

การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนโดยใช้เรปกราฟและฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่าง



นางสาวศุภศศิ รอดขวัญ

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

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THREE DIMENSIONAL OBJECT PATIAL RETRIEVAL USING REEB GRAPH AND  
SHAPE DIAMETER FUNCTION

Miss Supasasi Rodkhwan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Computer Science  
Department of Computer Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2014  
Copyright of Chulalongkorn University



ศุภศศิ รอดขวัญ : การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนโดยใช้เรปกราฟและฟังก์ชันเส้นผ่านศูนย์กลางรูปร่าง (THREE DIMENSIONAL OBJECT PATIAL RETRIEVAL USING REEB GRAPH AND SHAPE DIAMETER FUNCTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.พิชญ์ คนองชัยยศ, 77 หน้า.

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้วัตถุสามมิติถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทำให้จำนวนวัตถุสามมิติเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุสามมิติเกิดขึ้น ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวส่วนใหญ่ต้องการพัฒนาด้านความเร็วและความแม่นยำในการค้นคืน อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาโดยมากจะไม่รองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุและมักให้ความสำคัญกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบโดยรวม ทำให้ไม่สามารถค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้เพียงส่วนย่อยบางส่วนของวัตถุสามมิติในการค้นคืนได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนออัลกอริทึมสำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติโดยขึ้นกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่รองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติซึ่งประกอบไปด้วยการเปลี่ยนแปลงท่าทาง การหมุน การเลื่อนตำแหน่ง และการย่อหรือขยายขนาด โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอนี้ใช้เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยในการแบ่งส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ อีกทั้งยังทำให้อัลกอริทึมที่นำเสนอรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติ และส่วนย่อยแต่ละส่วนถูกอธิบายด้วยตัวอธิบายรูปร่างโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ยเพื่อลดเวลาในการค้นคืน โดยการเปรียบเทียบความเหมือนของวัตถุสามมิติจะเป็นการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างส่วนย่อยของคู่วัตถุสามมิติผ่านการหากราฟย่อยสามัญระหว่างกราฟที่ใหญ่ที่สุด การทดสอบอัลกอริทึมจะทำการทดสอบบนฐานข้อมูลวัตถุสามมิติจำนวน 30 ประเภท แต่ละประเภทประกอบไปด้วยวัตถุสามมิติที่มีท่าทางหลากหลายจำนวน 20 ชิ้น จากผลการทดสอบ อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนซึ่งหมายถึงมีริยางค์มากได้ดีและยังสามารถรองรับการค้นคืนวัตถุสามมิติที่มีท่าทางที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่งอัลกอริทึมที่นำเสนอนั้นมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 0.447

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

# # 5570502021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEYWORDS: THREE DIMENSIONAL MODEL RETRIEVAL / REEB GRAPH / SHAPE DIAMETER  
 SUPASASI RODKHWAN: THREE DIMENSIONAL OBJECT PATIAL RETRIEVAL USING  
 REEB GRAPH AND SHAPE DIAMETER FUNCTION. ADVISOR: ASST. PROF. PIZZANU  
 KANONGCHAIYOS, Ph.D., 77 pp.

In recently, 3D has been being used in many area which affects to the number of 3D models. From all of the above there is an increasing need for a retrieval method to find the right object. However retrieval method in the past not support transformation of 3D object and high computing time.

In this research, the algorithm for shape retrieval on a collection of 3D model is proposed. Our algorithm uses a reeb graph to represent structural properties and to decompose 3D model into subparts. Moreover, the surface of each subpart is described by a Fast Pose Oblivious Shape Signature .We measure the similarity between 3D models based on the Approximate Maximum Common Sub graph which has a capability of topology preservation. We use a collection of 3D models, which can be classified into 30 categories and each category consists of 20 models, for testing algorithm. The number of vertices of the testing 3D models is within 10000-20000. From the experimental result, Our algorithm is efficient and fast for retrieving on a collection of 3D model and also supports the 3D model that have different transformation for retrieval on different transformation. Moreover, our algorithm is suitable for the complex 3D Models and 3D Models that have clear appendages. The average precision of our method is 0.447.

Department: Computer Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Computer Science Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ คนองชัยยศ ซึ่งเป็นผู้เสียสละเวลาคอยให้คำชี้แนะและคำปรึกษา นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นครทิพย์ พร้อมพูล และดร. พงศกรณ์ วิจิตเวชไพศาล ที่ได้ให้เกียรติเสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์และชี้แจงถึงข้อบกพร่อง รวมถึงแนะนำแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจอึกทั้งให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยอย่างเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการชั้น 20 ซึ่งเป็นสถานที่ในการทำวิจัย รวมไปถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในการให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และคอยผลักดันจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขออุทิศคุณประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่ ดร.อารัมภ์ กาวิวงศ์ ผู้ล่วงลับไปแล้ว

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 ปัญหาวิจัย .....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย .....	3
1.5 การประเมินงานวิจัย .....	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.7 ผลงานตีพิมพ์ .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1.1 ระยะทางจีโอเดสิก (Geodesic Distance).....	5
2.1.2 ทฤษฎีมอร์ส (Morse Theory).....	5
2.1.3 เรปกราฟ (Reeb Graph).....	6
2.1.4 ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่าง.....	7
2.1.5 กราฟย่อยสามมิติที่ใหญ่ที่สุดระหว่างกราฟ.....	8
2.1.6 ความแน่นและการเรียกคืน .....	8

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.2.1 การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับข้อมูลทางทฤษฎี (View based partial shape retrieval).....	11
2.2.2 การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับตัวอธิบายข้อมูลเฉพาะที่ (Local description based partial shape retrieval).....	12
2.2.3 การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับการแบ่งส่วน (Segmentation based partial shape retrieval).....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	20
3.1 ภาพรวมของการทำงาน .....	20
3.2 กระบวนการวิจัย.....	24
3.2.1 การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟ.....	24
3.2.1.1 การหาค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติ.....	24
3.2.1.2 การแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยการแบ่งนับไม่เป็นเอกรูป.....	25
3.2.1.3 การทำความสะอาดข้อมูลเพื่อปรับปรุงเรปกราฟ.....	26
3.2.1.4 การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งนับระดับชั้นค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป.....	27
3.2.1.5 การปรับปรุงเรปกราฟโดยการรวมส่วนย่อยของวัตถุสามมิติที่มีดีกรีเท่ากัน... ..	28
3.2.1.6 การระบุกราฟอวัฏจักร .....	30
3.2.2 การอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ .....	30
3.2.2.1 การหาค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยของ วัตถุสามมิติ ... ..	31
3.2.2.2 การกำหนดค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยสำหรับแต่ละส่วนย่อย.....	32
3.2.3 การเปรียบเทียบและวัดความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ.....	33
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล.....	35
4.1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง.....	35



4.2 การแบ่งประเภทวัตถุสามมิติเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพของงานวิจัย.....	38
4.3 การทดสอบประสิทธิผล.....	42
4.3.1 วิธีการทดสอบประสิทธิผล.....	42
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา.....	42
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิผล.....	43
4.5.1 ผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวม.....	43
4.5.2 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนแต่ละประเภท.....	44
4.5.3 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก.....	49
4.5.4 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย.....	51
4.5.5 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลง ทำทางมาก.....	53
4.5.6 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลง ทำทางน้อย.....	55
4.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา.....	57
4.6.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วย เรปกราฟ.....	57
4.6.1.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการหาค่าระยะทางจีโอเดสิก เฉลี่ยบนวัตถุสามมิติ.....	58
4.6.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย ด้วยการแบ่งนับแบบไม่เป็นเอกรูป.....	58
4.6.1.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อ ปรับปรุงเรปกราฟ.....	58
4.6.1.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการปรับปรุงเรปกราฟโดย แบ่ง นับระดับชั้นค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอก รูป.....	59

4.6.1.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการปรับปรุงเรปกราฟโดย การรวมส่วนย่อยของวัตถุสามมิติที่มีตีกรีเท่ากัน .....	59
4.6.1.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการระบุกราฟอวัฏจักร .....	60
4.6.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ .....	60
4.6.2.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการหาค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยของวัตถุสามมิติ .....	60
4.6.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการกำหนดค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยสำหรับแต่ละส่วนย่อย .....	61
4.6.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการเปรียบเทียบและวัดความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ .....	61
4.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพ .....	63
4.8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา .....	67
4.9 การทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยม .....	67
4.10 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยม .....	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	71
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	71
รายการอ้างอิง .....	73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	77

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1	การแบ่งประเภทวัสดุสามมิติเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพของงานวิจัย .....	38
ตารางที่ 4.2	ค่าความแม่นยำของวัสดุสามมิติทั้ง 30 ประเภท.....	47
ตารางที่ 4.3	ค่าความแม่นยำของวัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก.....	50
ตารางที่ 4.4	ค่าความแม่นยำของวัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อยแต่ละประเภท.....	52
ตารางที่ 4.5	ค่าความแม่นยำของวัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมาก .....	54
ตารางที่ 4.6	ค่าความแม่นยำของวัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย .....	56
ตารางที่ 4.7	ค่าความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัย .....	61
ตารางที่ 4.8	เวลาในการค้นคืนวัสดุสามมิติ.....	62
ตารางที่ 4.9	ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยม.....	68

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 ประเภทการค้นคืนวัตถุสามมิติ (ก)การค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้คำสำคัญ (Text-based retrieval)[2] (ข)การค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้ภาพวาด (Sketch-based retrieval)[3] (ค)การค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้ข้อมูลของวัตถุสามมิติ (Content-based retrieval)[4]..... 1

รูปที่ 2.1 ระยะทางจีโอเดสิก (Geodesic Distance)[7] ..... 5

รูปที่ 2.2 การแทนค่าด้วยเรปกราฟโดยใช้ฟังก์ชันความสูง[9] ..... 6

รูปที่ 2.3 เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิก[10] ..... 7

รูปที่ 2.4 ภาพตัวอย่างวงกลมที่วางทับพอดีในรูปร่าง [11] ..... 7

รูปที่ 2.5 กราฟย่อยสามัญที่ใหญ่ที่สุดระหว่างกราฟ  $G_1$  และ  $G_2$  [11] ..... 8

รูปที่ 2.6 กราฟความแน่นและการเรียกคืน..... 9

รูปที่ 2.7 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน..... 10

รูปที่ 2.8 การใช้ตัวบ่งชี้ลักษณะเพื่อสกัดเอาส่วนสำคัญของบนภาพ[10] ..... 11

รูปที่ 2.9 การใช้ภาพปริทัศน์เพื่ออธิบายรูปร่างวัตถุสามมิติ[13]..... 12

รูปที่ 2.10 การใช้ภาพสปินเพื่อแทนความสัมพันธ์ของตำแหน่งบริเวณพื้นผิวรอบๆจุด[11]..... 13

รูปที่ 2.11 การใช้ต้นไม้ทวิภาคในการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติ[14] ..... 13

รูปที่ 2.12 การใช้ระยะทางจีโอเดสิกและคุณสมบัติทางความโค้งในการอธิบายวัตถุสามมิติ[15] ..... 14

รูปที่ 2.13 การใช้เรปกราฟที่มีความละเอียดในการแบ่งหลายระดับ (Multiresolution Reeb Graph) [7]..... 14

รูปที่ 2.14 การใช้โครงกระดูกโค้งเพื่อแสดงปริมาตรของวัตถุสามมิติ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ[16] ..... 15

รูปที่ 2.15 การแบ่งนับไม่เป็นเอกรูป [17] (ก)การแบ่งนับระยะทางจีโอเดสิก (ข)การแบ่งวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (ค)ผลลัพธ์การทำความสะอาดข้อมูล ..... 16

รูปที่ 2.16 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย[5]..... 17

รูปที่ 2.17 เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย[1] (ก)ระยะทางจีโอเดสิกของวัตถุสามมิติรูปร่างคน (ข)การแบ่งนับระยะทางจีโอเดสิก (ค)การแบ่งวัตถุสามมิติแบบเอกรูป (ง)ผลลัพธ์การรวม

ส่วนย่อยของวัตถุที่มีตึกเท่ากัน (จ)เรปกราฟตามระยะจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สหลังจากปรับปรุงข้อมูล (ฉ)การระบุกราฟอวัฏจักร.....	18
รูปที่ 2.18 ผลจากการอธิบายรูปร่างด้วยโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย[18].....	18
รูปที่ 2.19 แสดงผลจากการอธิบายความร้อนด้วยการกระจายความร้อน[19] .....	19
รูปที่ 3.1 ภาพรวมการเตรียมฐานข้อมูลสำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติ .....	22
รูปที่ 3.2 ภาพรวมการทำงานของการทำงานการค้นคืนวัตถุสามมิติ .....	23
รูปที่ 3.3 ผลการแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย.....	25
รูปที่ 3.4 ผลการแบ่งนับวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (ก)การแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทาง จีโอเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งนับวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูป .....	26
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูล (ก)การแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทาง จีโอเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งนับวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูป (ค)ผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูล.....	27
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างผลลัพธ์การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งนับระดับขั้นตามค่าจีโอเดสิกบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (ก)การแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งนับวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูป (ค)ผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูล (ง)การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งนับระดับขั้นตามค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป .....	28
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างผลลัพธ์การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งนับระดับขั้นตามค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (ก)การแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทางแบบจีโอเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งนับวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูป (ค)ผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูล (ง)การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งนับระดับขั้นตามค่าจีโอเดสิกบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (จ)การปรับปรุงเรปกราฟโดยการรวมส่วนย่อยของวัตถุสามมิติที่มีตึกเท่ากัน .....	29
รูปที่ 3.8 ระบุทิศทางให้กับเรปกราฟ.....	30
รูปที่ 3.9 การยึงเส้นรังสีในลักษณะกรวย[20].....	31
รูปที่ 3.10 การยึงเส้นรังสีในลักษณะโคน 120 องศา.....	31
รูปที่ 3.11 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติ .....	32

รูปที่ 4.1 วัตถุสามมิติที่ใช้ในการทดสอบ[6].....	36
รูปที่ 4.2 วัตถุสามมิติสี่บด้าน[6].....	37
รูปที่ 4.3 วัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก.....	40
รูปที่ 4.4 วัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย.....	40
รูปที่ 4.5 วัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมาก.....	41
รูปที่ 4.6 วัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย.....	41
รูปที่ 4.7 กราฟผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวม.....	43
รูปที่ 4.8 กราฟผลการทดสอบประสิทธิผลแต่ละประเภทของ เครื่องบิน,สัตว์ประหลาด 1, สัตว์ ประหลาด 2,มด,ชิ้นส่วนเครื่องจักร และจักรยาน.....	45
รูปที่ 4.9 กราฟผลการทดสอบประสิทธิผลแต่ละประเภทของ นก 1,รูปปั้น,อูฐ,เก้าอี้,ถ้วย และ สุนัข.....	45
รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดสอบประสิทธิผลแต่ละประเภทของ ปลา,นก 2,แว่นตา,มือ,ผ้า และ มนุษย์.....	46
รูปที่ 4.11 กราฟผลการทดสอบประสิทธิผลแต่ละประเภทของ โคมไฟ,กล่อง,ปลาหมึก,กระดาษ ,คีม และตุ๊กตาซานต้า.....	46
รูปที่ 4.12 กราฟผลการทดสอบประสิทธิผลแต่ละประเภทของ งู,แมงมุม,ต้นไม้,ลูกบอลสองลูก, แจกันและโต๊ะ.....	47
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก.....	50
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย.....	52
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทาง มาก.....	54
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทาง น้อย.....	56
รูปที่ 4.17 ตัวอย่างวัตถุสามมิติที่ใช้สำหรับทดสอบซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงท่าทาง.....	65
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด 5 ลำดับ.....	66

รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบประสิทธิผลการคั่นคั้นวัตถุธาสมิตีให้ค่าความแม่นยำที่ต่ำที่สุด 5  
ลำดับ ..... 66

รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชที่มีปริมาณการสุ่ม 1% 3%  
7% 8% 15% และ 20% ..... 69

รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชที่มีปริมาณการสุ่ม 23%  
25% 29% 35% 40% และ 100% ..... 69



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

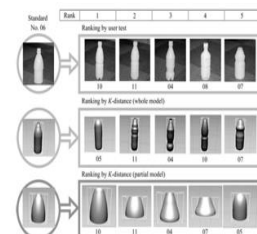
ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้วัตถุสามมิติถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายๆ ด้าน เช่น การใช้วัตถุสามมิติในการสร้างแบบจำลองต่างๆ สื่อโฆษณา เกมคอมพิวเตอร์ การแสดงผลวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ และภาพยนตร์ เป็นต้น การใช้วัตถุสามมิติในเทคโนโลยีดังที่ยกตัวอย่างข้างต้นส่งผลให้จำนวนวัตถุสามมิติเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการในการค้นคืนวัตถุสามมิติเกิดขึ้น แต่เนื่องจากความซับซ้อนและการมีลักษณะเฉพาะของวัตถุสามมิติ การค้นคืนวัตถุสามมิติจึงไม่เหมาะกับการใช้ข้อความหรือคำสำคัญในการค้นคืน เพราะเป็นการยากที่จะหาข้อความหรือคำสำคัญมาอธิบายลักษณะเฉพาะและความซับซ้อนของวัตถุสามมิติได้เพียงพอ[1] อีกทั้งปัจจัยเรื่องการใช้คำสำคัญหรือข้อความของผู้ใช้ที่ทำการค้นคืนวัตถุสามมิติในแต่ละเพศ ช่วงอายุ และภาษา เป็นต้น โดยตัวอย่างการค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้คำสำคัญแสดงดังรูปที่ 1.1(ก) นอกจากนี้ยังมีการค้นคืนจากการที่ผู้ใช้เป็นผู้วาดภาพในรูปแบบสองมิติ แล้วนำภาพที่ผู้ใช้วาดเป็นวัตถุสเก็ตช์ (Sketch – based Retrieval) ผลลัพธ์ของการค้นคืนประเภทนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการวาดของผู้ใช้ หากผู้ใช้ไม่มีความถนัดในเรื่องของการวาด จะส่งผลต่อความแม่นยำในการค้นคืน ตัวอย่างการค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้ภาพวาดเป็นวัตถุสเก็ตช์แสดงดังรูปที่ 1.1(ข)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1.1 ประเภทการค้นคืนวัตถุสามมิติ (ก)การค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้คำสำคัญ (Text-based retrieval)[2] (ข)การค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้ภาพวาด (Sketch-based retrieval)[3] (ค)การค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้ข้อมูลของวัตถุสามมิติ (Content-based retrieval)[4]



จากข้อจำกัดดังกล่าวมาในการค้นคืนวัตถุสามมิติแต่ละประเภท ทำให้แนวความคิดในการนำข้อมูลทางรูปร่างของวัตถุสามมิติมาใช้ในการค้นคืนวัตถุสามมิติจึงเกิดขึ้น (Content-based 3D shape retrieval)[1] โดยการใช้ข้อมูลดังกล่าวจะไม่เป็นผล หากมีความผิดพลาดที่เกิดจากความบกพร่องในการทำงานของมนุษย์ อีกทั้งการนำข้อมูลทางรูปร่างของวัตถุสามมิติมาใช้ในการค้นคืนวัตถุสามมิตินั้นยังส่งผลให้การค้นคืนวัตถุสามมิติมีความแม่นยำมากขึ้นอีกด้วย

การค้นคืนวัตถุสามมิติโดยใช้ข้อมูลของวัตถุสามมิติสามารถแบ่งประเภทได้ 2 ประเภทคือ การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบโดยรวม (Global matching) และการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน (Partial matching) การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบโดยรวมจะเปรียบเทียบรูปร่างโดยรวมของวัตถุสามมิติและจะค้นคืนเซตของวัตถุสามมิติที่มีรูปร่างโดยรวมเหมือนกันเป็นเซตคำตอบ ข้อดีของการค้นคืนแบบโดยรวมคือ ความรวดเร็ว แต่การค้นคืนในลักษณะนี้ก็มีข้อจำกัดคือ ไม่รองรับการค้นคืนวัตถุสามมิติที่มีรูปร่างหรือลักษณะที่ใกล้เคียงกันโดยมีความแตกต่างกันในส่วนประกอบย่อยของวัตถุสามมิติเพียงเล็กน้อย ส่วนการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนจะค้นคืนวัตถุสามมิติที่มีส่วนประกอบย่อยเหมือนกันหรือคล้ายกัน ข้อดีของการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนคือสามารถค้นคืนวัตถุสามมิติที่มีรูปร่างโดยรวมเหมือนกันแต่มีรายละเอียดหรือส่วนย่อยที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยได้ จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนครอบคลุมปัญหาที่กว้างกว่าเมื่อเทียบกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบโดยรวม อย่างไรก็ตามวิจัยที่ขึ้นกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนมักมีข้อจำกัดเรื่องเวลาและการรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติ

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนออัลกอริทึมสำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติโดยขึ้นกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่รองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติ ซึ่งประกอบไปด้วยการเปลี่ยนแปลงท่าทาง การหมุน การเลื่อนตำแหน่ง การย่อหรือขยายขนาด โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอใช้เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยในการแบ่งวัตถุสามมิติออกเป็นส่วนย่อย[1] อีกทั้งเรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยยังส่งผลให้อัลกอริทึมที่นำเสนอรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติ และส่วนย่อยแต่ละส่วนของวัตถุสามมิติจะถูกอธิบายด้วยตัวอธิบายรูปร่างโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย[5] เพื่อลดเวลาในการค้นคืน โดยการเปรียบเทียบความเหมือนของ

วัตถุสามมิติ จะเป็นการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ โดยผ่านการหากราฟย่อยสามัญระหว่างกราฟที่ใหญ่ที่สุด

## 1.2 ปัญหาวิจัย

การค้นคืนวัตถุสามมิติจะมีส่วนสำคัญหลัก ๆ 2 ส่วน[1]คือ การอธิบายรูปร่างของวัตถุสามมิติและการเปรียบเทียบความเหมือนของวัตถุสามมิติ โดยปัญหาในการค้นคืนวัตถุสามมิติ จะอยู่ในขั้นตอนการอธิบายรูปร่างได้แก่ การรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุ การแบ่งแยกเอกลักษณ์ของรูปร่างและความรวดเร็ว

ดังนั้นปัญหาในวิทยานิพนธ์ที่น่าเสนอคือ ทำอย่างไรเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการคำนวณให้กับการอธิบายรูปร่าง โดยยังคงรักษาประสิทธิภาพในการค้นคืน อีกทั้งยังรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติ

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน โดยอัลกอริทึมที่น่าเสนอใช้เรปกรรฟตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย[1]ในการแบ่งวัตถุสามมิติออกเป็น ส่วนย่อย และส่วนย่อยแต่ละส่วนจะถูกอธิบายด้วยตัวอธิบายรูปร่างโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย[5] และในขั้นตอนการเปรียบเทียบความเหมือนของวัตถุสามมิติจะเป็นการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างส่วนย่อยของวัตถุสามมิติโดยผ่านการหากราฟย่อยสามัญระหว่างกราฟที่ใหญ่ที่สุด

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. วัตถุสามมิติที่ใช้ในการทดสอบจะต้องเป็นชิ้นเดียวต่อเนื่องกัน
2. วัตถุสามมิติที่ใช้ในการทดสอบการค้นคืนจะต้องเป็นวัตถุสามมิติที่มีพื้นผิวสมบูรณ์และถูกนำเสนอเป็นเมชสามเหลี่ยม
3. วัตถุสามมิติที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในรูปแบบสกุลไฟล์ .OFF โดยมีความหลากหลายของประเภทวัตถุสามมิติ
4. วัตถุสามมิติที่ใช้ในการทดสอบจะต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงท่าทางแบบแข็งเกร็งเท่านั้น

### 1.5 การประเมินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ที่นำเสนอ นั้นเป็นอัลกอริทึมสำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติ ดังนั้นในการประเมินผลจะประเมินผลทั้งด้านประสิทธิภาพเชิงเวลาและประสิทธิผลในการค้นคืน โดยด้านประสิทธิภาพเชิงเวลาจะประเมินจากเวลาที่ใช้ในการค้นคืนวัตถุสามมิติในฐานข้อมูลที่ใช้ทดสอบ[6] และด้านประสิทธิผลจะประเมินจากความแม่นยำในการค้นคืนวัตถุสามมิติในฐานข้อมูลที่ใช้ทดสอบ[6]

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

วิทยานิพนธ์ที่นำเสนอสามารถช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงวัตถุสามมิติได้รวดเร็วมากขึ้น อีกทั้งผู้ใช้สามารถเลือกค้นคืนวัตถุสามมิติเฉพาะส่วนที่สนใจได้ เนื่องจากวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอเป็นการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ที่นำเสนอยังช่วยให้ผู้ใช้ไม่ต้องคำนึงถึงท่าทางและการวางตัวของวัตถุสามมิติที่ใช้ในการค้นคืนอีกด้วย

### 1.7 ผลงานตีพิมพ์

Rodkhwan, S. and P. Kanongchaiyos, *Shape Retrieval for Khon 3D Model*, in Proceedings of the 2013 International Conference on Culture and Computing. 2013, IEEE Computer Society. p. 68-73.

## บทที่ 2

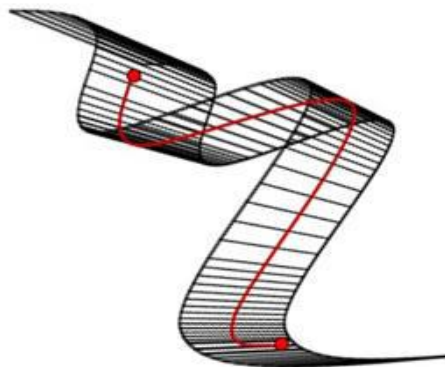
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ที่นำเสนอมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ ระยะทางจีโอเดสิก ทฤษฎีมอร์ส เรปกราฟ ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่าง กราฟย่อยสามัญที่ใหญ่ที่สุดระหว่างกราฟ และการประเมินผลด้านประสิทธิภาพโดยใช้ความแม่นยำและการเรียกคืน

##### 2.1.1 ระยะทางจีโอเดสิก (Geodesic Distance)

ระยะทางจีโอเดสิก คือ ระยะทางที่สั้นที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยวัดระยะทางตามพื้นผิวของวัตถุใด ๆ ดังแสดงตัวอย่างรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระยะทางจีโอเดสิก (Geodesic Distance)[7]

##### 2.1.2 ทฤษฎีมอร์ส (Morse Theory)

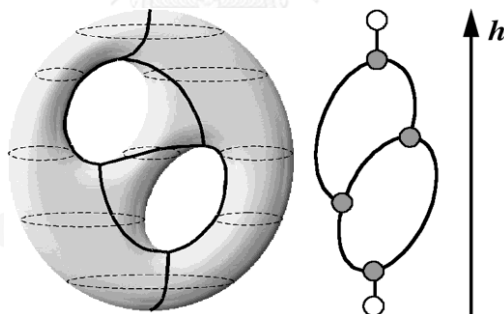
ทฤษฎีมอร์สบ่งบอกถึงความเกี่ยวเนื่องระหว่างจุดวิกฤตบนฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่องและข้อมูลเชิงทอพอโลยีของพื้นผิว ซึ่งจุดวิกฤตดังกล่าวนั้นจะเป็นจุดที่มีค่าความชันเท่ากับศูนย์[8] ซึ่งฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่องดังกล่าวถูกเรียกว่า ฟังก์ชันมอร์ส (Morse function) หรืออีกความหมายคือ ฟังก์ชันมอร์สเป็นฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่อง โดยทุก ๆ จุดที่อยู่บนฟังก์ชัน

ดังกล่าวต้องเป็นจุดวิกฤต ซึ่งจุดวิกฤตข้างต้นสามารถหาดีเทอร์มิแนนท์ของเมตริกซ์เฮสเซียน  $H$  ของฟังก์ชัน  $f$  แล้วไม่เท่ากับศูนย์ โดยแสดงดังสมการที่ 2.1

$$H_f(p) = \left[ \frac{\partial^2 f(p)}{\partial x_i^2 \partial x_j^2} \right] \quad (2.1)$$

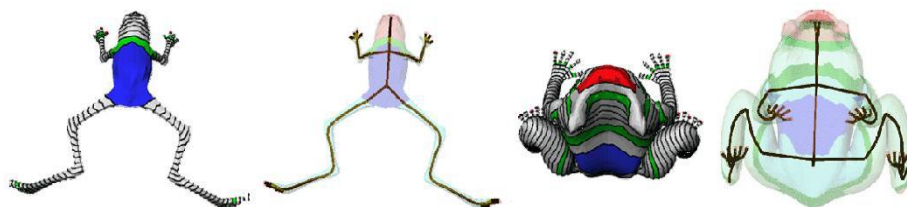
### 2.1.3 เรปกราฟ (Reeb Graph)

เรปกราฟคือ กราฟที่ใช้แทนข้อมูลเชิงทอพอโลยีของวัตถุสามมิติ โดยจุดยอดที่อยู่บนข้อมูลเมชสามเหลี่ยมของวัตถุสามมิติจะถูกระบุตำแหน่งจุดยอด(Node) บนกราฟและเส้นเชื่อมของเมชสามเหลี่ยมระหว่างจุดยอดของวัตถุสามมิติจะถูกระบุเป็นเส้นเชื่อม (Edge) ของกราฟ โดยจุดยอดบนวัตถุสามมิติที่ถูกระบุตำแหน่งบนกราฟจะต้องเป็นจุดวิกฤตที่ได้จากฟังก์ชันมอร์ส ซึ่งประโยชน์ของเรปกราฟคือ แม้ว่าวัตถุสามมิติเปลี่ยนแปลงขนาด เรปกราฟยังคงสามารถรักษาข้อมูลเชิงทอพอโลยีไว้ได้ ซึ่งตัวอย่างเรปกราฟโดยใช้ฟังก์ชันความสูงเป็นฟังก์ชันมอร์สแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแทนค่าด้วยเรปกราฟโดยใช้ฟังก์ชันความสูง[9]

- เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิก (Geodesic Distance)

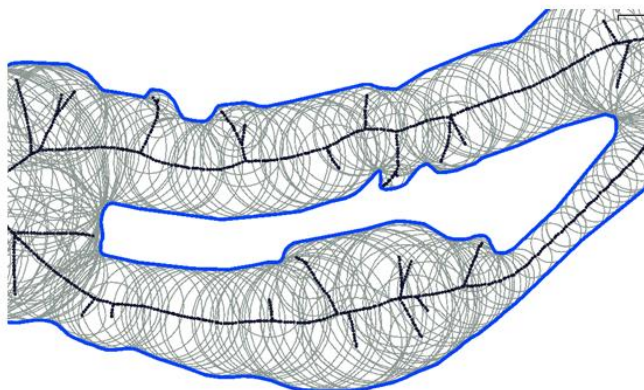


รูปที่ 2.3 เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิก[10]

เรปกราฟตามผลรวมของระยะทางจีโอเดสิกเป็นเรปกราฟที่ใช้ผลรวมของระยะทางจีโอเดสิกแทนฟังก์ชันมอร์สบนเรปกราฟ โดยผลรวมของระยะทางจีโอเดสิกของจุดยอดบนพื้นผิววัตถุสามมิติจะถูกใช้เป็นการระยะทางจีโอเดสิกจากจุดยอดนั้น ๆ ไปยังทุก ๆ จุดยอดบนพื้นผิวของวัตถุสามมิติ

#### 2.1.4 ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่าง

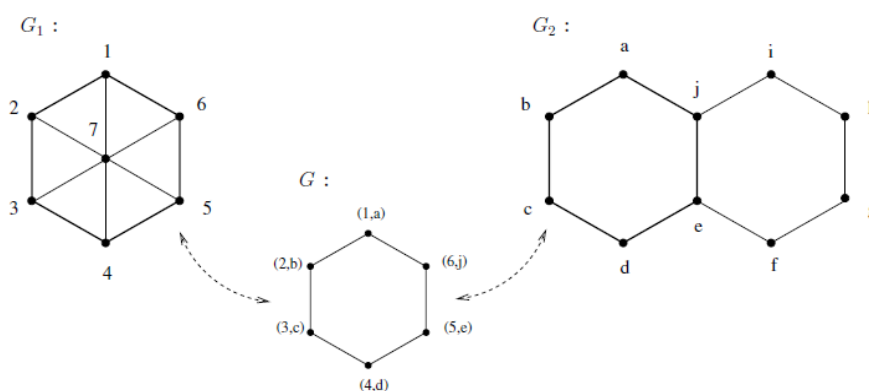
ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างเป็นสเกลาร์ฟังก์ชันบนพื้นผิวของวัตถุสามมิติ โดยฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างนี้ แสดงถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมที่วางทับพอดีในรูปร่างของวัตถุสามมิติ นอกจากนี้ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างยังแสดงถึงความหนาของวัตถุสามมิติ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ภาพตัวอย่างวงกลมที่วางทับพอดีในรูปร่าง [11]

### 2.1.5 กราฟย่อยสามัญที่ใหญ่ที่สุดระหว่างกราฟ

กราฟย่อยสามัญที่ใหญ่ที่สุดระหว่างคู่กราฟ  $G_1$  และ  $G_2$  (Maximum Common Sub-graph) คือ กราฟย่อยสามัญระหว่างคู่กราฟ  $G_1$  และ  $G_2$  ซึ่งไม่มีกราฟย่อยอื่น ๆ ระหว่างคู่กราฟทั้งสองที่มีขนาดที่ใหญ่กว่า โดยแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟย่อยสามัญที่ใหญ่ที่สุดระหว่างกราฟ  $G_1$  และ  $G_2$  [11]

### 2.1.6 ความแม่นยำและการเรียกคืน

ความแม่นยำ (Precision) บ่งบอกความสามารถในการค้นคืนเซตของวัตถุสามมิติที่มีความเกี่ยวข้องกับวัตถุสามมิติที่ใช้สืบค้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$precision = \frac{|R_A|}{|A|} \quad (2.2)$$

$|R_A|$  คือ จำนวนวัตถุสามมิติในเซตคำตอบที่เกี่ยวข้องกับวัตถุที่ใช้สืบค้น

$|A|$  คือ จำนวนเซตคำตอบทั้งหมดในการค้นคืนที่เกี่ยวข้องกับวัตถุสามมิติที่ใช้สืบค้น

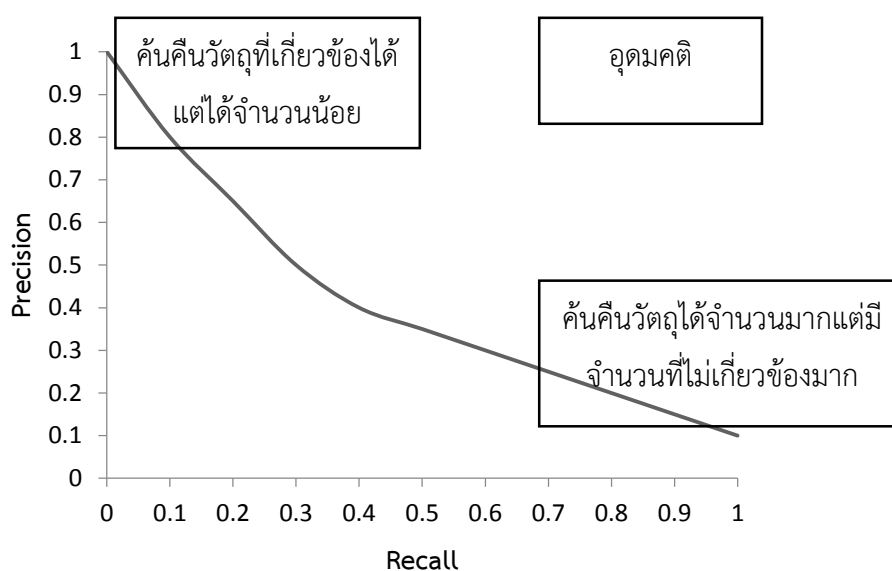
การเรียกคืน (Recall) บ่งบอกถึงความสามารถในการค้นคืนวัตถุสามมิติที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจากฐานข้อมูล ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$recall = \frac{|R_A|}{|R|} \quad (2.3)$$

$|R_A|$  คือ จำนวนวัตถุสามมิติในเซตคำตอบที่เกี่ยวข้องกับวัตถุที่ใช้สืบค้น

$|R|$  คือ จำนวนวัตถุสามมิติทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัตถุที่ใช้สืบค้น

โดยตัวอย่างกราฟความแม่นยำและการเรียกคืนแสดงดังรูปที่ 2.6 โดยกราฟดังกล่าว แสดงความแม่นยำต่อจำนวนวัตถุสามมิติที่ค้นคืนได้สำเร็จ



รูปที่ 2.6 กราฟความแม่นยำและการเรียกคืน

สำหรับการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติโดยรวม วัดได้จากค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Mean Average Precision) ซึ่งสามารถหาได้ด้วยสมการที่ 2.4

$$MAP = \frac{\sum_{i=1}^N AveP_i}{N} \quad (2.4)$$

$MAP$  คือ ค่าความแม่นยำเฉลี่ย

$AveP_i$  คือ ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของการค้นคืนที่  $i$

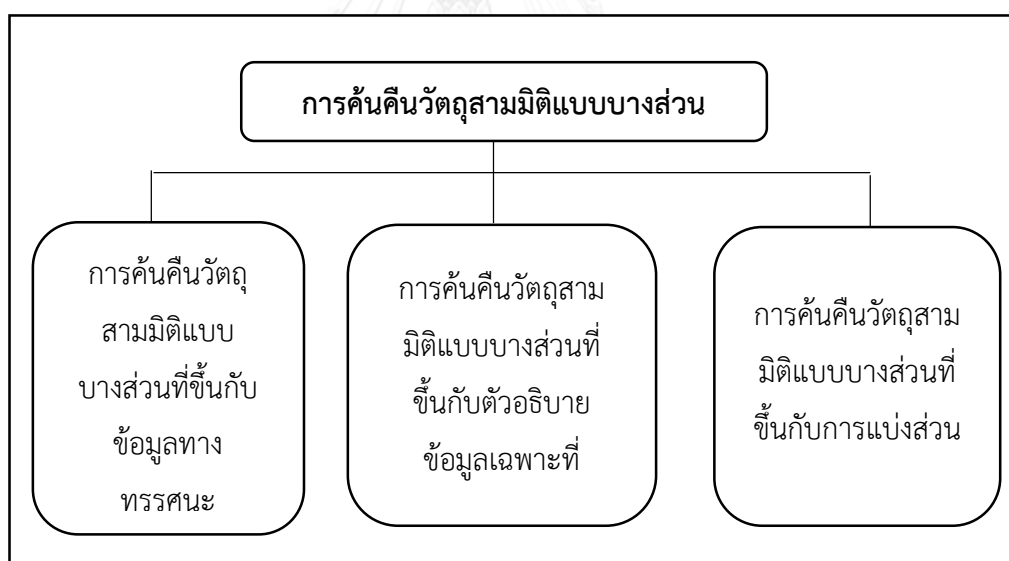
$N$  คือ จำนวนการค้นคืนทั้งหมด



ค่าความแม่นยำแสดงถึงความน่าจะเป็นในการค้นคืนวัตถุสามมิติ แล้วได้วัตถุสามมิติที่เกี่ยวข้องกับวัตถุสามมิติสืบค้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 หากค่าความแม่นยำมีค่าเป็น 1 แสดงให้เห็นว่าการค้นคืนประสบผลสำเร็จ ซึ่งหมายถึงสามารถค้นคืนวัตถุสามมิติที่เกี่ยวข้องได้ทั้งหมดเรียงกันตามลำดับ

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

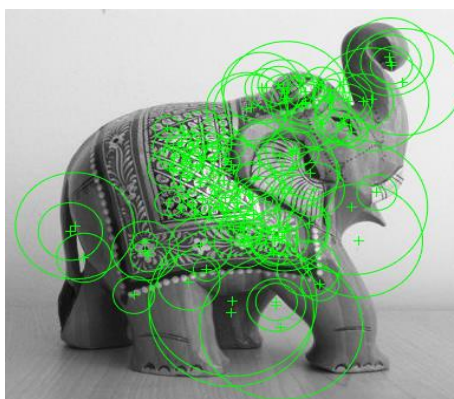
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม[12] ได้แก่ การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับข้อมูลทางทฤษฎี (View based partial shape retrieval) การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับตัวอธิบายข้อมูลเฉพาะที่ (Local description based partial shape retrieval) และการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับการแบ่งส่วน (Segmentation based partial shape retrieval) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7



