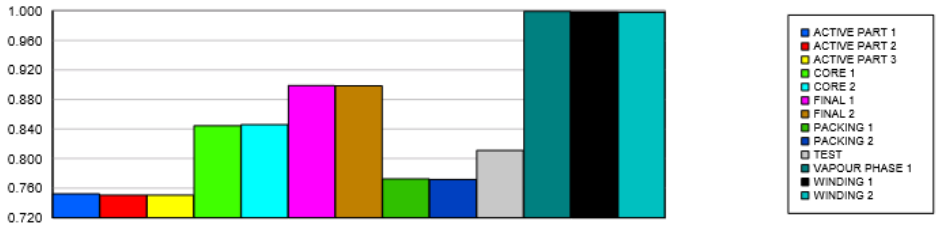
Unnamed Project

Replications: 600 Time Units: Hours

Resource

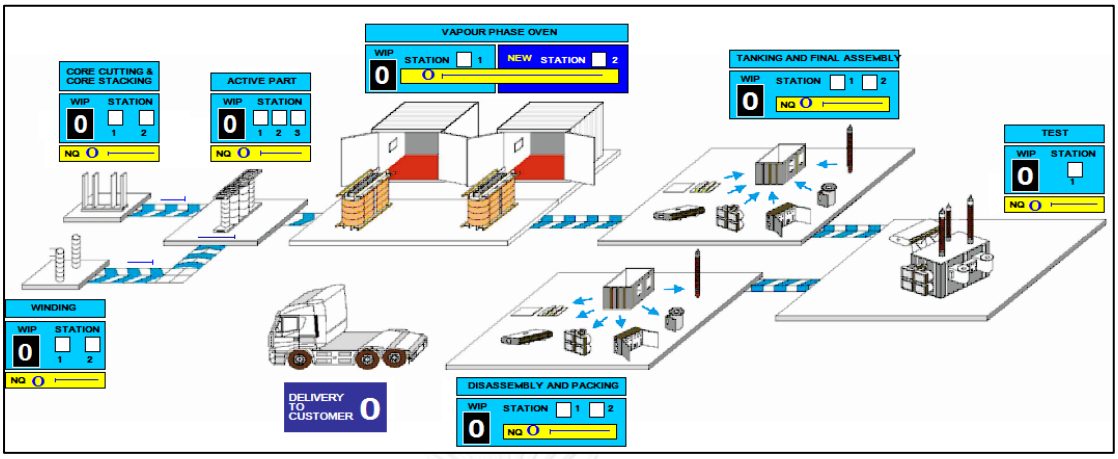
Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
ACTIVE PART 1	0.7523	0.00	0.6100	0.8798
ACTIVE PART 2	0.7504	0.00	0.5659	0.8869
ACTIVE PART 3	0.7506	0.00	0.5889	0.8773
CORE 1	0.8444	0.01	0.5731	0.9961
CORE 2	0.8459	0.01	0.6596	0.9945
FINAL 1	0.8988	0.00	0.7900	0.9838
FINAL 2	0.8984	0.00	0.7941	0.9845
PACKING 1	0.7724	0.00	0.6305	0.8690
PACKING 2	0.7716	0.00	0.6407	0.8590
TEST	0.8111	0.00	0.6968	0.9542
VAPOUR PHASE 1	0.9993	0.00	0.9619	1.0000
WINDING 1	0.9983	0.00	0.9462	1.0000
WINDING 2	0.9982	0.00	0.9415	1.0000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>สถานการณ์ที่ 1</u> (SCENARIO 1) ความต้องการของลูกค้าเท่ากับปี 2557 โดยที่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงมี 2 สถานี



Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match CORE and WINDING.Queue1	976.30	< 30.03	18.1365	2030.68	0.00	3380.19
Match CORE and WINDING.Queue2	5.1297	< 1.88	0.00	288.70	0.00	713.21
Process ACTIVE PARTS.Queue	9.6406	< 0.62	0.9855	78.9175	0.00	416.75
Process CORE.Queue	110.15	< 6.79	11.7103	599.92	0.00	947.59
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	529.85	< 15.82	79.5414	1089.64	0.00	1990.44
Process PACKING.Queue	39.5127	< 1.55	10.9313	149.46	0.00	512.52
Process TEST.Queue	91.5907	< 4.48	22.7668	414.71	0.00	780.36
Process VAPOUR PHASE.Queue	6.5059	< 0.15	1.6207	11.9664	0.00	137.38
Process WINDING.Queue	971.29	< 26.92	78.9768	2249.37	0.00	3652.85

Other

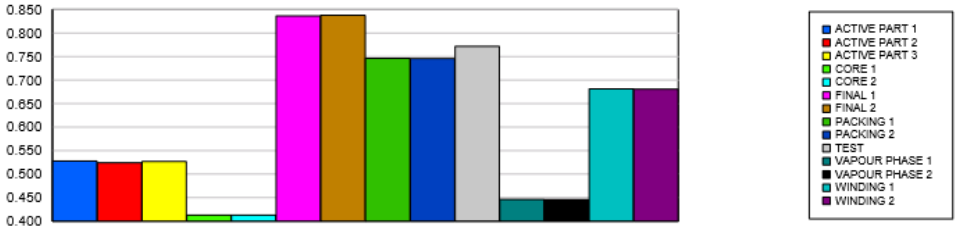
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Match CORE and WINDING.Queue1	8.5134	< 0.26	0.08871943	18.0689	0.00	43.0000
Match CORE and WINDING.Queue2	0.04319610	< 0.02	0.00	2.5706	0.00	10.0000
Process ACTIVE PARTS.Queue	0.0902	< 0.01	0.00877488	0.8108	0.00	7.0000
Process CORE.Queue	0.9125	< 0.06	0.1003	4.6070	0.00	21.0000
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	4.9672	< 0.15	0.7446	10.1515	0.00	23.0000
Process PACKING.Queue	0.3857	< 0.02	0.1014	1.4844	0.00	8.0000
Process TEST.Queue	0.9334	< 0.05	0.2235	4.6868	0.00	10.0000
Process VAPOUR PHASE.Queue	0.05903695	< 0.00	0.01406085	0.1079	0.00	3.0000
Process WINDING.Queue	8.6335	< 0.24	0.7384	20.6085	0.00	50.0000

Replications: 600 Time Units: Hours

Resource

Usage

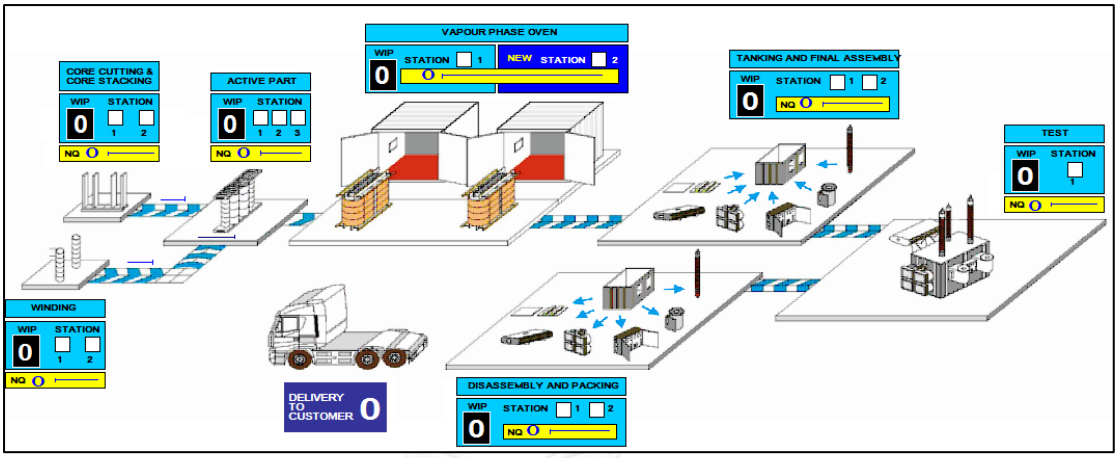
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
ACTIVE PART 1	0.5276	0.00	0.4305	0.6288
ACTIVE PART 2	0.5242	0.00	0.4294	0.6270
ACTIVE PART 3	0.5270	0.00	0.4188	0.6242
CORE 1	0.4124	0.00	0.3333	0.4921
CORE 2	0.4124	0.00	0.3357	0.5076
FINAL 1	0.8366	0.00	0.7415	0.9758
FINAL 2	0.8379	0.00	0.7256	0.9689
PACKING 1	0.7465	0.00	0.6584	0.8379
PACKING 2	0.7457	0.00	0.6584	0.8335
TEST	0.7716	0.00	0.6620	0.9047
VAPOUR PHASE 1	0.4462	0.00	0.3716	0.5170
VAPOUR PHASE 2	0.4455	0.00	0.3872	0.5040
WINDING 1	0.6812	0.00	0.6026	0.7864
WINDING 2	0.6805	0.00	0.6039	0.7733



ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>สถานการณ์ที่ 2</u> (SCENARIO 2) ความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้น 15% จากปี 2557 โดยที่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงมี 2 สถานี



Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match CORE and WINDING.Queue1	1097.00	< 31.70	0.0934	2089.37	0.00	3457.17
Match CORE and WINDING.Queue2	5.5455	< 2.45	0.00	472.91	0.00	894.60
Process ACTIVE PARTS.Queue	9.1585	< 0.47	1.6398	48.0079	0.00	276.73
Process CORE.Queue	110.85	< 6.82	17.9629	635.16	0.00	1005.48
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	50.6747	< 2.37	18.4623	322.84	0.00	694.52
Process PACKING.Queue	87.4424	< 4.33	12.6298	413.11	0.00	852.53
Process TEST.Queue	225.08	< 10.87	30.9075	704.05	0.00	1411.25
Process VAPOUR PHASE.Queue	6.5496	< 0.14	1.7317	13.2023	0.00	144.94
Process WINDING.Queue	1099.80	< 29.46	217.60	2074.11	0.00	3496.06

Other

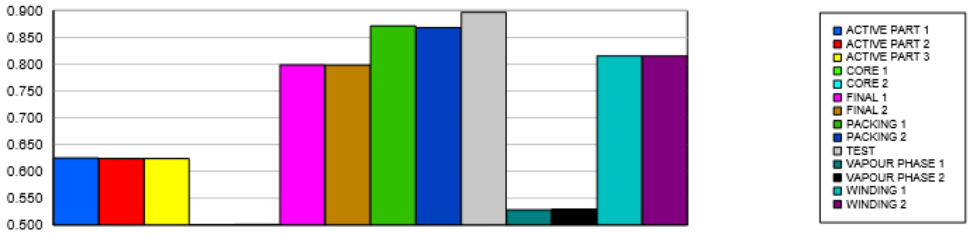
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Match CORE and WINDING.Queue1	11.4417	< 0.33	0.00102323	22.4564	0.00	43.0000
Match CORE and WINDING.Queue2	0.05680918	< 0.03	0.00	5.0706	0.00	13.0000
Process ACTIVE PARTS.Queue	0.1015	< 0.01	0.01815768	0.5315	0.00	5.0000
Process CORE.Queue	1.1250	< 0.07	0.1856	6.2125	0.00	20.0000
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	0.5559	< 0.03	0.2044	3.6854	0.00	10.0000
Process PACKING.Queue	0.9959	< 0.05	0.1442	4.6687	0.00	12.0000
Process TEST.Queue	2.6756	< 0.13	0.3634	8.5926	0.00	17.0000
Process VAPOUR PHASE.Queue	0.07057034	< 0.00	0.01818707	0.1520	0.00	3.0000
Process WINDING.Queue	11.7787	< 0.32	2.3508	22.8207	0.00	46.0000

Replications: 600 Time Units: Hours

Resource

Usage

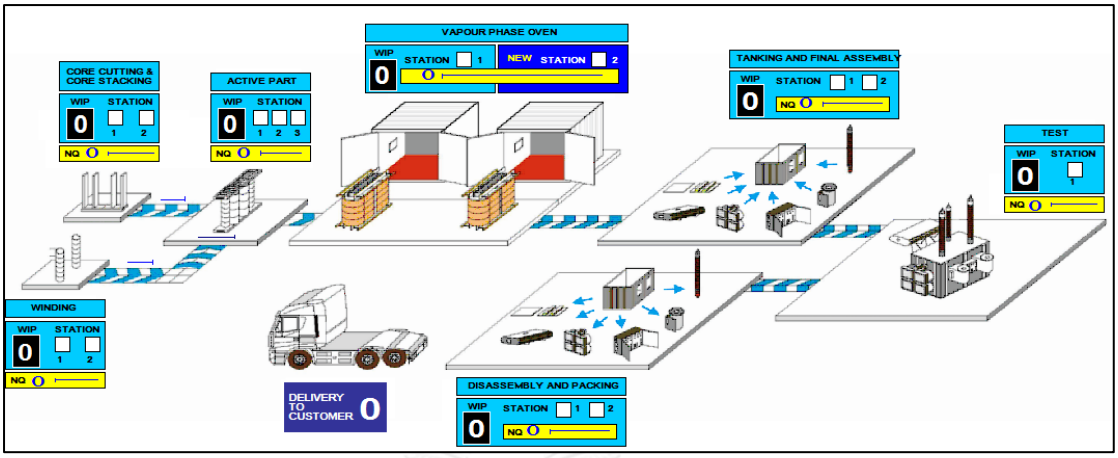
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
ACTIVE PART 1	0.6247	0.00	0.5199	0.7389
ACTIVE PART 2	0.6238	0.00	0.5254	0.7495
ACTIVE PART 3	0.6238	0.00	0.5095	0.7243
CORE 1	0.5002	0.00	0.3998	0.5886
CORE 2	0.5006	0.00	0.4169	0.6022
FINAL 1	0.7988	0.00	0.7572	0.8548
FINAL 2	0.7981	0.00	0.7562	0.8592
PACKING 1	0.8716	0.00	0.7760	0.9608
PACKING 2	0.8685	0.00	0.7159	0.9648
TEST	0.8968	0.00	0.7866	1.0000
VAPOUR PHASE 1	0.5278	0.00	0.4413	0.5912
VAPOUR PHASE 2	0.5291	0.00	0.4547	0.6029
WINDING 1	0.8153	0.00	0.7186	0.9516
WINDING 2	0.8156	0.00	0.7320	0.9458



ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>สถานการณ์ที่ 3</u> (SCENARIO 3) ความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้น 25% จากปี 2557 โดยที่กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงมี 2 สถานี



Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match CORE and WINDING.Queue1	427.46	< 11.48	0.00	2105.47	0.00	3596.91
Match CORE and WINDING.Queue2	73.1923	< 5.20	0.00	1549.72	0.00	2942.05
Process ACTIVE PARTS.Queue	53.7282	< 1.46	4.8817	447.35	0.00	974.54
Process CORE.Queue	116.09	< 2.84	16.4895	827.54	0.00	1295.48
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	394.40	< 4.66	57.1443	802.74	0.00	1603.57
Process PACKING.Queue	242.85	< 3.87	26.1727	720.79	0.00	1282.41
Process TEST.Queue	5.6052	< 0.18	0.00193854	25.5765	0.00	144.00
Process VAPOUR PHASE.Queue	12.1494	< 0.10	4.2764	33.9283	0.00	206.50
Process WINDING.Queue	438.07	< 8.31	48.4430	1762.07	0.00	2620.55