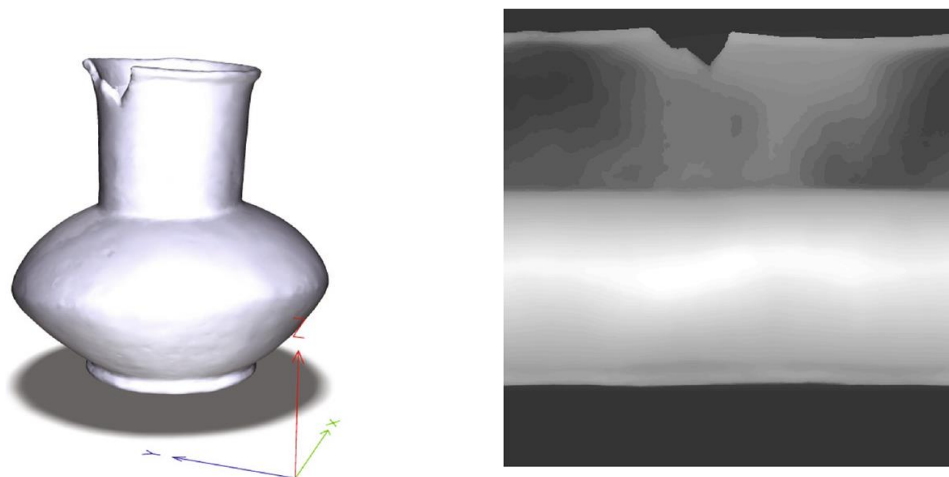
รูปที่ 2.7 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน

## 2.2.1 การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับข้อมูลทางทรงชนะ (View based partial shape retrieval)

การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับข้อมูลทางทรงชนะอาศัยรูปในมุมมองสองมิติหลาย ๆ มุมของวัตถุสามมิติมาแทนหรืออธิบายวัตถุสามมิติแต่ละชิ้น ซึ่งรูปสองมิติดังกล่าวอาจได้มาจากการยึดเก็บหรือการวาดแบบร่าง เป็นต้น โดยตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับข้อมูลทางทรงชนะได้แก่ งานวิจัยในปี ค.ศ. 2011[10] งานวิจัยดังกล่าวใช้ตัวบ่งชี้ลักษณะ เพื่อสกัดเอาส่วนสำคัญหรือส่วนที่บ่งบอกถึงความหมายบนภาพสองมิติ ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.8 โดยภาพสองมิติดังกล่าวเป็นภาพของวัตถุสามมิติ เมื่อได้ส่วนสำคัญหรือตัวบ่งชี้ลักษณะของภาพมาแล้ว จึงนำมาเป็นตัวอธิบายข้อมูลของวัตถุสามมิติ จากการใช้ภาพเป็นตัวอธิบายข้อมูลของวัตถุสามมิติ ทำให้ข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ เวลาในการประมวลผลภาพ แต่เนื่องจากการใช้ภาพสองมิติดังกล่าว ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดคือ ให้ผลลัพธ์ที่ไม่แม่นยำ เนื่องจากการยากที่จะยึดเก็บรูปจากวัตถุสามมิติได้เพียงพอที่จะอธิบายถึงความหมายของวัตถุสามมิตินั้น ๆ ต่อมาในปี ค.ศ. 2014 มีการนำเสนองานวิจัย[13]ที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุโบราณสามมิติ โดยใช้ภาพสองมิติในมุมมองปริทัศน์ในการอธิบายวัตถุสามมิติแต่ละชิ้น ซึ่งข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ ความเร็วในการประมวลผลภาพเพื่อนำมาเป็นตัวอธิบายข้อมูลของวัตถุสามมิติแต่ละชิ้น แต่จากการใช้ภาพในมุมมองปริทัศน์ดังกล่าวส่งผลให้เกิดข้อจำกัดของงานวิจัยคือ ความแม่นยำในการค้นคืน เนื่องจากการเลือกภาพในมุมมองปริทัศน์ที่ใช้อธิบายวัตถุสามมิติแต่ละชิ้นนั้นอาจไม่ตรงกันกับวัตถุสามมิติสืบค้น ทั้งที่เป็นวัตถุสามมิติประเภทเดียวกัน โดยตัวอย่างภาพในมุมมองปริทัศน์ของวัตถุสามมิติในงานวิจัยดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 การใช้ตัวบ่งชี้ลักษณะเพื่อสกัดเอาส่วนสำคัญบนภาพ[10]

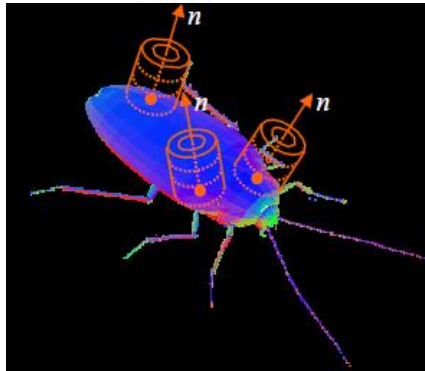


รูปที่ 2.9 การใช้ภาพปริทัศน์เพื่ออธิบายรูปร่างวัตถุสามมิติ[13]

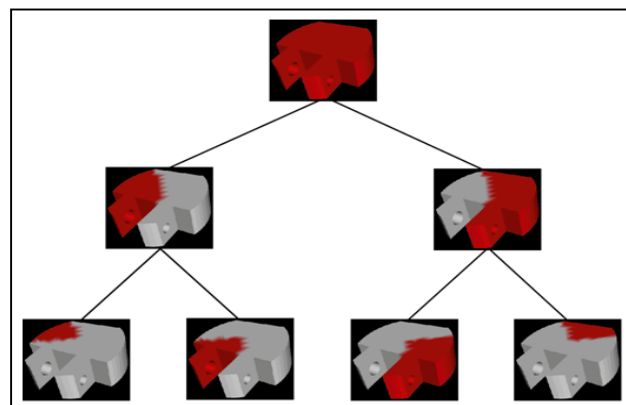
## 2.2.2 การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับตัวอธิบายข้อมูลเฉพาะที่ (Local description based partial shape retrieval)

การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับตัวอธิบายข้อมูลเฉพาะที่จะอาศัยคุณสมบัติทางพื้นผิว เช่น ขนาด และความโค้ง เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติทางพื้นผิวดังกล่าวถูกนำมาใช้แทนหรืออธิบายวัตถุสามมิติแต่ละชิ้น[12] ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับตัวอธิบายข้อมูลเฉพาะที่ได้แก่งานวิจัยในปี ค.ศ. 1997[11] ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวนำเสนอการใช้ภาพสปินเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งรอบ ๆ บริเวณพื้นผิวจุดที่ถูกเลือก เพื่อใช้อธิบายข้อมูลรูปร่างของวัตถุสามมิติ ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.10 และงานวิจัยดังกล่าวเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติด้วยการเปรียบเทียบคู่จุดที่ใช้อธิบายข้อมูลรูปร่างของวัตถุสามมิติ ข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ สามารถรองรับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน แต่เนื่องจากการใช้จุดเพื่ออธิบายรูปร่างวัตถุสามมิติแต่ละชิ้น จึงจำเป็นต้องเลือกจุดเป็นจำนวนมากเพื่อให้เพียงพอต่อการอธิบายข้อมูลรูปร่างของวัตถุสามมิติ ดังนั้นในการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติจึงใช้เวลาในการคำนวณนาน ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าว ต่อมาในปี ค.ศ. 2003 ได้มีการเสนองานวิจัย[14]สำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติ โดยใช้ต้นไม้ทวิภาคในการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติ ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.11 ต้นไม้ทวิภาคดังกล่าว ใช้การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิก งานวิจัยดังกล่าวใช้เวลาในการคำนวณเร็วกว่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยในปี ค.ศ. 1997 แต่เนื่องจาก

การใช้ต้นไม้ทวิภาค ทำให้ส่วนย่อยที่ได้มาจากการแบ่งส่วนมีจำนวนมากเกินความจำเป็น ส่งผลให้ขาดความแม่นยำในการค้นคืนซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าว หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2014 ได้มีการนำเสนองานวิจัย[15]สำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน โดยใช้ระยะทางจีโอเดสิกและคุณสมบัติความโค้งทางพื้นผิวของวัตถุสามมิติเป็นตัวอธิบายรูปร่าง ข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือความแม่นยำในการค้นคืนและการรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุ เนื่องจากคุณสมบัติทางพื้นผิวที่เลือกใช้ ซึ่งข้อจำกัดของงานวิจัยคือ เวลาในการคำนวณ เนื่องจากคุณสมบัติความโค้งทางพื้นผิวของวัตถุสามมิติที่เลือกใช้ โดยตัวอย่างการอธิบายข้อมูลของงานวิจัยดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.10 การใช้ภาพสปินเพื่อแทนความสัมพันธ์ของตำแหน่งบริเวณพื้นผิวรอบๆจุด[11]



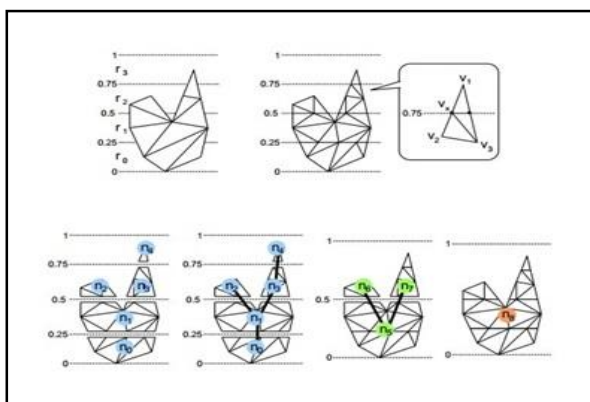
รูปที่ 2.11 การใช้ต้นไม้ทวิภาคในการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติ[14]



รูปที่ 2.12 การใช้ระยะทางจีโอเดสิกและคุณสมบัติทางความโค้งในการอธิบายวัตถุสามมิติ[15]

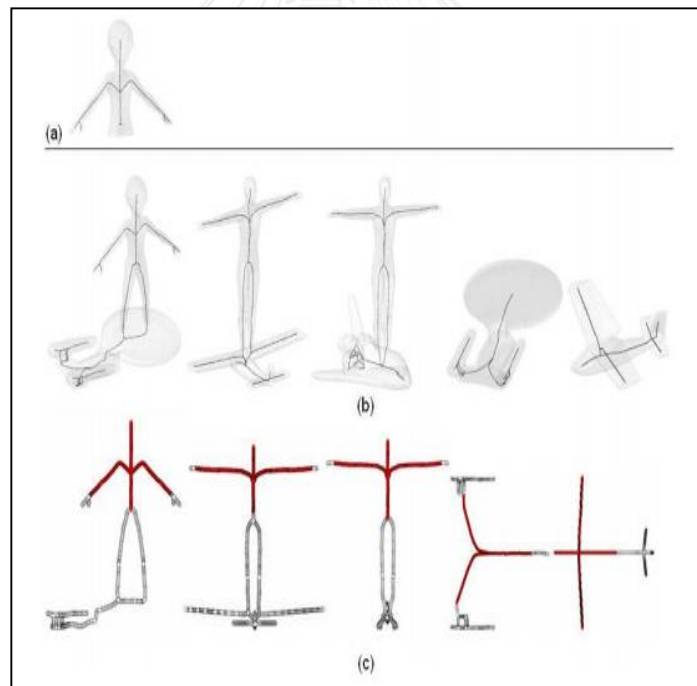
### 2.2.3 การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับการแบ่งส่วน (Segmentation based partial shape retrieval)

การค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับการแบ่งส่วน จะอาศัยการแบ่งส่วนโดยใช้คุณสมบัติทางโครงสร้างมาใช้ในการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติ ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนที่ขึ้นกับการแบ่งส่วนได้แก่ งานวิจัยในปี ค.ศ. 2001[7] งานวิจัยดังกล่าวนำเสนอการค้นคืนวัตถุสามมิติด้วยการใช้เรปกราฟที่มีความละเอียดในการแบ่งหลายระดับ (Multiresolutional Reeb Graph) โดยจะแบ่งเรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิก และในแต่ละระดับความละเอียดจะแบ่งตามระยะทางแบบจีโอเดสิกที่เท่ากัน หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบความเหมือนที่ระดับความละเอียดต่ำมาสูง ซึ่งข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ ทำให้ได้ข้อมูลทางโครงสร้างและข้อมูลทางพื้นผิวของวัตถุสามมิติอย่างละเอียด อีกทั้งทนต่อการเลื่อนตำแหน่ง การหมุน การย่อ/ขยาย และการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุ แต่งานวิจัยดังกล่าวรองรับเฉพาะการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบโดยรวมเท่านั้น ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัย โดยวิธีการแบ่งข้อมูลในงานวิจัยดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.13

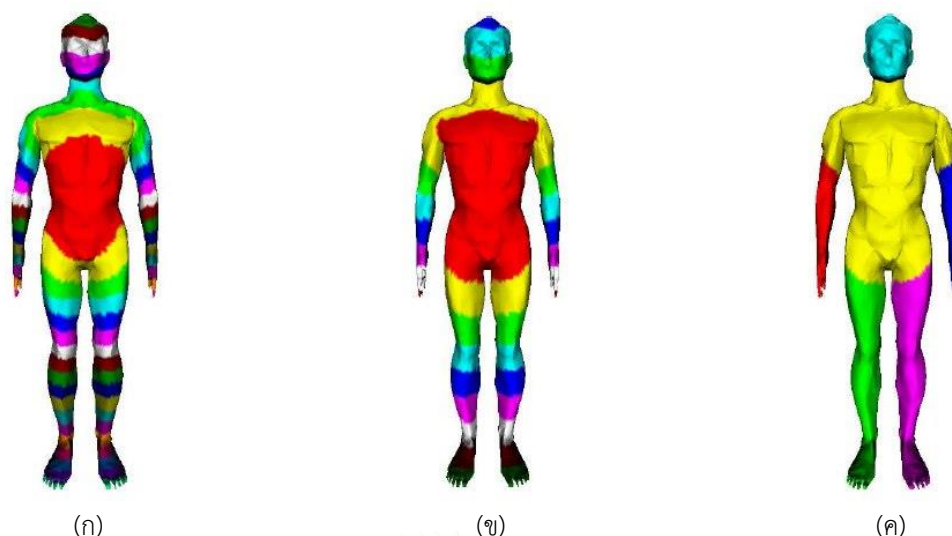


รูปที่ 2.13 การใช้เรปกราฟที่มีความละเอียดในการแบ่งหลายระดับ (Multiresolution Reeb Graph) [7]

งานวิจัยปี ค.ศ 2005[16] นำเสนอการใช้โครงกระดูกในการแสดงข้อมูลทางปริมาตรของวัตถุสามมิติ ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.14 และเปรียบเทียบความเหมือนโดยการจับคู่โครงกระดูกที่เข้าคู่กัน ข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ การใช้ข้อมูลทางทอพอโลยีของวัตถุสามมิติในการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ ทำให้เพิ่มความแม่นยำให้กับงานวิจัยดังกล่าว แต่จากการใช้ข้อมูลทางทอพอโลยีของวัตถุสามมิติ ทำให้เกิดข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะสำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติที่ไม่ซับซ้อนและมีลักษณะเป็นก้อน ต่อมาในปี ค.ศ. 2009 มีงานวิจัย[17] ที่นำเสนอเรขาคณิตตามระยะทางจีโอเดสิก เพื่อแบ่งส่วนวัตถุสามมิติและนำเสนอการแบ่งนับแบบไม่เป็นเอกรูป (Quantization) เพื่อแก้ไขปัญหาจุดยอดที่เกินความจำเป็น ข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ รองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุ แต่ข้อจำกัดของงานวิจัยคือใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก ตัวอย่างการแบ่งนับแบบไม่เป็นเอกรูปแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



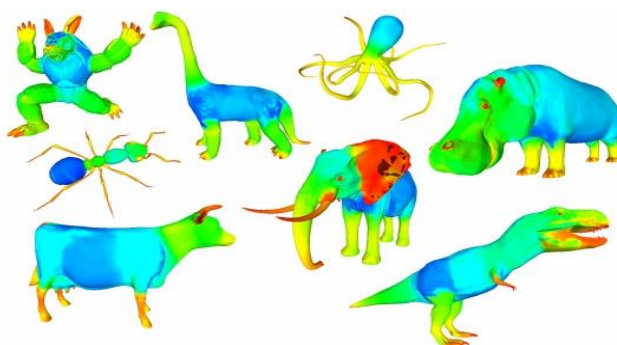
รูปที่ 2.14 การใช้โครงกระดูกโค้งเพื่อแสดงปริมาตรของวัตถุสามมิติ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ[16]



รูปที่ 2.15 การแบ่งน้ำหนักไม่เป็นเอกรูป [17] (ก)การแบ่งน้ำหนักระยะทางจีโอเดสิก (ข)การแบ่งวัตฤสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (ค)ผลลัพธ์การทำความสะอาดข้อมูล

ในปี ค.ศ. 2010 มิงงานวิจัย[5]นำเสนอการใช้โพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย เพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณ โดยโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ยนั้นมาจากการรวมกันระหว่างฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยกับระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยที่งานวิจัยดังกล่าวนำเสนอ จะคำนวณฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างบนหน้าของเมซสามเหลี่ยมเพียง 8% ของเมซสามเหลี่ยมทั้งหมดในแต่ละส่วยย่อยแล้วหาค่าเฉลี่ย หลังจากได้ค่าเฉลี่ยแล้วจะแพร่กระจายค่าเฉลี่ยดังกล่าวให้กับทั้งส่วนย่อยนั้น ๆ ทำให้ลดเวลาในการคิดคำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างได้ ซึ่งถือเป็นข้อดีของงานวิจัยดังกล่าว แต่จากการคำนวณฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างบนหน้าของเมซสามเหลี่ยมเพียง 8% ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดคือ การสูญเสียรายละเอียดทางเอกลักษณ์ของวัตฤสามมิติ ทำให้ความแม่นยำในการค้นคืนลดลง ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าว โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 2.16

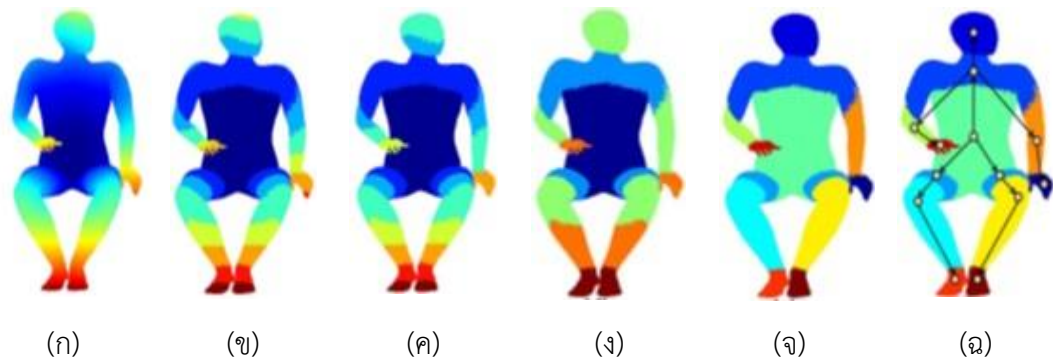




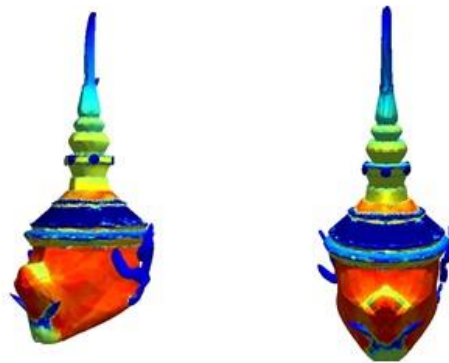
รูปที่ 2.16 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โพลีโบลีเวียสแบบเฉลี่ย[5]

จากนั้นในปี ค.ศ. 2011 มิงงานวิจัย[1]นำเสนอการแทนรูปร่างของวัตถุสามมิติด้วยข้อมูลทางทอพอโลยี โดยใช้เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิก และมีการปรับปรุงเรปกราฟเพื่อให้ได้จุดยอดของเรปกราฟที่มีความหมาย สามารถแสดงถึงส่วนย่อยของวัตถุสามมิติได้ โดยงานวิจัยดังกล่าว อธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติด้วยตัวอธิบายรูปร่างโพลีโบลีเวียส ซึ่งมาจากการรวมกันระหว่างค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างและระยะทางจีโอเดสิกของแต่ละส่วนย่อย ซึ่งข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ สามารถใช้กับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนได้ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของงานวิจัยคือ เวลาที่ใช้คำนวณ เนื่องจากฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างที่ใช้จะคำนวณทุก ๆ จุดยอดบนหน้าของเมชสามเหลี่ยมซึ่งมีจำนวนมาก ตัวอย่างผลจากงานวิจัยที่กล่าวถึงแสดงดังรูปที่ 2.17 ต่อมาในปี ค.ศ.2013 มิงงานวิจัย[18]ที่นำเสนอการค้นคืนวัตถุสามมิติโชน โดยแทนรูปร่างของวัตถุสามมิติด้วยข้อมูลทางทอพอโลยีและใช้เรปกราฟตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย อีกทั้งอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติโชนด้วยตัวอธิบายรูปร่างโพลีโบลีเวียสแบบเฉลี่ย ซึ่งมาจากการรวมกันระหว่างค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยและระยะทางจีโอเดสิกแบบเฉลี่ย ซึ่งข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ สามารถใช้กับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนและความเร็วในการค้นคืน เนื่องจากตัวอธิบายรูปร่างโพลีโบลีเวียสแบบเฉลี่ย อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าวคือ ความละเอียดในการอธิบายรูปร่าง เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวใช้การคำนวณฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างบนหน้าของเมชสามเหลี่ยมเพียง 8% ในการคำนวณตัวอธิบายรูปร่างโพลีโบลีเวียสแบบเฉลี่ย โดยตัวอย่างในการแทนข้อมูลและการอธิบายรูปร่างของงานวิจัยดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.18



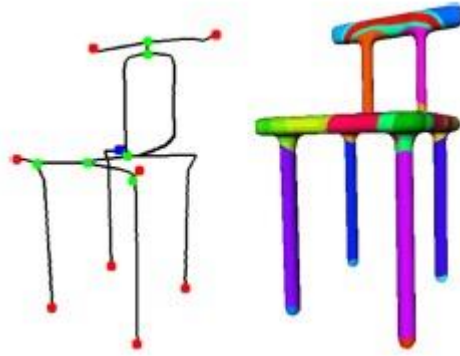


รูปที่ 2.17 เรปกราฟตามระยะจีโอเดสิกเฉลี่ย[1] (ก)ระยะจีโอเดสิกของวัตถุสามมิติรูปร่างคน (ข)การแบ่งนั้บระยะทางจีโอเดสิก (ค)การแบ่งวัตถุสามมิติแบบเอกรูป (ง)ผลลัพธ์การรวมส่วนย่อยของวัตถุที่มีดีกรีเท่ากัน (จ)เรปกราฟตามระยะจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สหลังจากปรับปรุงข้อมูล (ฉ)การระบุนุกรภาพอวิจจักร



รูปที่ 2.18 ผลจากการอธิบายรูปร่างด้วยโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย[18]

ในปี ค.ศ.2014 มีงานวิจัย[19]นำเสนอการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟเช่นกัน และใช้การกระจายความร้อนจากแกนกลางของรูปร่าง ณ บริเวณนั้น ๆ เป็นมอร์สฟังก์ชันของเรปกราฟ ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวแนะนำให้ การกระจายความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับความหนา ณ ตำแหน่งนั้น หากตำแหน่งดังกล่าวมีความหนา มากก็จะกระจายความร้อนได้ดีกว่าบริเวณที่มีความหนาน้อย โดยข้อดีของงานวิจัยดังกล่าวคือ รองรับการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน และข้อจำกัดของงานวิจัยคือ มีส่วนย่อยที่เกิดจากการแบ่งส่วนมากเกินไปจนความจำเป็น โดยตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวแสดงดังรูปที่



รูปที่ 2.19 แสดงผลจากการอธิบายความร้อนด้วยการกระจายความร้อน[19]



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงภาพรวมของการทำงานและกระบวนการสำหรับการค้นคว้าวิจัยวัสดุสามมิติแบบบางส่วนโดยใช้เรปกราฟและฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่าง

#### 3.1 ภาพรวมของการทำงาน

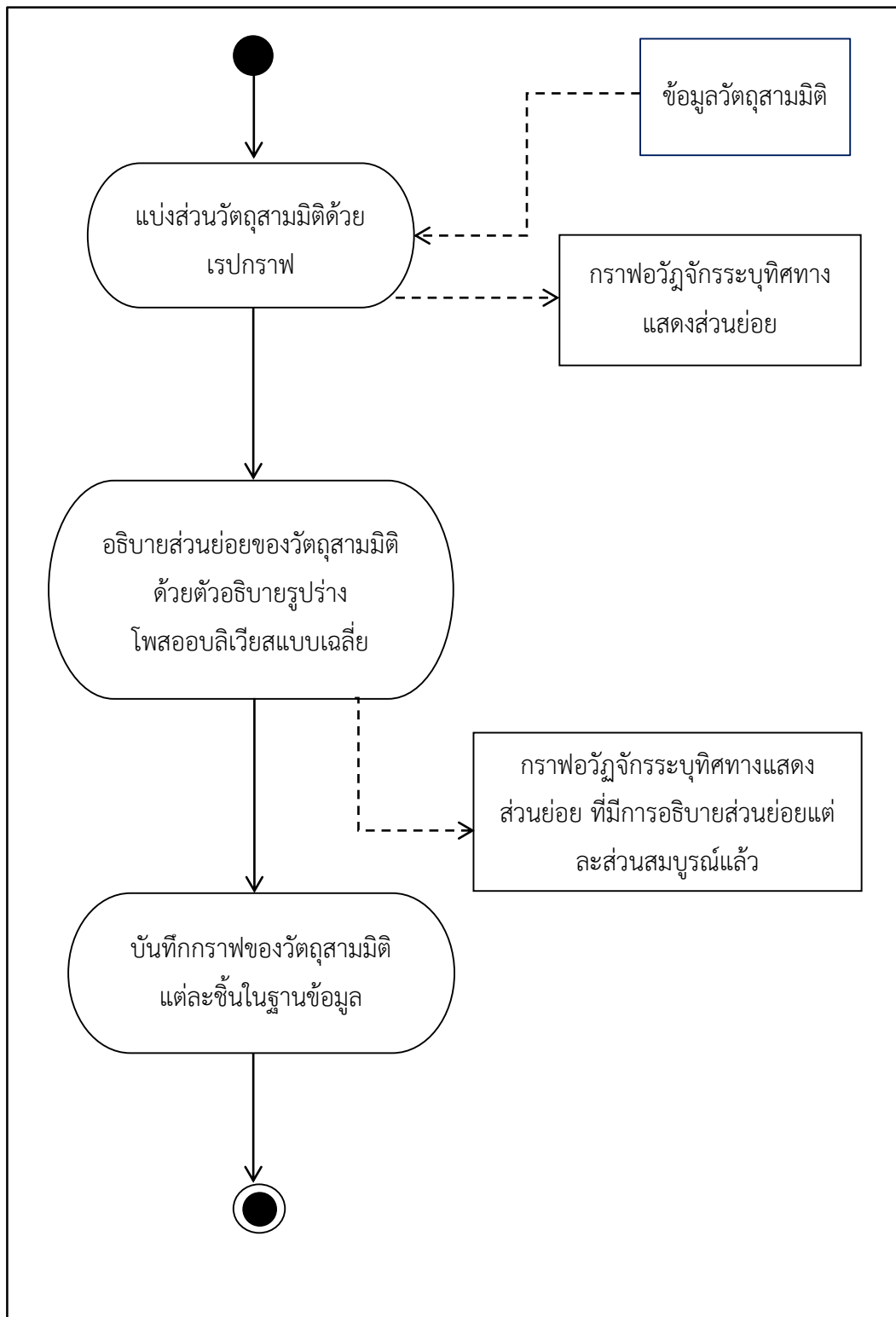
ภาพรวมการทำงานสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน[1]คือ การเตรียมฐานข้อมูลสำหรับการค้นคว้าวิจัยวัสดุสามมิติและการค้นคว้าวิจัยวัสดุสามมิติ โดยภาพรวมการทำงานของการเตรียมฐานข้อมูลสำหรับการค้นคว้าวิจัยวัสดุสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.1 และภาพรวมการทำงานของการค้นคว้าวิจัยวัสดุสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมของการเตรียมฐานข้อมูลสำหรับการค้นคว้าวิจัยวัสดุสามมิติ เริ่มต้นจากการนำเข้าข้อมูลเมชสามเหลี่ยมของวัสดุสามมิติ หลังจากนั้นแบ่งส่วนวัสดุสามมิติด้วยเรปกราฟ โดยใช้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สฟังก์ชัน[1] ฟังก์ชันมอร์สดังกล่าวรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัสดุสามมิติ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนดังกล่าวคือ กราฟอวัฏจักรระบุทิศทางแสดงส่วนย่อย กราฟดังกล่าวประกอบไปด้วยจุดยอดและเส้นเชื่อม โดยจุดยอดแต่ละจุดจะแสดงถึงส่วนย่อยของวัสดุสามมิติแต่ละส่วน และเส้นเชื่อมแสดงถึงความต่อเนื่องหรือเกี่ยวโยงกันระหว่างจุดยอดหรือส่วนย่อยแต่ละส่วนของวัสดุสามมิติ โดยทิศทางของเส้นเชื่อมจะพุ่งจากบริเวณที่มีค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยน้อยกว่าไปยังบริเวณที่มีค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยมากกว่า เมื่อได้ส่วนย่อยแต่ละส่วนแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ อธิบายส่วนย่อยแต่ละส่วนด้วยตัวอธิบายรูปร่างโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย[5] ซึ่งผลลัพธ์จากขั้นตอนดังกล่าวคือ กราฟอวัฏจักรระบุทิศทางแสดงส่วนย่อยที่มีการอธิบายส่วนย่อยแต่ละส่วนสมบูรณ์แล้ว หลังจากนั้นจะบันทึกกราฟดังกล่าวของวัสดุสามมิติแต่ละชิ้นลงในฐานข้อมูล

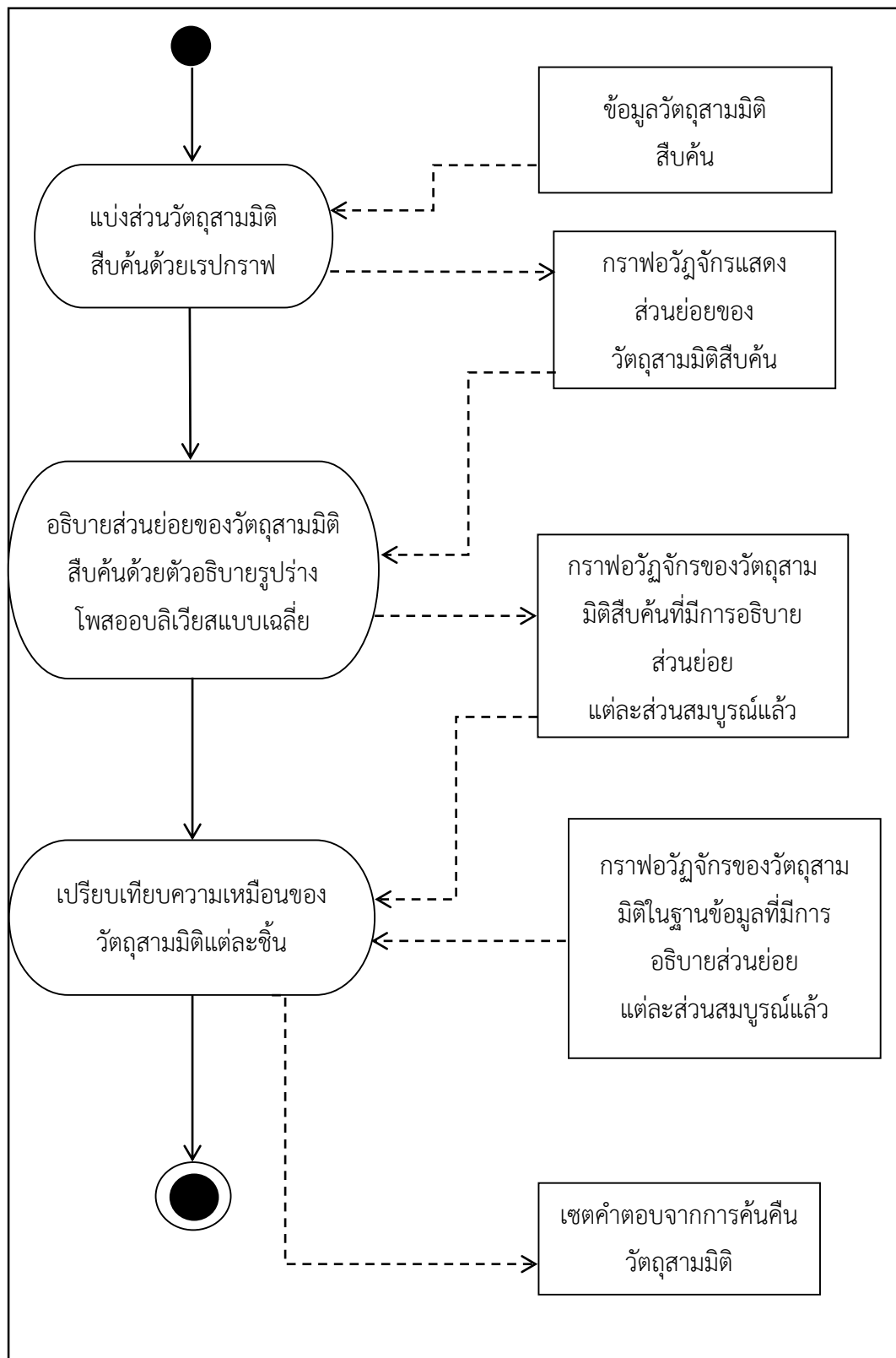
จากรูปที่ 3.2 แสดงภาพรวมการทำงานของการค้นคว้าวิจัยวัสดุสามมิติ ซึ่งเริ่มต้นจากการนำเข้าข้อมูลเมชสามเหลี่ยมของวัสดุสามมิติสืบค้น หลังจากนั้นแบ่งส่วนวัสดุสามมิติด้วยเรปกราฟ โดยใช้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สฟังก์ชัน[1]ให้กับวัสดุสามมิติสืบค้นดังกล่าว

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนดังกล่าวคือ กราฟอวัฏจักรแสดงส่วนย่อยของวัตถุสามมิติสี่บั่น ซึ่งกราฟดังกล่าวประกอบไปด้วยจุดยอดและเส้นเชื่อม โดยจุดยอดจะแสดงถึงส่วนย่อยของวัตถุสามมิติสี่บั่นแต่ละส่วน และเส้นเชื่อมแสดงถึงความต่อเนื่องหรือเกี่ยวโยงกันระหว่างส่วนย่อยหรือจุดยอดแต่ละส่วนของวัตถุสามมิติสี่บั่น โดยทิศทางของเส้นเชื่อมจะพุ่งจากบริเวณที่มีค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยน้อยกว่าไปยังบริเวณที่มีค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยมากกว่า เมื่อได้ส่วนย่อยแต่ละส่วนแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ อธิบายส่วนย่อยแต่ละส่วนด้วยตัวอธิบายรูปร่างโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย[5] เมื่อเสร็จสิ้นในขั้นตอนนี้ จะได้กราฟอวัฏจักรของวัตถุสามมิติสี่บั่นที่มีการอธิบายส่วนย่อยแต่ละส่วนสมบูรณ์แล้ว ซึ่งกราฟดังกล่าวถูกนำมาเปรียบเทียบความเหมือนกับกราฟของวัตถุสามมิติอื่น ๆ ซึ่งบันทึกไว้ในขั้นตอนก่อนหน้าแล้ว โดยการเปรียบเทียบความเหมือนดังกล่าว ใช้การหากราฟย่อยสามัญที่ใหญ่ที่สุดในการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ





รูปที่ 3.1 ภาพรวมการเตรียมฐานข้อมูลสำหรับการคั่นที่ดิน



รูปที่ 3.2 ภาพรวมการทำงานของการทำงานการคั่นคั้นวัตถุสามมิติ

### 3.2 กระบวนการวิจัย

หัวข้อนี้นำเสนอกระบวนการสำหรับอัลกอริทึมการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน โดยใช้เรปกราฟและฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่าง ซึ่งกระบวนการสำหรับอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟ การอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ และการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ

#### 3.2.1 การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟ

การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟสามารถแบ่งได้ 6 ขั้นตอนได้แก่ การหาค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติ การแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยการแบ่งนับไม่เป็นเอกรูป การทำความสะอาดข้อมูลเพื่อปรับปรุงเรปกราฟ การปรับปรุงเรปกราฟโดยแบ่งนับระดับชั้นค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป การปรับปรุงเรปกราฟโดยรวมส่วนย่อยของวัตถุสามมิติที่มีมิติกรีกเท่ากัน และการระบุกราฟอวัฏจักรหรือระบุทิศทางให้กับเรปกราฟ

##### 3.2.1.1 การหาค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติ

ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุสามมิติคือ ค่าเฉลี่ยของระยะทางจีโอเดสิกจากจุดยอดฐานบนพื้นผิวไปยังจุดใด ๆ บนพื้นผิววัตถุสามมิติ ซึ่งวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอแทนจุดใด ๆ บนพื้นผิวของวัตถุสามมิติด้วยจุดยอดของเมชสามเหลี่ยมและแทนความต่อเนื่องของแต่ละจุดยอดด้วยเส้นเชื่อมของเมชสามเหลี่ยม การหาระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของแต่ละจุดยอด ทำได้โดยใช้สมการที่ 3.1

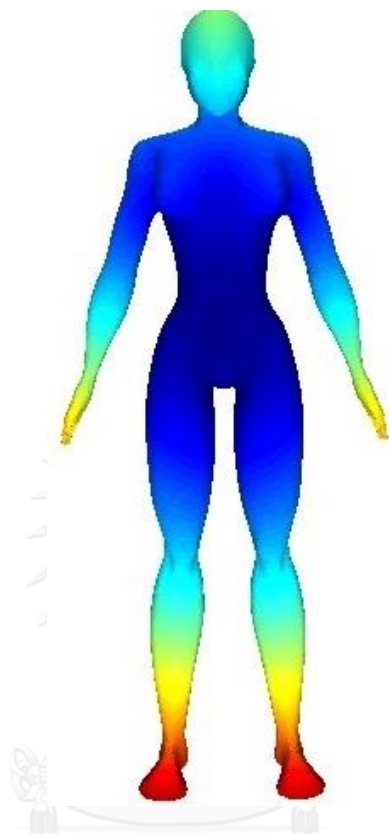
$$agd_i = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^n agd_{ij} \quad (3.1)$$

$agd_i$  คือ ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของจุดยอด  $i$

$agd_{ij}$  คือ ระยะทางจีโอเดสิกจากจุดยอดฐาน  $i$  ไปยังจุดยอด  $j$

$n$  คือ จำนวนจุดยอดฐานทั้งหมด

ตัวอย่างผลจากการคำนวณระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยสีแดงแสดงค่ามาก สีฟ้าแสดงค่าปานกลาง สีน้ำเงินแสดงค่าน้อย



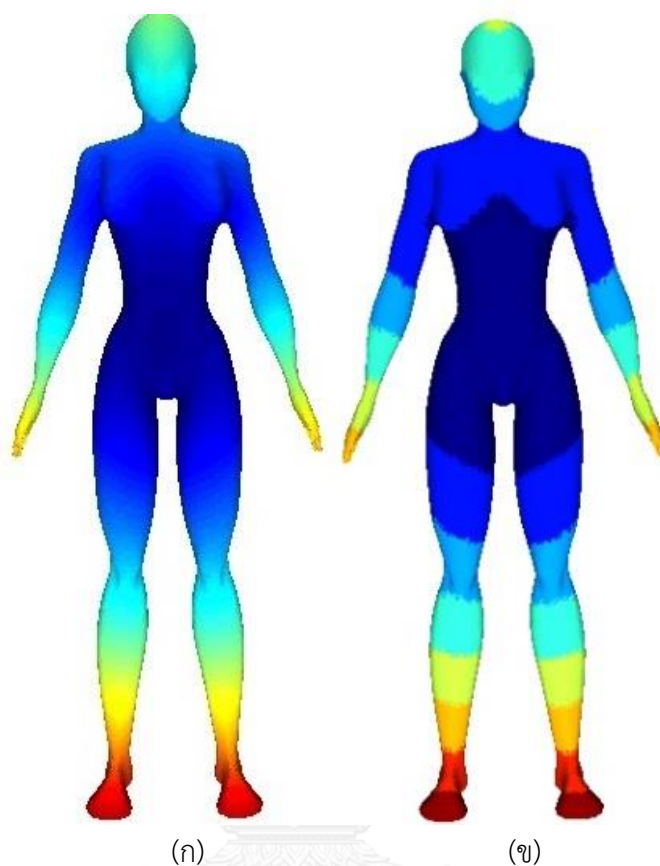
รูปที่ 3.3 ผลการแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.2.1.2 การแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยการแบ่งนับไม่เป็นเอกรูป