Other

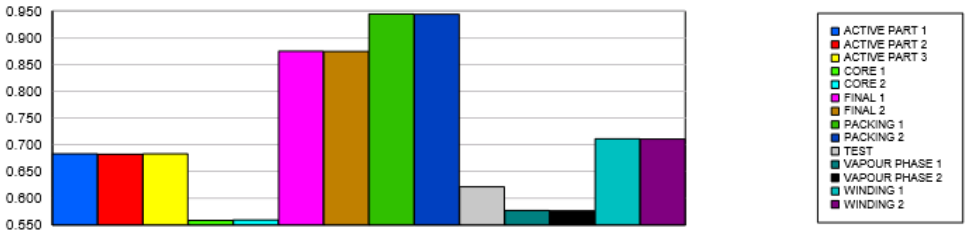
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Match CORE and WINDING.Queue1	4.8483	< 0.13	0.00	24.9116	0.00	44.0000
Match CORE and WINDING.Queue2	0.8314	< 0.06	0.00	18.1317	0.00	37.0000
Process ACTIVE PARTS.Queue	0.6535	< 0.02	0.05628442	5.9238	0.00	17.0000
Process CORE.Queue	1.3174	< 0.03	0.1864	9.3305	0.00	26.0000
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	4.7445	< 0.06	0.6564	9.9836	0.00	23.0000
Process PACKING.Queue	3.0092	< 0.05	0.3231	8.9916	0.00	17.0000
Process TEST.Queue	0.07240457	< 0.00	0.00002412	0.3330	0.00	3.0000
Process VAPOUR PHASE.Queue	0.1429	< 0.00	0.05223472	0.4105	0.00	4.0000
Process WINDING.Queue	5.0846	< 0.10	0.5520	20.6244	0.00	44.0000

Replications: 3,500 Time Units: Hours

Resource

Usage

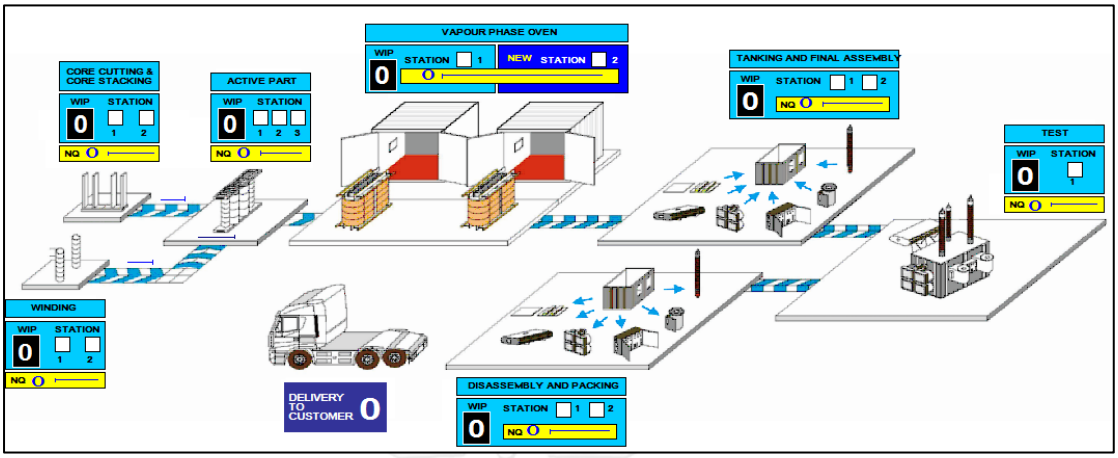
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
ACTIVE PART 1	0.6828	0.00	0.5581	0.7960
ACTIVE PART 2	0.6822	0.00	0.5588	0.8178
ACTIVE PART 3	0.6828	0.00	0.5602	0.8160
CORE 1	0.5583	0.00	0.4472	0.6854
CORE 2	0.5590	0.00	0.4606	0.6811
FINAL 1	0.8749	0.00	0.8003	0.9370
FINAL 2	0.8746	0.00	0.7945	0.9440
PACKING 1	0.9448	0.00	0.8178	1.0000
PACKING 2	0.9444	0.00	0.7595	1.0000
TEST	0.6214	0.00	0.5479	0.6839
VAPOUR PHASE 1	0.5769	0.00	0.5051	0.6467
VAPOUR PHASE 2	0.5765	0.00	0.4899	0.6509
WINDING 1	0.7109	0.00	0.6572	0.8103
WINDING 2	0.7107	0.00	0.6438	0.8126



ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>สถานการณ์สมดุลการผลิต</u> (line Balancing) กระบวนการอบไส้ในหม้อแปลงมี 2 สถานี