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเริ่มต้นการแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติ ออกเป็นระดับชั้นเท่า ๆ กัน ซึ่งระดับชั้นแต่ละชั้นที่แบ่งได้คือ ส่วนย่อยของวัตถุสามมิติแต่ละส่วน ตัวอย่างการแบ่งนับวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูปบนวัตถุสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.4(ข)





รูปที่ 3.4 ผลการแบ่งน้ําวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (ก)การแบ่งน้ําวัตถุสามมิติตามระยะทางจ็อเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งน้ําวัตถุสามมิติตามระยะทางจ็อเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูป

### 3.2.1.3 การทำความสะอาดข้อมูลเพื่อปรับปรุงเรปกราฟ

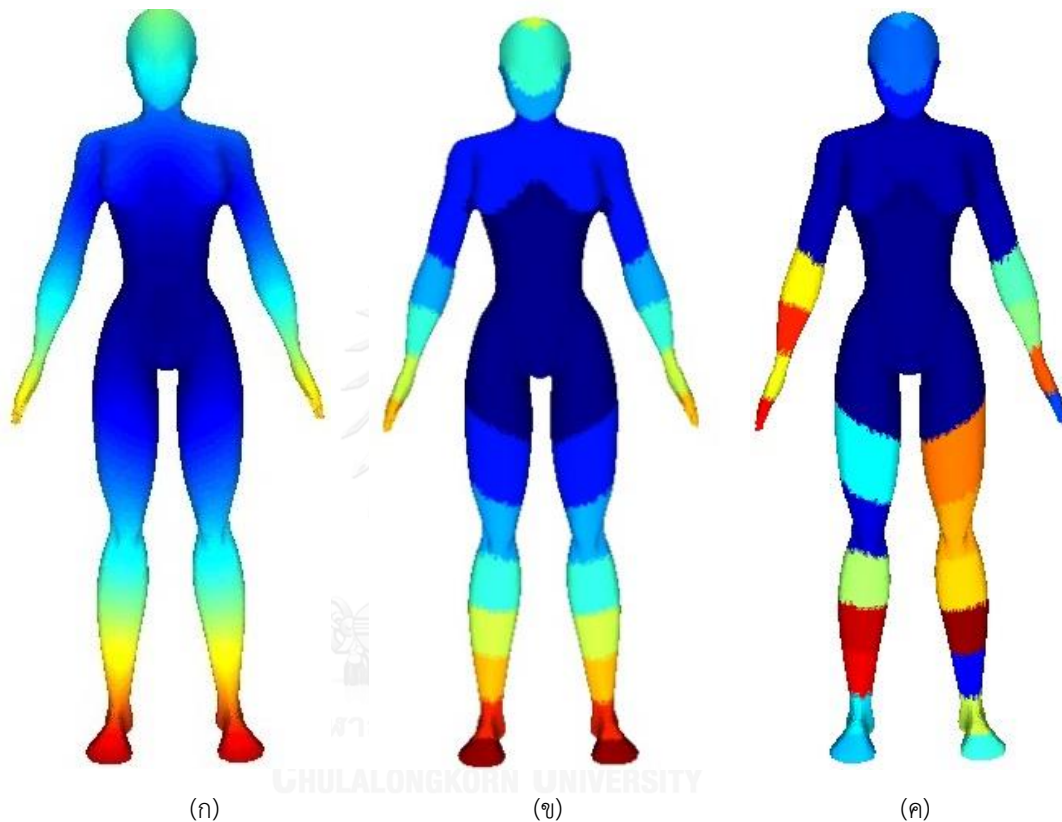
เนื่องจากขั้นตอนก่อนหน้าอาจมีจำนวนจุดยอดที่เป็นส่วนเกินหรือเป็นส่วนย่อยที่มีขนาดเล็กเกินความจำเป็นและไม่มีความหมายในตัวเอง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงหรือทำความสะอาดข้อมูล เพื่อลดส่วนย่อยที่เกิดจากความผิดพลาดเหล่านั้น ซึ่งส่วนย่อยที่ต้องการปรับปรุงนั้นมีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ โดยการทำความสะอาดข้อมูลจะทำการรวมส่วนย่อยที่มีขนาดเล็กกว่าค่าขีดแบ่งเข้ากับส่วนย่อยข้างเคียงที่มีขนาดใหญ่กว่าค่าขีดแบ่ง โดยจะวนซ้ำจนกว่าไม่มีส่วนย่อยที่มีขนาดเล็กกว่าค่าขีดแบ่ง โดยค่าขีดแบ่งในการทำความสะอาดข้อมูลสามารถหาได้ดังสมการที่ 3.2

$$r = 0.0005 \cdot \text{area}(S) \quad (3.2)$$

$r$  คือ ค่าขีดแบ่งในการทำความสะอาดข้อมูล

$\text{area}(S)$  คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของเมชสามเหลี่ยมบนวัตถุสามมิติ

ตัวอย่างผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.5(ค)

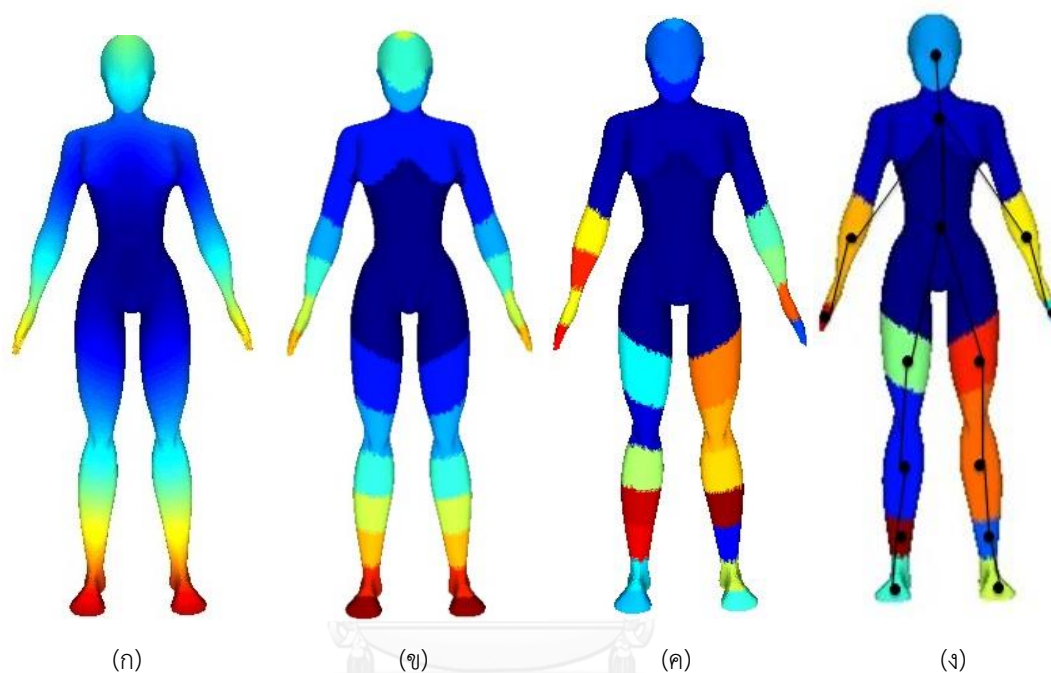


รูปที่ 3.5 ตัวอย่างผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูล (ก)การแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งน้บวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูป (ค)ผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูล

#### 3.2.1.4 การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งน้บระดับชั้นค้าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป

ในขั้นตอนการปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งน้บระดับชั้นค้าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูปจะรวมระดับชั้นให้้เป็นระดับชั้นที่้เหมาะสม โดยระดับชั้นที่้มีจำนวนส่วนย่อยที่้เท่ากันและอยู่ติดกันจะถูกรวมเข้าด้้วยกัน เพื่อให้้เหลือเฉพาะระดับชั้น

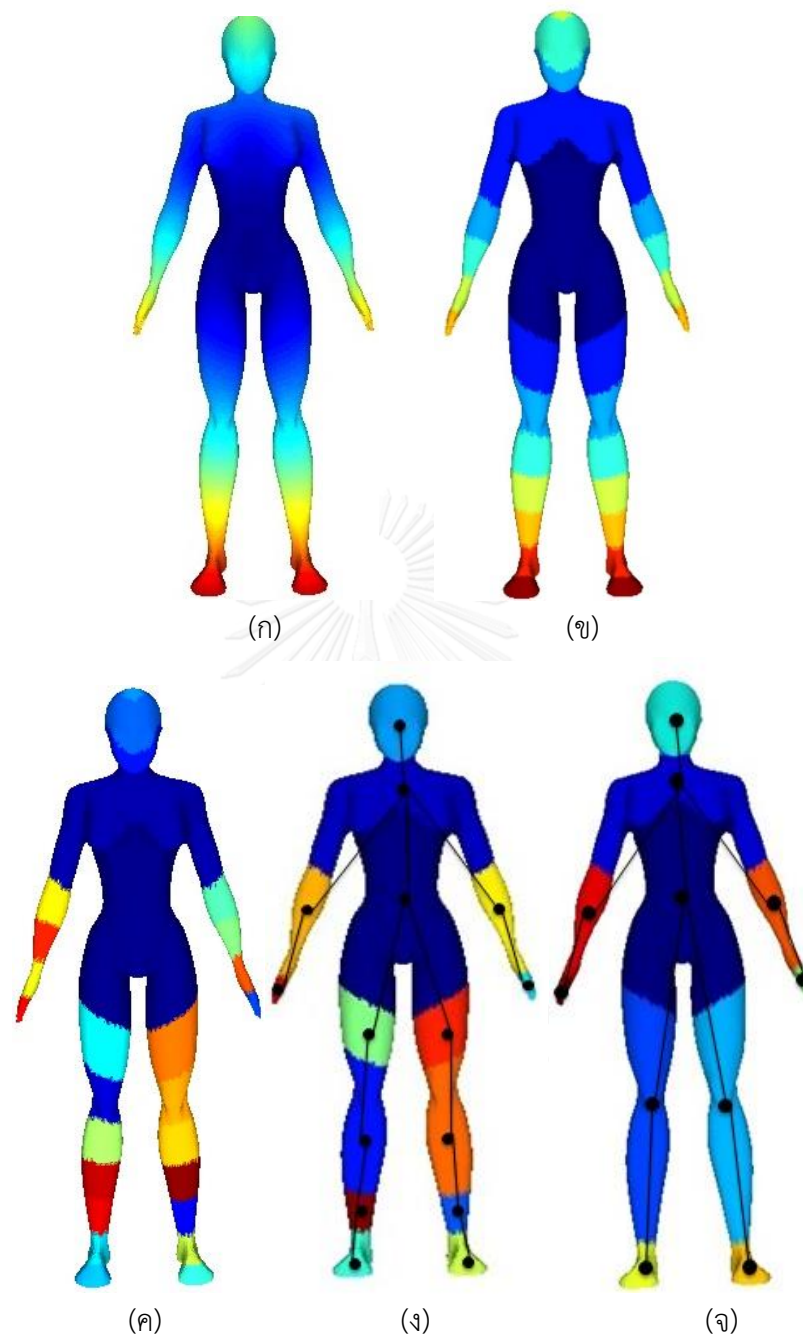
ที่มีความหมายในตัวเอง ขั้นตอนการปรับปรุงเรปกราฟโดยแบ่งน้บระดับชั้นค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกกรุปนั้น จะวนซ้ำจนกว่าไม่มีระดับชั้นที่ติดกันและมีส่วนย่อยที่เท่ากัน หลังจากวนซ้ำสมบูรณ์แล้วเรปกราฟของวัตถุสามมิติจะถูกสร้างขึ้น โดยจะถูกระบุจุดยอดด้วยจุดศูนย์กลางของส่วนย่อยแต่ละส่วน ซึ่งจุดยอดของเรปกราฟดังกล่าวจะแสดงส่วนย่อยแต่ละส่วนของวัตถุสามมิติ ซึ่งแสดงตัวอย่างผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.6(ง)



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างผลลัพธ์การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งน้บระดับชั้นตามค่าจีโอเดสิกบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกกรุป (ก)การแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งน้บวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกกรุป (ค)ผลลัพธ์ของการทำความสะอาดข้อมูล (ง)การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งน้บระดับชั้นตามค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกกรุป

### 3.2.1.5 การปรับปรุงเรปกราฟโดยการรวมส่วนย่อยของวัตถุสามมิติที่มีติกรีเท่ากัน

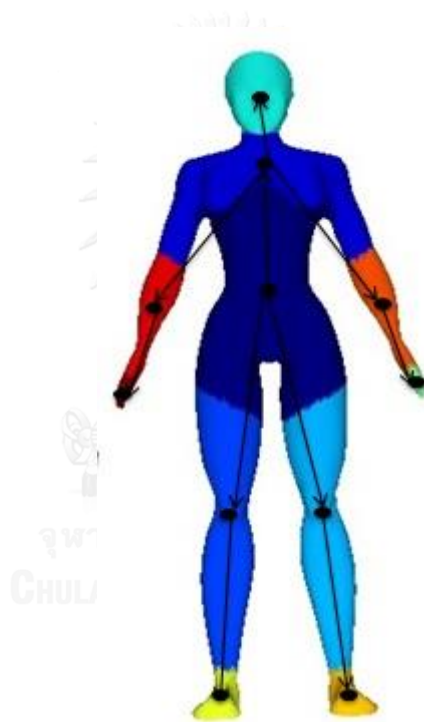
จากขั้นตอน 3.2.1.4 อาจจะมีจุดยอดหรือส่วนย่อยบางส่วนที่ไม่มีความหมายในตัวเองหรือยังสามารถรวมกับส่วนย่อยข้างเคียงได้ ดังนั้นขั้นตอนนี้จะทำการวนซ้ำอีกครั้ง เพื่อรวมจุดยอดของเรปกราฟที่ติดกันและมีติกรีเท่ากันเข้าด้วยกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากรูปนี้แสดงดังรูปที่ 3.7(จ)



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างผลลัพธ์การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งน้บระดับชั้นตามค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (ก)การแบ่งวัตถุสามมิติตามระยะทางแบบจีโอเดสิกเฉลี่ย (ข)การแบ่งน้บวัตถุสามมิติตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบไม่เป็นเอกรูป (ค)ผลลัพธ์ของการทำควมสะอาดข้อมูล (ง)การปรับปรุงเรปกราฟโดยการแบ่งน้บระดับชั้นตามค่าจีโอเดสิกบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป (จ)การปรับปรุงเรปกราฟโดยการรวมส่วนย่อยของวัตถุสามมิติที่มีดีกรีเท่ากัน

### 3.2.1.6 การระบุกราฟวัฏจักร

ในขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนการนำเสนอเรปกราฟให้อยู่ในรูปของกราฟวัฏจักรระบุทิศทาง โดยจะปรับปรุงให้เรปกราฟเป็นกราฟทิศทางเดียวไม่มีวงวน (Direct Acyclic Graph) เพื่อลดการคำนวณในขั้นตอนการหากราฟย่อยสามมิติที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ โดยการกำหนดทิศทางเส้นเชื่อม จะกำหนดให้มีทิศทางจากระดับชั้นที่มีค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยต่ำไปยังระดับชั้นที่มีค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยสูงกว่า ซึ่งตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ระบุทิศทางให้กับเรปกราฟ

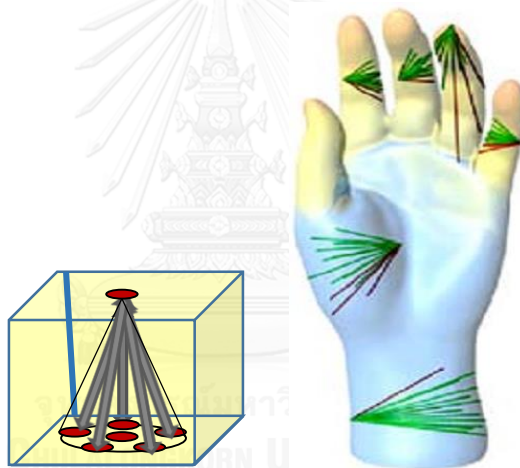
### 3.2.2 การอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ

ขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างตัวอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ ซึ่งใช้การรวมกันระหว่างค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ย[5]และระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของส่วนย่อยในลักษณะของฮิสโตแกรม 2 มิติ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้[1] โดยงานวิจัยดังกล่าวใช้ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบปกติ[20] ซึ่งทำให้มีผลกระทบด้านเวลา

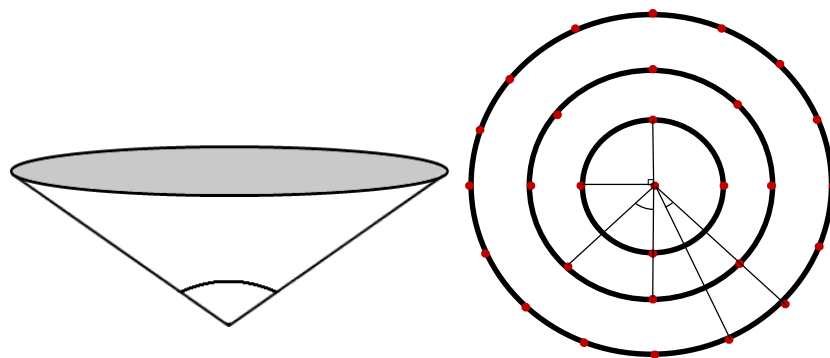
ค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ย[5] สามารถพัฒนาเพิ่มความเร็วในการคำนวณ เนื่องจากจะทำการเลือกคำนวณบนจุดยอดเพียงบางส่วนบนหน้าของเมชสามเหลี่ยมแล้วทำการเฉลี่ยให้กับส่วนย่อยแต่ละส่วน ผลที่ได้จากขั้นตอนดังกล่าวคือ กราฟอวัฏจักรระบุทิศทางแสดงส่วนย่อยที่มีการอธิบายส่วนย่อยแต่ละส่วนสมบูรณ์แล้ว

### 3.2.2.1 การหาค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยของวัตถุสามมิติ

ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ย สามารถหาได้โดยการยิงรังสีจากจุดยอดบนพื้นผิวในลักษณะทรงกรวย เพื่อไปตัดกับพื้นผิวด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 3.9 โดยในการยิงรังสีดังกล่าวจะยังเป็นจำนวน 30 เส้น ในลักษณะโคน 120 องศา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.10

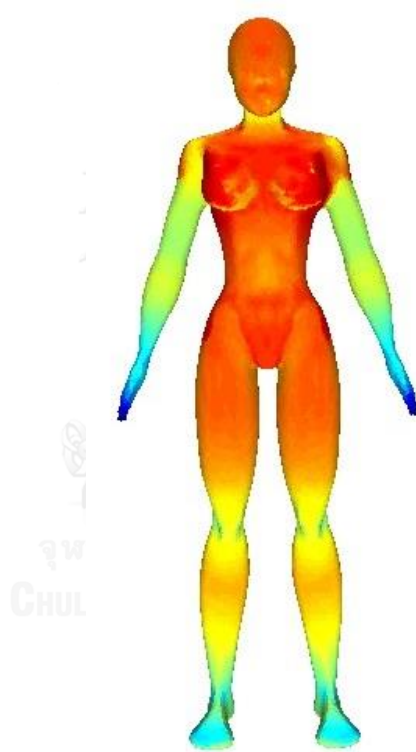


รูปที่ 3.9 การยิงเส้นรังสีในลักษณะกรวย[20]



รูปที่ 3.10 การยิงเส้นรังสีในลักษณะโคน 120 องศา

เนื่องจากการหาค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างของทุกจุดยอดบนพื้นผิวนั้นใช้เวลานาน ฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยจึงถูกนำมาใช้ เพื่อลดจำนวนครั้งในการคำนวณ โดยทำการสุ่มหน้าของเมชสามเหลี่ยมในแต่ละส่วนย่อยเพียง 40% จากหน้าของเมชสามเหลี่ยมทั้งหมดในส่วนย่อยนั้น ๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างที่หามาได้จากข้างต้น เพื่อนำมาเป็นค่าฟังก์ชันความหนาแบบเฉลี่ยของทั้งส่วนย่อยนั้น ๆ ซึ่งตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยที่แสดงถึงความหนาของวัตถุสามมิติ แสดงดังรูปที่ 3.11 โดยสีแดงแสดงค่ามาก สีเขียวแสดงค่าปานกลาง สีฟ้าแสดงค่าน้อย



รูปที่ 3.11 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติ

### 3.2.2.2 การกำหนดค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยสำหรับแต่ละส่วนย่อย

เนื่องจากในขั้นตอนก่อนหน้านี้ได้มีการคำนวณระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยไว้ก่อนแล้ว ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะนำค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยดังกล่าวมาแสดงในรูปแบบใหม่[1] โดยใช้สมการที่ 3.3



$$agd_j = \frac{agd_{ij} - agd_{min}^j}{agd_{max}^j - agd_{min}^j} \quad (3.3)$$

$agd_j$  คือ ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของส่วนย่อย  $j$

$agd_{ij}$  คือ ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของจุดยอด  $i$  ในส่วนย่อย  $j$

$agd_{min}^j$  คือ ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยน้อยสุดในส่วนย่อย  $j$

$agd_{max}^j$  คือ ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยมากสุดในส่วนย่อย  $j$

### 3.2.3 การเปรียบเทียบและวัดความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ

จากข้อมูลกราฟที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้า จะเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างกราฟของวัตถุสามมิติสี่คั่นกับทุก ๆ กราฟของวัตถุสามมิติอื่น ๆ ในฐานข้อมูล ด้วยการหากราฟย่อยสามมิติที่ใหญ่ที่สุดระหว่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเซตคำตอบของวัตถุสามมิติที่ใกล้เคียงกัน โดยถูกเรียงลำดับตามค่าความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติสี่คั่นและวัตถุอื่น ๆ ในฐานข้อมูล ซึ่งการเปรียบเทียบความเหมือนนั้น จะเปรียบเทียบความเหมือนเพื่อหาว่าวัตถุสามมิติที่มีส่วนย่อยที่เหมือนกันมากที่สุด และวัดความเหมือนโดยการเปรียบเทียบในแต่ละคู่จุดที่ถูกจับคู่ ซึ่งสามารถใช้สมการที่ 3.4 โดยในการวัดความเหมือน จะวัดความเหมือน 3 ด้านคือ ความเหมือนทางรูปร่างซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสองมิติ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.5 ความเหมือนทางทอพอโลยีและความเหมือนทางขนาดของส่วนย่อย

$$D(V_1, V_2) = \frac{w_1G + w_2S + w_3A}{w_1 + w_2 + w_3} \quad (3.4)$$

$D(V_1, V_2)$  คือ ค่าความเหมือนกันระหว่างจุดยอด  $V_1$  กับจุดยอด  $V_2$

$w_1, w_2, w_3$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของ  $G, S, A$  ตามลำดับ

$G$  คือ ความเหมือนกันทางรูปร่างซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสองมิติ

$S$  คือ ความเหมือนทางทอพอโลยี

$A$  คือ ความเหมือนทางขนาดของส่วนย่อย



$$\text{sim}(h_1, h_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (h_{1ij} - h_{2ij})^2} \quad (3.10)$$

$\text{sim}(h_1, h_2)$  คือ ค่าความเหมือนระหว่างฮิสโตแกรม  $h_1$  และ  $h_2$

$h_{1ij}$  คือ ค่าของฮิสโตแกรม  $h_1$  ในหลักที่  $i$  แถวที่  $j$

$h_{2ij}$  คือ ค่าของฮิสโตแกรม  $h_2$  ในหลักที่  $i$  แถวที่  $j$

$n$  คือ จำนวนหลักของฮิสโตแกรม

$m$  คือ จำนวนแถวของฮิสโตแกรม



## บทที่ 4

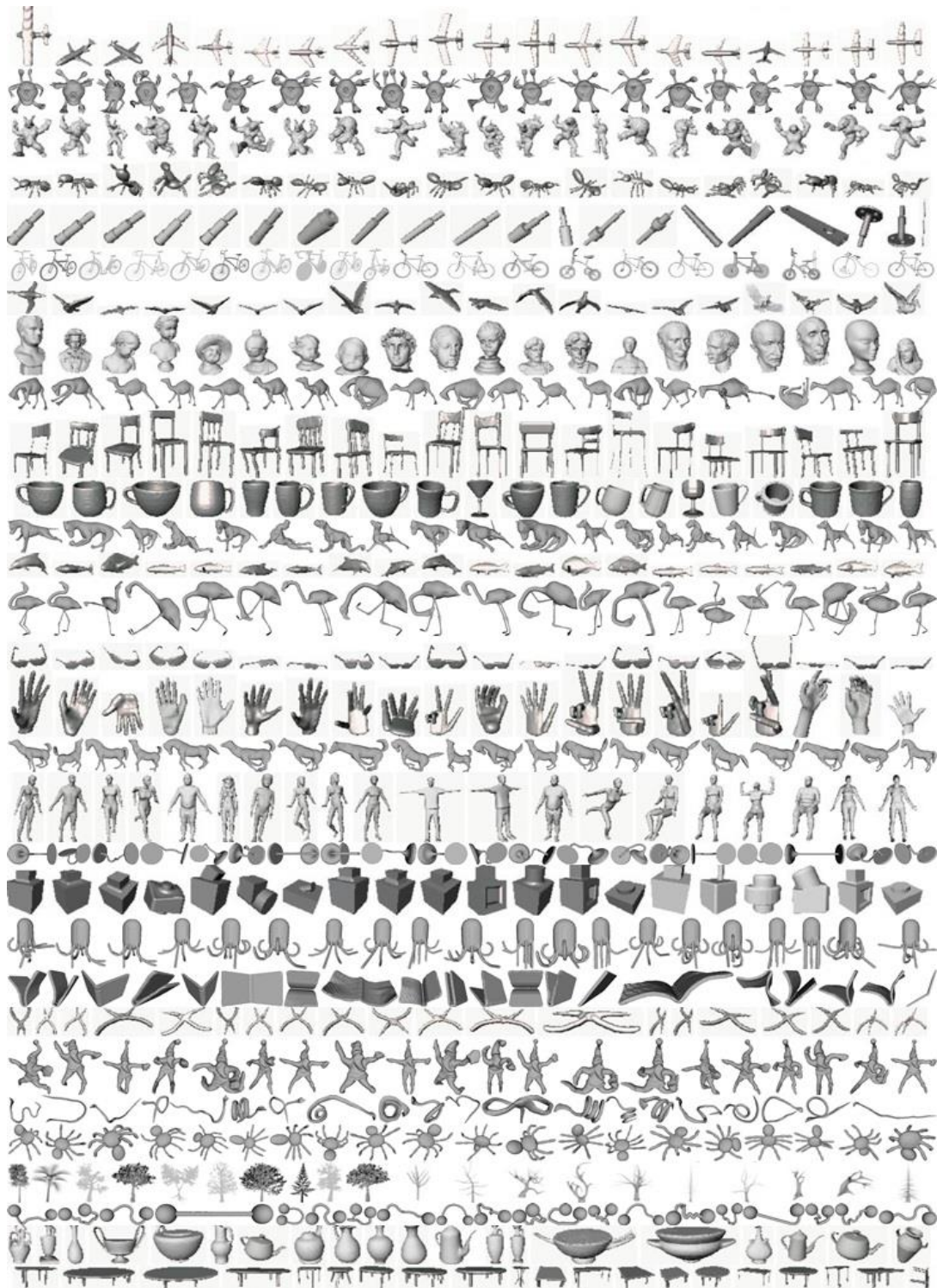
### การทดลองและวิเคราะห์ผล

บทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมไปถึงการวิเคราะห์ผลการทำงานของงานวิจัยที่นำเสนอ

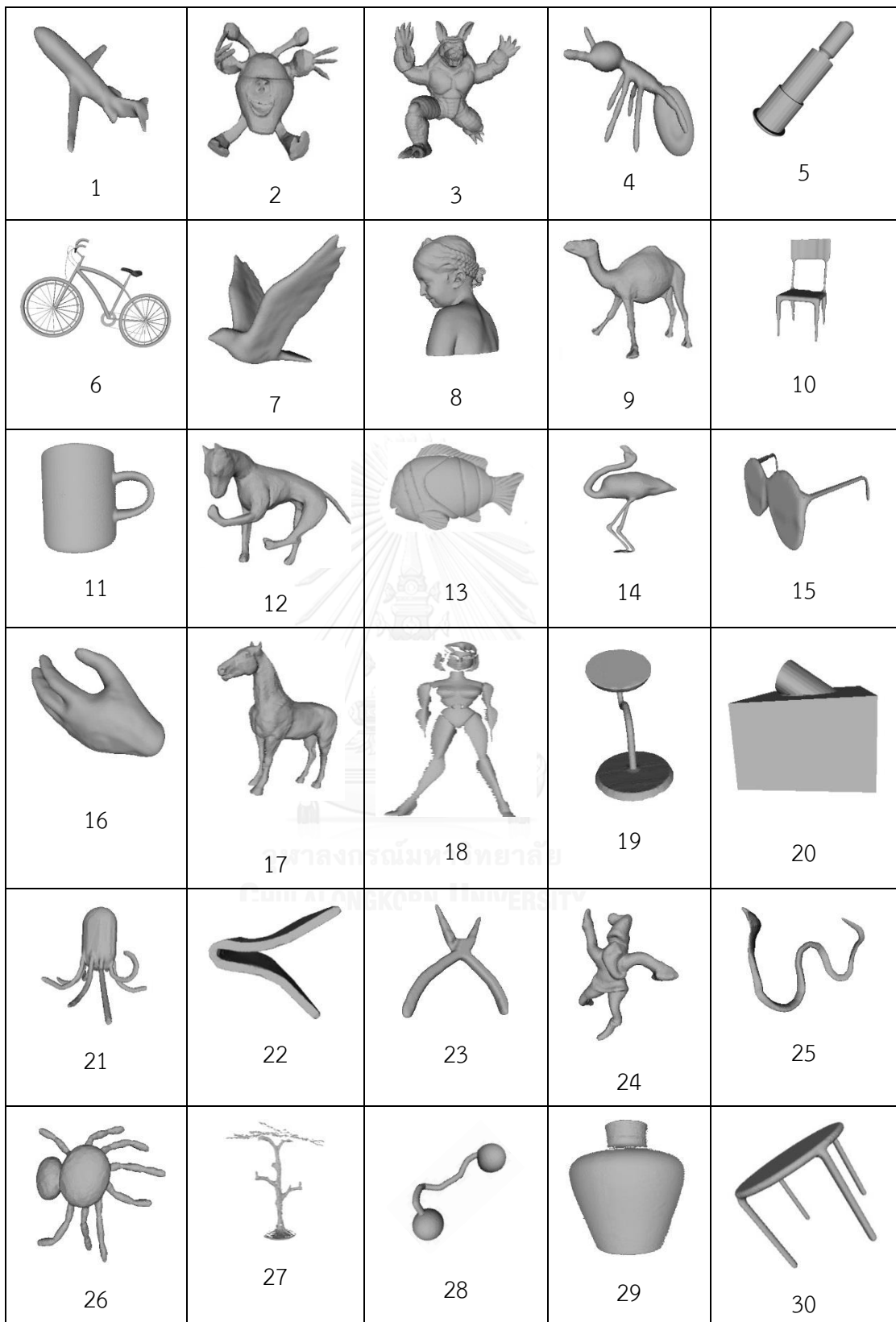
#### 4.1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมสำหรับทดสอบถูกพัฒนาด้วยภาษา C++ บนโปรแกรม Visual studio 2010 ซึ่งการทดสอบนี้ถูกประมวลผลบนหน่วยประมวลผล Intel Core i7 8 GHz หน่วยความจำ 1 TB ระบบปฏิบัติการ Windows 7

วัตถุสามมิติที่ใช้ทดสอบ นำมาจากฐานข้อมูลสำหรับการทดสอบการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วน ของการประกวดการค้นคืนวัตถุสามมิติ ซึ่งจัดโดยสมาคม AIM@SHAPE ในปี 2009[6] ซึ่งเป็นวัตถุสามมิติที่แสดงข้อมูลในรูปของเมชสามเหลี่ยม โดยแบ่งเขตข้อมูลเป็น 2 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วยเขตข้อมูลวัตถุสามมิติสำหรับการค้นคืนและเขตวัตถุสามมิติสืบค้น (Query) สำหรับเขตข้อมูลวัตถุสามมิติสำหรับการค้นคืนจะมีจำนวน 600 ชิ้น แบ่งเป็น 30 ประเภท ประเภทละ 20 ชิ้น และวัตถุสามมิติแต่ละประเภทจะประกอบไปด้วยวัตถุสามมิติในกลุ่มประเภทเดียวกันแต่มีท่าทางแตกต่างกัน ซึ่งวัตถุสามมิติทั้ง 30 ประเภทดังกล่าวประกอบไปด้วย เครื่องบิน, สัตว์ประหลาด 1, สัตว์ประหลาด 2, มด, ชิ้นส่วนเครื่องจักร, จักรยาน, นก 1, รูปปั้น, อูฐ, แก้อี, ถ้วย, สุนัข, ปลา, นก 2, แวนดา, มือ, ม้า, มนุษย์, โคมไฟ, กล้อง, ปลาหมึก, กระจดาช, คีม, ตุ๊กตาซานต้า, งู, แมงมุม, ต้นไม้, ลูกบอลสองลูก, แจกันและ โต๊ะ ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 สำหรับเขตวัตถุสามมิติสืบค้นจะเป็นวัตถุสามมิติที่เป็นตัวแทนจากแต่ละประเภท มีจำนวนทั้งหมด 30 ชิ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 วัตถุสามมิติที่ใช้ในการทดสอบ[6]



รูปที่ 4.2 วัตถุสามมิติสี่สิบคัน[6]

#### 4.2 การแบ่งประเภทวัสดุสามมิติเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพของงานวิจัย

การแบ่งประเภทวัสดุสามมิติเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพของงานวิจัยนั้นแบ่งตามความซับซ้อนของวัสดุสามมิติ ซึ่งความซับซ้อนของวัสดุสามมิตินั้นจะแสดงถึงรายการของวัสดุสามมิติ ยิ่งมีรายการมากจะถือว่ามีความซับซ้อนมาก และแบ่งตามการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัสดุสามมิติ โดยสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้ วัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก[6] วัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย[6] วัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมากและวัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย โดยการแบ่งประเภทวัสดุสามมิติเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพของงานวิจัยสามารถแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปวัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก รูปวัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย รูปวัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมากและรูปวัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย แสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.6 ตามลำดับ

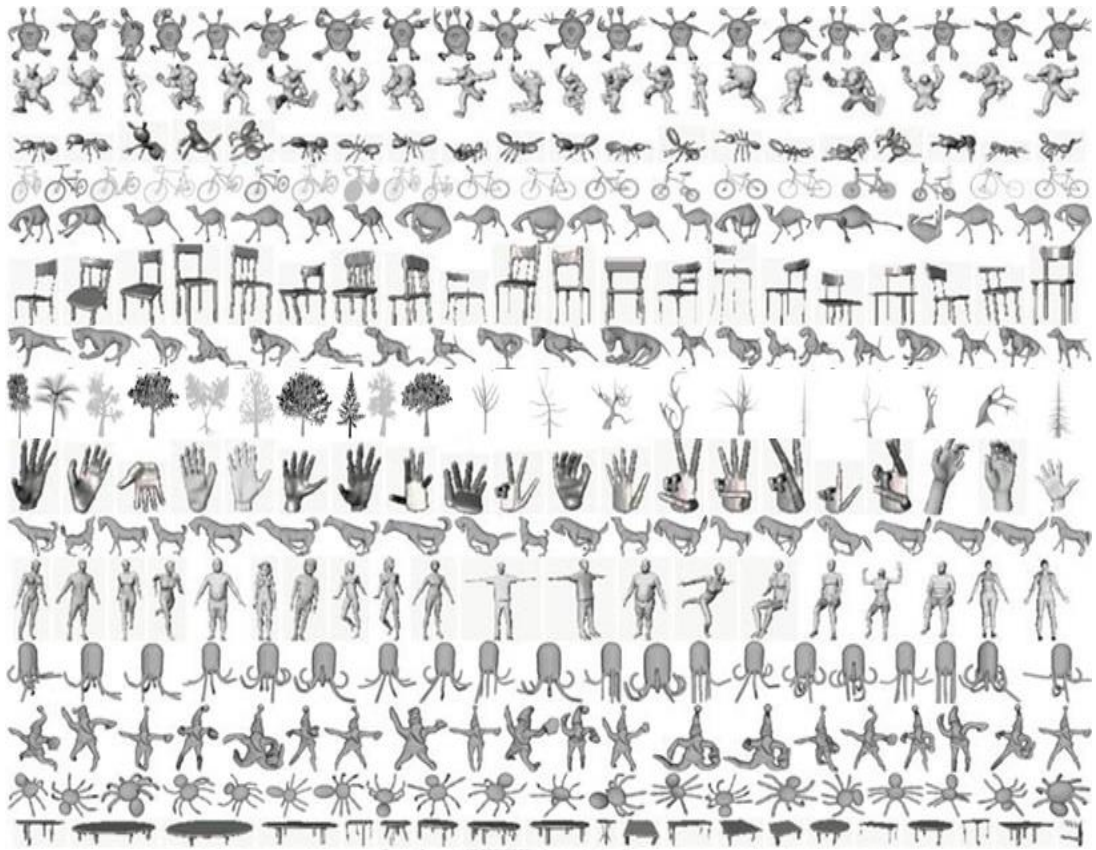
**ตารางที่ 4.1** การแบ่งประเภทวัสดุสามมิติเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพของงานวิจัย

ประเภทวัสดุสามมิติ	รายชื่อวัสดุสามมิติ	จำนวนประเภทวัสดุสามมิติ (ประเภท)
วัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก	สัตว์ประหลาด 1, สัตว์ประหลาด 2, มด, อูฐ, แก้ว, นก 2, สุนัข, ม้า, มนุษย์, ปลาหมึก, ตุ๊กตาชานดำ, แมงมุม, โด๊ะ, จักรยาน	15
วัสดุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย	เครื่องบิน, ชิ้นส่วนเครื่องจักร, นก 1, รูปปั้น, ปลา, แว่นตา, โคมไฟ, กล้อง, กระจดาช, คีม, งู, ต้นไม้, ลูกบอลสองลูก, แจกัน, ถ้วย	15

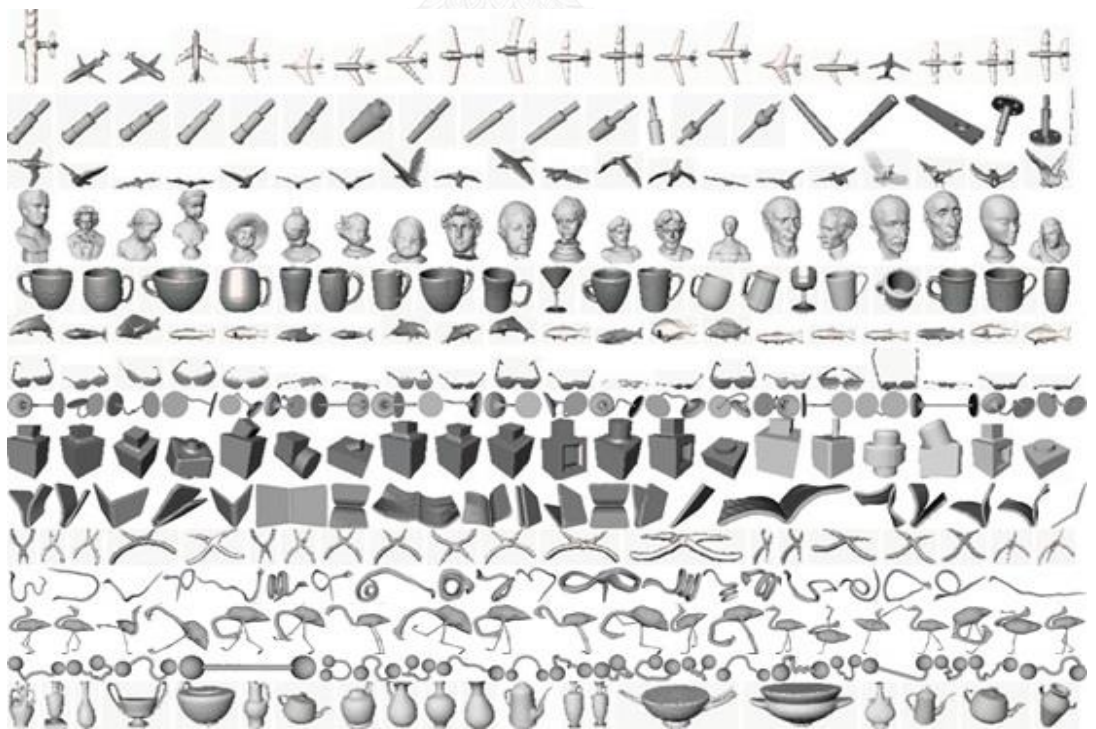
ตารางที่ 4.1 การแบ่งประเภทวัสดุสามมิติเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพของงานวิจัย (ต่อ)