Queue

Time

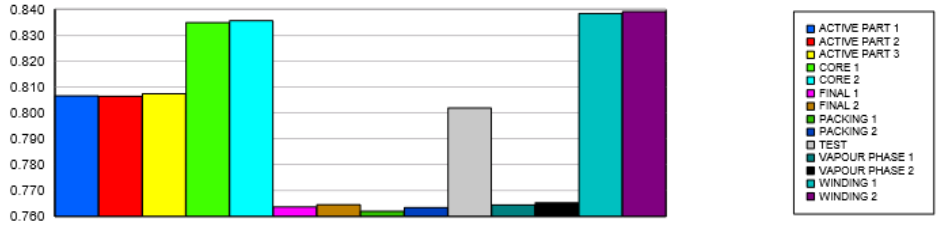
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match CORE and WINDING.Queue1	264.69	< 27.45	0.00	1942.14	0.00	3377.70
Match CORE and WINDING.Queue2	270.25	< 26.66	0.00	1750.46	0.00	3202.93
Process ACTIVE PARTS.Queue	20.9967	< 1.21	2.2620	151.59	0.00	352.59
Process CORE.Queue	109.54	< 5.45	22.9035	507.21	0.00	1212.79
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Process PACKING.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Process TEST.Queue	18.1723	< 1.02	1.4832	107.75	0.00	336.00
Process VAPOUR PHASE.Queue	2.0151	< 0.14	0.00	13.5451	0.00	89.5400
Process WINDING.Queue	109.19	< 5.76	20.9292	487.35	0.00	993.11

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch Core and Winding.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Match CORE and WINDING.Queue1	4.6000	< 0.49	0.00	37.1578	0.00	64.0000
Match CORE and WINDING.Queue2	4.7036	< 0.47	0.00	34.6940	0.00	62.0000
Process ACTIVE PARTS.Queue	0.3627	< 0.02	0.03227735	3.0806	0.00	8.0000
Process CORE.Queue	2.0013	< 0.12	0.3294	11.1225	0.00	26.0000
Process FINAL ASSEMBLY.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Process PACKING.Queue	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Process TEST.Queue	0.3109	< 0.02	0.02522842	2.0145	0.00	8.0000
Process VAPOUR PHASE.Queue	0.03224342	< 0.00	0.00	0.2304	0.00	2.0000
Process WINDING.Queue	1.9831	< 0.12	0.2939	9.7851	0.00	22.0000

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
ACTIVE PART 1	0.8066	0.00	0.6411	0.9618
ACTIVE PART 2	0.8064	0.00	0.5901	0.9696
ACTIVE PART 3	0.8074	0.00	0.5988	0.9705
CORE 1	0.8349	0.01	0.6388	1.0000
CORE 2	0.8357	0.01	0.6247	1.0000
FINAL 1	0.7636	0.00	0.5912	0.9234
FINAL 2	0.7644	0.00	0.6048	0.9171
PACKING 1	0.7619	0.00	0.5912	0.9006
PACKING 2	0.7633	0.00	0.5955	0.9124
TEST	0.8019	0.00	0.6247	0.9525
VAPOUR PHASE 1	0.7643	0.00	0.5833	0.9073
VAPOUR PHASE 2	0.7651	0.00	0.5820	0.9178
WINDING 1	0.8384	0.01	0.6032	1.0000
WINDING 2	0.8392	0.01	0.6215	1.0000



ที่มา: การประมวลผลจากรีพอร์ด SIMAN ของโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลลัพธ์จากการรัน Process Analyzer

อัตราการใช้งานกระบวนการผลิต (Utilization Rate)