ประเภทวัสดุสามมิติ	รายชื่อวัสดุสามมิติ	จำนวนประเภทวัสดุสามมิติ (ประเภท)
วัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมาก	สัตว์ประหลาด 1, สัตว์ประหลาด 2, มด, อูฐ, นก 2, สุนัข, ม้า, มนุษย์, ตึกตาชานต้า, แมงมุม, คีม, กระดาษ, รูก, ลูกบอลสองลูก	15
วัสดุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย	เครื่องบิน, ชิ้นส่วนเครื่องจักร, นก 1, รูปปั้น, ปลา, แวนตา, โคมไฟ, กล้อง, ต้นไม้, แจกัน, ปลาหมึก, แก้ว, ถ้วย, โต๊ะ, จักรยาน	15





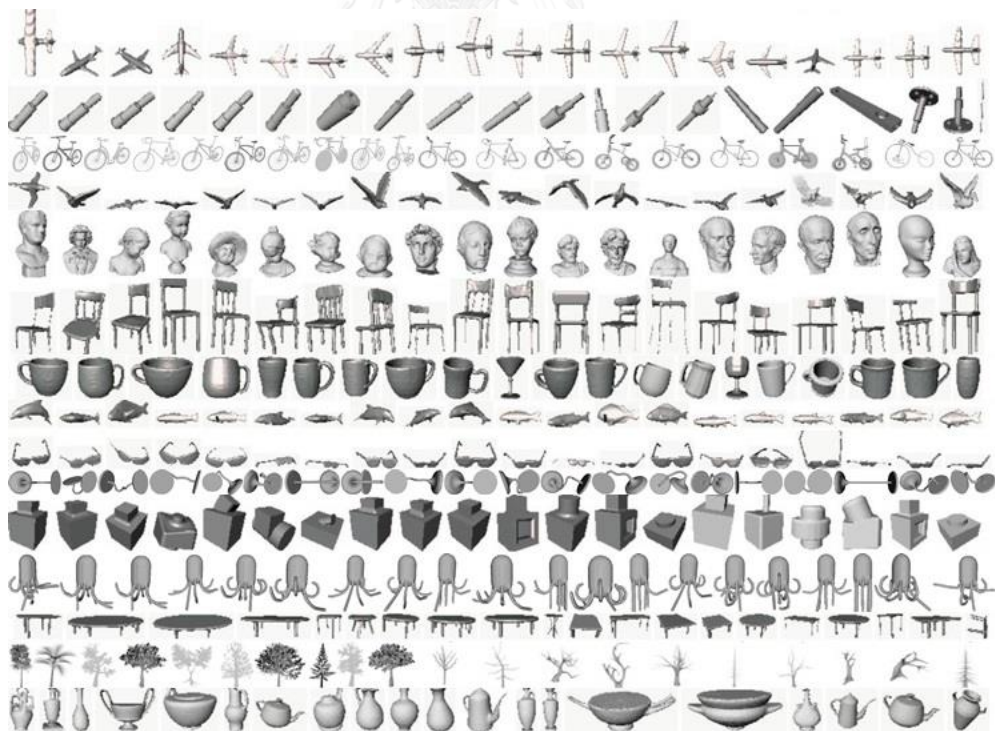
รูปที่ 4.3 วัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก



รูปที่ 4.4 วัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย



รูปที่ 4.5 วัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมาก



รูปที่ 4.6 วัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย



### 4.3 การทดสอบประสิทธิผล

การทดสอบประสิทธิผลนั้นเป็นการทดสอบเพื่อบ่งบอกถึงความแม่นยำหรือความถูกต้องในการค้นคืนวัตถุสามมิติจากการใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยผลจากการทดสอบที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า [1, 21]

#### 4.3.1 วิธีการทดสอบประสิทธิผล

การทดสอบประสิทธิผลสำหรับงานวิจัยนั้นจะนำวัตถุสามมิติสำหรับการทดสอบทั้ง 600 ชิ้นมาค้นคืนด้วยเซตของวัตถุสามมิติสืบค้นทั้ง 30 ชิ้น โดยการทดสอบประสิทธิผลของงานวิจัยนั้นจะแบ่งเป็น 6 ส่วนได้แก่ การทดสอบประสิทธิผลโดยรวมของการค้นคืนทุกประเภท การทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนแต่ละประเภท การทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก การทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย การทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมากและการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย

การทดสอบประสิทธิผลโดยรวมของการค้นคืนทุกประเภทนั้น สามารถดูจากค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Mean Average Precision) โดยได้มาจากการนำค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของทุก ๆ การค้นคืนในแต่ละประเภทมารวมและเฉลี่ยกัน ณ ทุก ๆ ค่าการเรียกคืนที่เท่ากัน

การทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนแต่ละประเภทนั้นดูจากค่าเฉลี่ยความแม่นยำเช่นกัน แต่ได้มาจากการนำค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของทุก ๆ การค้นคืน ในหมวดหมู่หรือประเภทที่จัดไว้มารวมและเฉลี่ยกัน ณ ทุก ๆ ค่าการเรียกคืนที่เท่ากัน

### 4.4 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

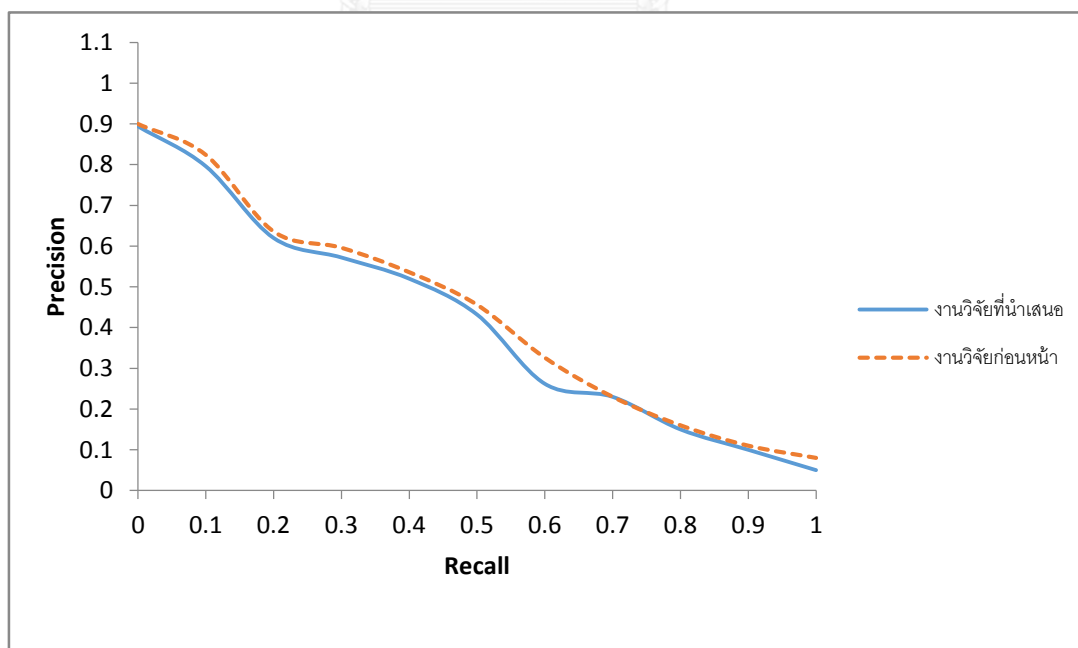
การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอ นั้น จะทดสอบโดยดูจากเวลาในการคำนวณที่ใช้ในการค้นคืนวัตถุสามมิติจากฐานข้อมูล การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอ นั้นสามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนหลักของงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟ การอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ และการวัดความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ

#### 4.5 ผลการทดสอบประสิทธิผล

ผลการทดสอบประสิทธิผลของงานวิจัยนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 6 ส่วนได้แก่ ผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวม ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนแต่ละประเภท ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย ผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมากและผลการทดสอบประสิทธิผลการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย

##### 4.5.1 ผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวม

ผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวมของงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.7 โดยผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวมของงานวิจัยจะถูกเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า[1] โดยรูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวม ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall) โดยงานวิจัยที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 0.447 และงานวิจัยก่อนหน้า[1]มีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 0.462



รูปที่ 4.7 กราฟผลการทดสอบประสิทธิผลโดยรวม

#### 4.5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนแต่ละประเภท

เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดจึงแบ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนแต่ละประเภทเป็น 5 กราฟ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.8 รูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 โดยค่าความแม่นยำเฉลี่ยของวัตถุสามมิติแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพแต่ละประเภทของ เครื่องบิน, สัตว์ประหลาด 1, สัตว์ประหลาด 2, มด, ชิ้นส่วนเครื่องจักร และจักรยาน ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)

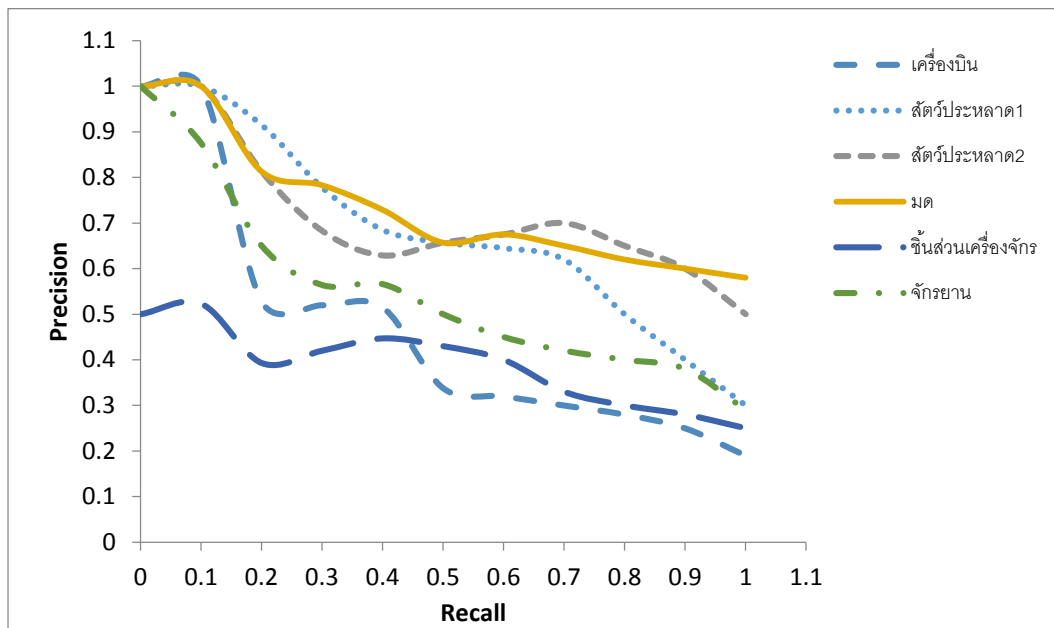
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพแต่ละประเภทของ นก 1, รูปปั้น, อูฐ, แก้อี้, ถ้วย และสุนัข ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)

รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพแต่ละประเภทของ ปลา, นก 2, แวนดา, มือ, ม้า และมนุษย์ ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)

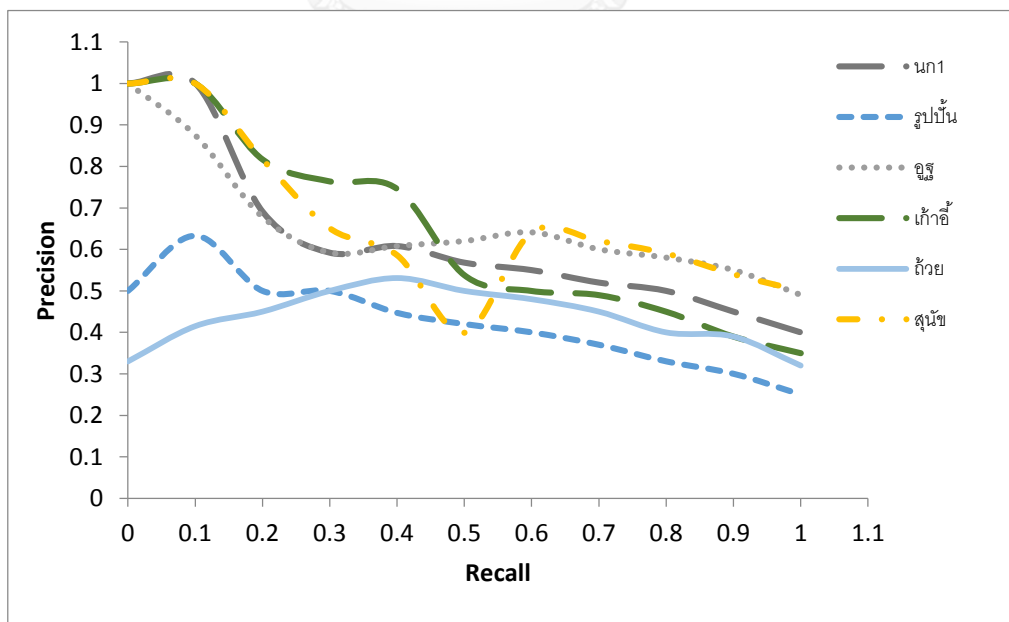
รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพแต่ละประเภทของ โคมไฟ, กล้อง, ปลาหมึก, กระจดาซ, คีม และตุ๊กตาชานดำ ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)

รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของ งู, แมงมุม, ต้นไม้, ลูกบอลสองลูก, แจกัน และโต๊ะ ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)

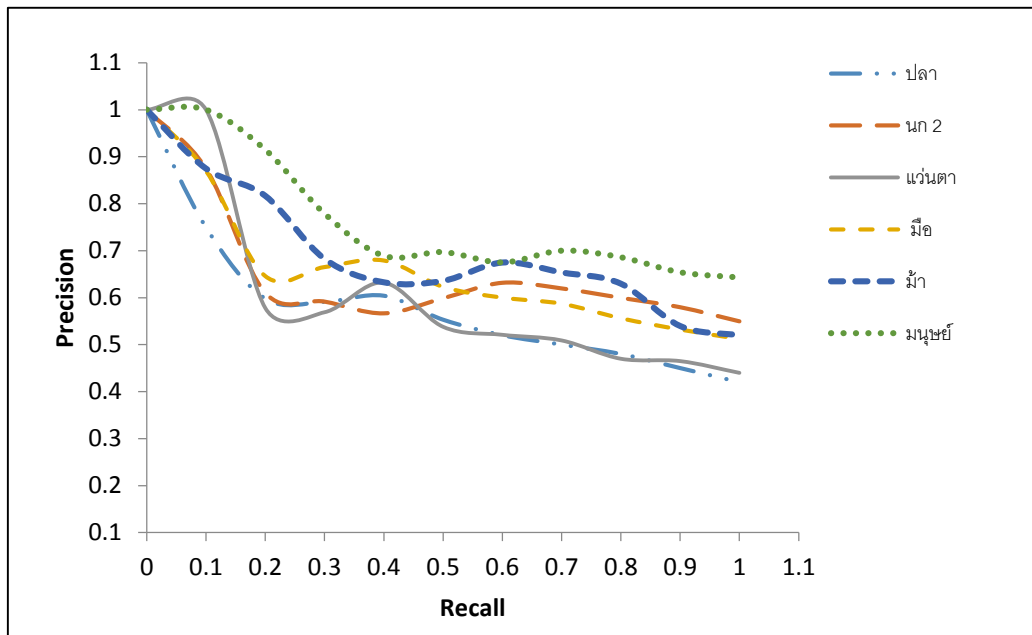
ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของวัตถุสามมิติทั้ง 30 ประเภทแสดงในตารางที่ 4.2 โดยค่าความแม่นยำเฉลี่ยของแต่ละประเภทในตารางที่ 4.2 นั้นถูกนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า[1]



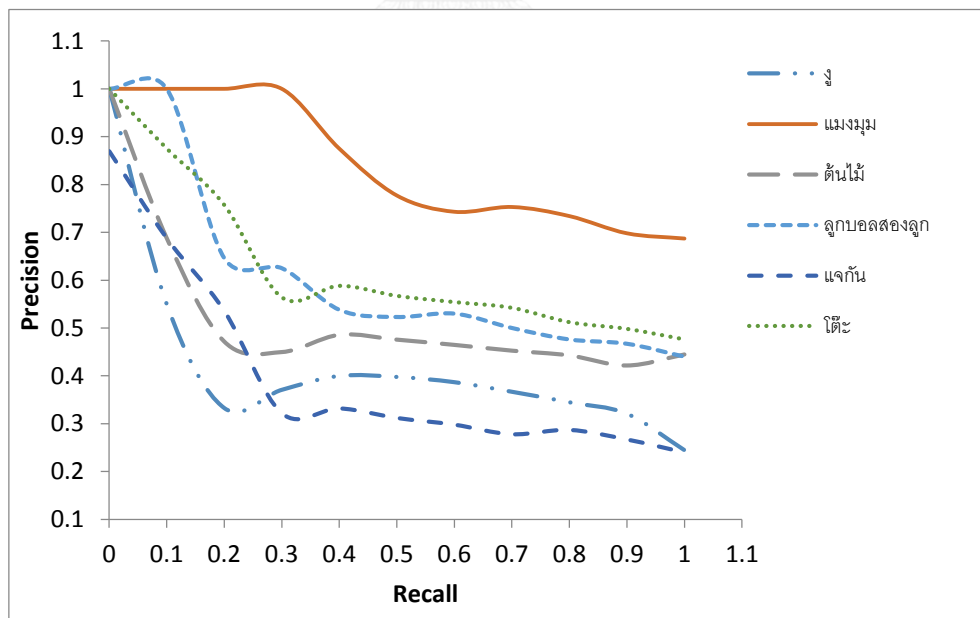
รูปที่ 4.8 กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละประเภทของ เครื่องบิน, สัตว์ประหลาด 1, สัตว์ประหลาด 2, มด, ชิ้นส่วนเครื่องจักร และจักรยาน



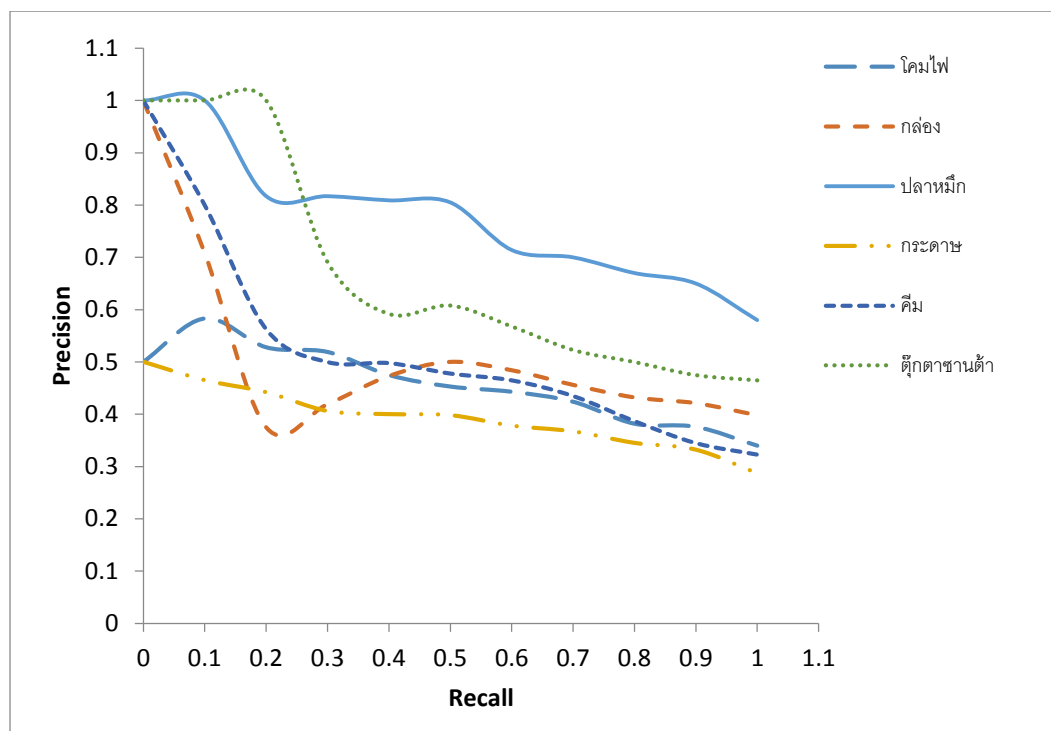
รูปที่ 4.9 กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละประเภทของ นก 1, รูปปั้น, อุฐ, แก้ว, ถ้วย และสุนัข



รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละประเภทของ ปลา,นก 2,แว่นตา,มือ,ม้า และมนุษย์



รูปที่ 4.11 กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละประเภทของ ข้าว,กลอง,ปลาหมึก,กระดาด,คีม และตุ๊กตาซานต้า