	Scenario Properties				Responses													
	S	Name	Prog	Reps	CORE 1.Utilizatio	CORE 2.Utilizatio	WINDING 1.Utilizatio	WINDING 2.Utilizatio	ACTIVE PART	ACTIVE PART	ACTIVE PART	VAPOUR PHASE	VAPOUR PHASE	FINAL 1.Utilizatio	FINAL 2.Utilizatio	TEST.Utilization	PACKING 1.Utilizatio	PACKING 2.Utilizatio
1		BASE CASE	6	600	0.844	0.846	0.998	0.998	0.752	0.750	0.751	0.999	---	0.899	0.898	0.811	0.772	0.772
2		Scenario 1	5	600	0.424	0.423	0.699	0.698	0.540	0.538	0.541	0.458	0.456	0.856	0.856	0.790	0.765	0.764
3		Scenario 1 (Max Capacity)	2	600	0.837	0.836	0.997	0.997	0.751	0.745	0.747	0.621	0.620	0.994	0.994	0.888	0.841	0.841
4		Scenario 1 (Open OT at Final Shop)	2	600	0.836	0.837	0.998	0.998	0.747	0.750	0.747	0.621	0.622	0.917	0.917	0.967	0.914	0.911
5		Scenario 1 (Open OT at Winding Sho	1	600	0.842	0.842	0.976	0.976	0.895	0.894	0.896	0.742	0.742	0.998	0.998	0.896	0.848	0.850
6		Scenario 2	3	600	0.500	0.501	0.815	0.816	0.625	0.624	0.624	0.528	0.529	0.799	0.798	0.897	0.872	0.868
7		Scenario 2 (Open OT at Test Shop)	2	600	0.845	0.844	0.998	0.998	0.745	0.747	0.746	0.620	0.620	0.916	0.915	0.642	0.948	0.948
8		Scenario 3	2	600	0.845	0.844	0.998	0.998	0.745	0.747	0.746	0.620	0.620	0.916	0.915	0.642	0.948	0.948

ระยะเวลารอคอย (Waiting Time)

	Scenario Properties				Responses							
	S	Name	Program File	Reps	Process CORE.Queue	Process WINDING.Qu	Process ACTIVE	Process VAPOUR	Process FINAL	Process TEST.Queue.	Process PACKING.Qu	System.NumberOut
1		BASE CASE	6 : Base Case (600 Replication).p	600	122.83	1334.01	9.92	1034.01	33.56	47.48	19.82	89
2		SCENARIO 1	5 : SCENARIO 1 (87 Unit).p	600	110.94	988.20	9.81	6.57	538.80	92.18	39.74	89
3		SCENARIO 2	3 : Scenario 2.p	600	110.85	1099.80	9.16	6.55	50.67	225.08	87.44	101
4		SCENARIO 3	10 : Scenario 3.p	600	120.84	1322.63	9.47	6.53	50.98	5.25	105.99	110

จำนวนคิว (Number in Queue)

	Scenario Properties				Responses						
	S	Name	Program File	Reps	Process CORE.Queu	Process WINDING.Q	Process ACTIVE	Process VAPOUR	Process FINAL	Process TEST.Queue.	Process FINAL
1		BASE CASE	6 : Base Case (600 Replication).p	600	2.25	23.57	0.14	13.31	0.35	0.52	0.35
2		SCENARIO 1	5 : SCENARIO 1 (87 Unit).p	600	0.95	9.03	0.09	0.06	5.17	0.96	5.17
3		SCENARIO 2	3 : Scenario 2.p	600	1.12	11.78	0.10	0.07	0.56	2.68	0.56
4		SCENRIO 3	2 : Scenario 3.p	600	2.22	23.34	0.13	0.08	0.66	0.07	0.66

ที่มา: Process Analysis

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ชญารัฐ ศรีสงคราม เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2552 และในปีการศึกษา 2557 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงาน เริ่มต้นปี 2552 ทำงานในตำแหน่ง วิศวกรวางแผนวัตถุดิบ ปี 2555 ได้รับการเลื่อนตำแหน่งเป็น วิศวกรอาวุโสด้านการวางแผนและควบคุมวิตถุดิบ ปี 2557 เปลี่ยนตำแหน่งงานเป็น วิศวกรอาวุโสด้านการวิเคราะห์โครงการ และปัจจุบัน ทำงานตำแหน่งวิศวกรผู้เชียวชาญด้านการวิเคราะห์โครงงาน ที่บริษัท เอบีบี จำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University