รูปที่ 4.12 กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละประเภทของ งู,แมงมุม,ต้นไม้,ลูกบอลสองลูก,แจกัน และโต๊ะ

ตารางที่ 4.2 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติทั้ง 30 ประเภท

ลำดับ ที่	ประเภทของ วัตถุสามมิติ	ค่าความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
1.	เครื่องบิน	0.368	0.396
2.	สัตว์ประหลาด 1	0.64	0.64
3.	สัตว์ประหลาด 2	0.616	0.626
4.	มด	0.716	0.730
5.	ชิ้นส่วนเครื่องจักร	0.228	0.338
6.	จักรยาน	0.416	0.449
7.	นก 1	0.506	0.514

ตารางที่ 4.2 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติทั้ง 30 ประเภท (ต่อ)

ลำดับ ที่	ประเภทวัตถุสามมิติ	ค่าความแม่นยำ	
		งานที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
8.	รูปปั้น	0.258	0.269
9.	อูฐ	0.501	0.529
10.	เก้าอี้	0.487	0.508
11.	ถ้วย	0.273	0.321
12.	สุนัข	0.529	0.529
13.	ปลา	0.409	0.415
14.	นก 2	0.458	0.458
15.	แว่นตา	0.44	0.449
16.	มือ	0.508	0.537
17.	ม้า	0.531	0.547
18.	มนุษย์	0.64	0.703
19.	คอมพิวเตอร์	0.261	0.294
20.	กล่อง	0.348	0.374
21.	ปลาหมึก	0.666	0.70
22.	กระดาด	0.221	0.240
23.	คีม	0.339	0.35
24.	ตุ๊กตาชานด้า	0.506	0.514
25.	งู	0.265	0.338
26.	แมงมุม	0.73	0.74

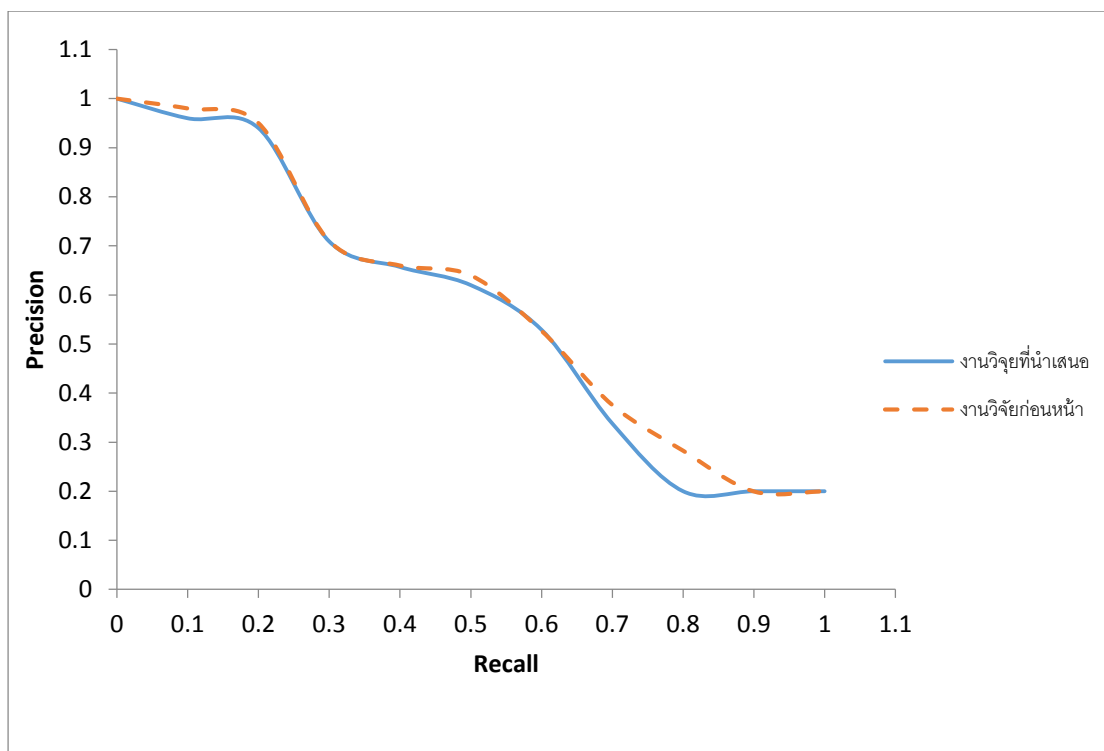
ตารางที่ 4.2 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติทั้ง 30 ประเภท (ต่อ)

ลำดับ ที่	ประเภทวัตถุสามมิติ	ค่าความแม่นยำ	
		งานที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
27.	ต้นไม้	0.359	0.435
28.	ลูกบอลสองลูก	0.444	0.492
29.	แจกัน	0.249	0.287
30.	โต๊ะ	0.495	0.501

#### 4.5.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก แสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดง การเรียกคืน (Recall) และตารางที่ 4.3 แสดงค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มี ความซับซ้อนมากแต่ละประเภท โดยจากผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มี ความซับซ้อนมากในรูปที่ 4.13 แสดงว่างานวิจัยที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำเป็น 0.563 และ งานวิจัยก่อนหน้า[1]มีค่าความแม่นยำเป็น 0.572





รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก

ตารางที่ 4.3 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก

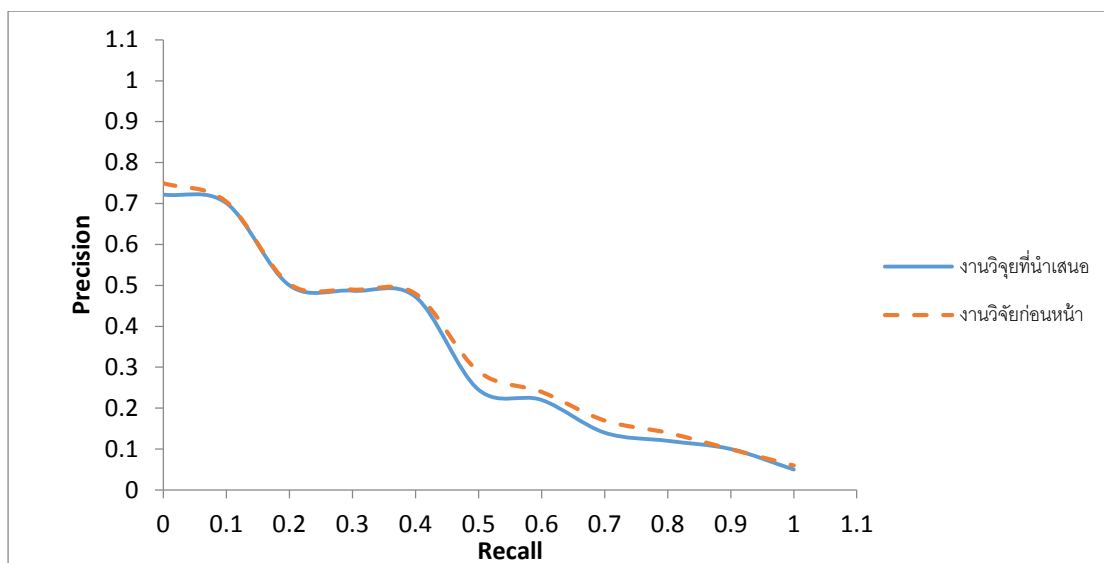
ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสามมิติ	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
1.	สัตว์ประหลาด 1	0.64	0.64
2.	สัตว์ประหลาด 2	0.616	0.626
3.	จักรยาน	0.416	0.449
4.	มด	0.716	0.730
5.	อูฐ	0.501	0.529
6.	เก้าอี้	0.487	0.508
7.	นก 2	0.458	0.458
8.	สุนัข	0.529	0.529

ตารางที่ 4.3 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก (ต่อ)

ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสามมิติ	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
9.	มือ	0.508	0.529
10.	ม้า	0.531	0.508
11.	มนุษย์	0.64	0.537
12.	ตุ๊กตาซานต้า	0.506	0.514
13.	ปลาหมึก	0.666	0.70
14.	โต๊ะ	0.495	0.501
15.	แมงมุม	0.73	0.74

#### 4.5.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย แสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดง การเรียกคืน (Recall) และตารางที่ 4.4 แสดงค่าความแม่นยำเฉลี่ยของวัตถุสามมิติประเภทที่มีความ ซับซ้อนน้อยแต่ละประเภท โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพในรูปที่ 4.14 ถูกเปรียบเทียบกับงานวิจัย ก่อนหน้า[1] รวมไปถึงค่าความแม่นยำเฉลี่ยในตารางที่ 4.4 ซึ่งงานวิจัยที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำของ วัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อยเป็น 0.332 และงานวิจัยก่อนหน้า[1] มีค่าความแม่นยำ เป็น 0.355



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย

ตารางที่ 4.4 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อยแต่ละประเภท

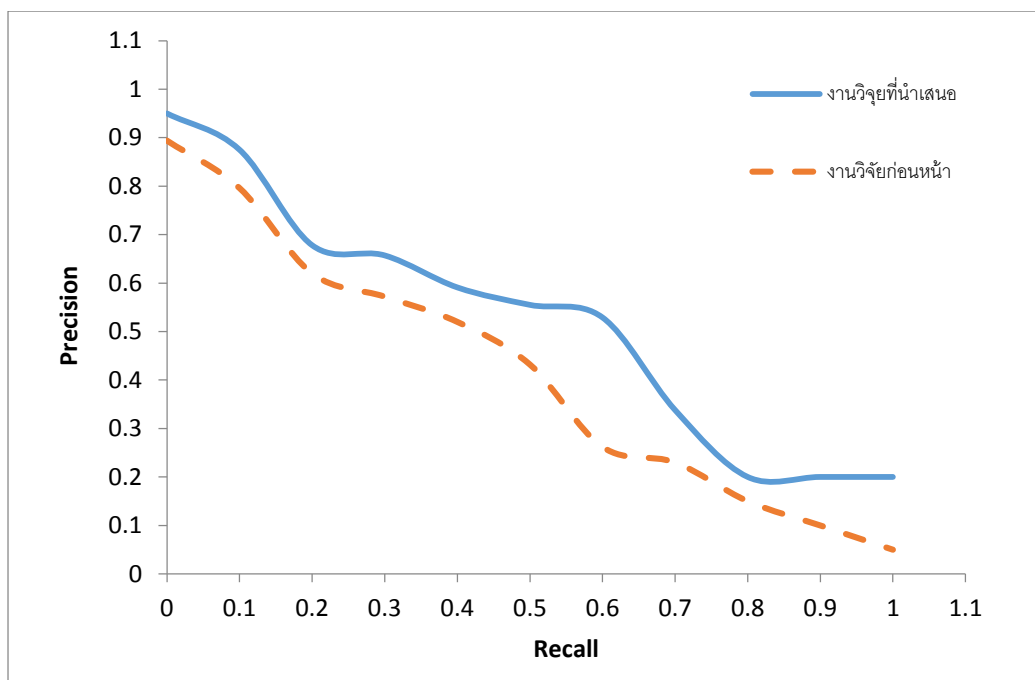
ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสามมิติ	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
1.	เครื่องบิน	0.368	0.396
2.	ชิ้นส่วนเครื่องจักร	0.228	0.338
3.	นก 1	0.506	0.514
4.	รูปปั้น	0.258	0.269
5.	ปลา	0.409	0.415
6.	แว่น	0.44	0.449
7.	คอมพิวเตอร์	0.261	0.294
8.	กล่อง	0.348	0.374
9.	กระดาษ	0.221	0.240
10.	คีม	0.339	0.35

ตารางที่ 4.4 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อยแต่ละประเภท (ต่อ)

ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสามมิติ	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
11.	สูง	0.265	0.338
12.	ต้นไม้	0.359	0.435
13.	ลูกบอลสองลูก	0.444	0.492
14.	แจกัน	0.249	0.287
15.	ถ้วย	0.273	0.321

#### 4.5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลง ท่าทางมาก

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมากแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall) และตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมากแต่ละประเภท โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพผลในรูปที่ 4.15 ถูกเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า[21] รวมไปถึงค่าความแม่นยำเฉลี่ยในตารางที่ 4.5 ซึ่งงานวิจัยที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเป็น 0.524 และงานวิจัยก่อนหน้า[21] มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเป็น 0.413



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมาก

ตารางที่ 4.5 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมาก

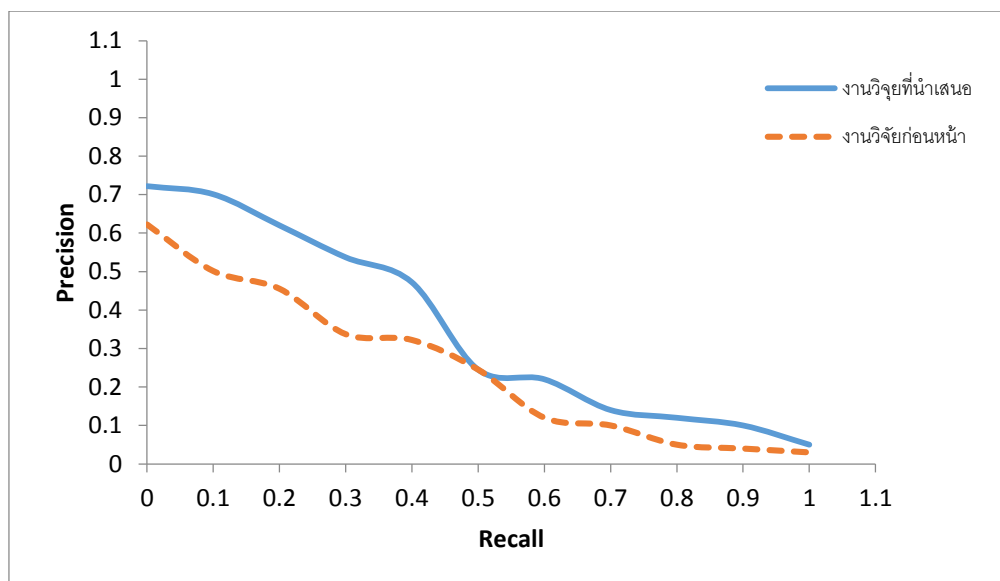
ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสาม มิติ	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่น่าเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
1.	สัตว์ประหลาด 1	0.64	0.546
2.	สัตว์ประหลาด 2	0.616	0.532
3.	มด	0.716	0.653
4.	อูฐ	0.501	0.421
5.	นก 2	0.458	0.443
6.	สุนัข	0.529	0.509
7.	มือ	0.508	0.510
8.	ม้า	0.531	0.487
9.	มนุษย์	0.64	0.498

ตารางที่ 4.5 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมาก (ต่อ)

ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสาม มิติ	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
10.	ตุ๊กตาซานต้า	0.506	0.473
11.	แมงมุม	0.73	0.643
12.	คีม	0.339	0.295
13.	กระดาษ	0.221	0.195
14.	งู	0.265	0.208
15.	ลูกบอลสองลูก	0.444	0.378

#### 4.5.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อยแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall) และตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อยแต่ละประเภท โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพผลในรูปที่ 4.16 ถูกเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า[21] รวมไปถึงค่าความแม่นยำเฉลี่ยในตารางที่ 4.6 ซึ่งงานวิจัยที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเป็น 0.421 และงานวิจัยก่อนหน้า[21]มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเป็น 0.386



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย

ตารางที่ 4.6 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย

ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสามมิติ	ค่าความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
1.	เครื่องบิน	0.378	0.365
2.	ชิ้นส่วนเครื่องจักร	0.228	0.208
3.	นก 1	0.506	0.496
4.	รูปปั้น	0.258	0.220
5.	ปลา	0.409	0.374
6.	แว่น	0.440	0.421
7.	คอมพิวเตอร์	0.261	0.242
8.	กล่อง	0.348	0.374
9.	ต้นไม้	0.359	0.320
10.	แจกัน	0.249	0.205

ตารางที่ 4.6 ค่าความแม่นยำของวัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อย (ต่อ)

ลำดับ ที่	ประเภทของวัตถุสามมิติ	ค่าความแม่นยำ	
		งานวิจัยที่นำเสนอ	งานวิจัยก่อนหน้า
11.	กระดาษ	0.221	0.208
12.	ปลาหมึก	0.666	0.593
13.	แก้ว	0.487	0.434
14.	โต๊ะ	0.495	0.398
15.	จักรยาน	0.416	0.449

#### 4.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาสามารถแบ่งได้ 3 ส่วนตามขั้นตอนของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอ โดยประกอบไปด้วย ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟ ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ และผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ โดยค่าความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของแต่ละขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7

นอกจากนี้จากการทดสอบการค้นคืนวัตถุสามมิติทำให้ทราบว่าในการค้นคืนวัตถุสามมิติแต่ละขั้นนั้นใช้เวลาเฉลี่ยเป็น 7.223 วินาที ในขณะที่งานวิจัยก่อนหน้า[1] ใช้เวลาในการค้นคืนวัตถุสามมิติแต่ละขั้นนั้นใช้เวลาเฉลี่ยเป็น 18.04 วินาที โดยเวลาที่ใช้ค้นคืนวัตถุสืบค้นแต่ละขั้นแสดงดังตารางที่ 4.8

##### 4.6.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วย

###### เรปกราฟ

เนื่องจากขั้นตอนการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนย่อย ดังนั้นผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟจะแบ่งออกเป็น 6 ส่วนตามขั้นตอนดังกล่าว ซึ่งประกอบไปด้วย ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของ



การหาค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติ ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยการแบ่งนับแบบไม่เป็นเอกรูป ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อปรับปรุงเรปกราฟ ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการปรับปรุงเรปกราฟโดยแบ่งนับระดับชั้นค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการปรับปรุงเรปกราฟโดยรวมส่วนย่อยของวัตถุสามมิติที่มีตีกีเท่ากัน และผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการระบุกราฟอวัฏจักร

#### 4.6.1.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการหาค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติ

ขั้นตอนการหาค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยบนวัตถุสามมิติ มีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n \log n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดฐานของเมชสามเหลี่ยมบนวัตถุสามมิติ

ประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากการหาค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยจากจุดยอดฐานไปยังทุก ๆ จุดยอด ซึ่งจะคำนวณเป็นจำนวน  $n$  ครั้งและทุกครั้งที่จะคำนวณจะต้องเก็บค่าเข้าไปยังแถวคอยซึ่งใช้เวลาเป็น  $\log n$

#### 4.6.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยการแบ่งนับแบบไม่เป็นเอกรูป

ขั้นตอนการแบ่งระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยการแบ่งนับแบบไม่เป็นเอกรูป มีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดฐานของเมชสามเหลี่ยมบนวัตถุสามมิติ

ประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากการเปลี่ยนค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยที่ระบุบนจุดยอดฐานเป็นค่าแต่ละระดับชั้น ซึ่งจะคำนวณทั้งหมด  $n$  ครั้งตามจำนวนจุดยอดฐานของเมชสามเหลี่ยมบนวัตถุสามมิติ

#### 4.6.1.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อปรับปรุงเรปกราฟ

ขั้นตอนการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อปรับปรุงเรปกราฟ มีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้น

ประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากจำนวนครั้งในการวนเพื่อหาส่วนย่อยที่มีค่าต่ำกว่าค่าขีดแบ่ง แล้วทำการรวมส่วนย่อยดังกล่าวเข้ากับส่วนย่อยข้างเคียงซึ่งต้องวนทำซ้ำ  $n$  ครั้งตามจำนวนจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้น

#### 4.6.1.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการปรับปรุงเรปกราฟโดยแบ่งนั้บระดับชั้นค่าระยะทางจ้ออกเตลิกเฉลี่ยบนวัตฤสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป

เนื่องจากเรปกราฟถูกสร้างในขั้นตอนการปรับปรุงเรปกราฟโดยแบ่งนั้บระดับชั้นค่าระยะทางจ้ออกเตลิกเฉลี่ยบนวัตฤสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป ดังนั้นในหัวข้อผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการปรับปรุงเรปกราฟโดยแบ่งนั้บระดับชั้นค่าระยะทางจ้ออกเตลิกเฉลี่ยบนวัตฤสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูป จะกล่าวถึงผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการสร้างเรปกราฟพร้อมด้วย

การปรับปรุงเรปกราฟโดยแบ่งนั้บระดับชั้นค่าระยะทางจ้ออกเตลิกเฉลี่ยบนวัตฤสามมิติแบบไม่เป็นเอกรูปมีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้น

ประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากจำนวนครั้งในการวนตรวจสอบจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้น ซึ่งจะวนซ้ำเพื่อตรวจสอบหาจุดยอดที่อยู่ติดกันและมีจำนวนจุดยอดข้างเคียงที่เท่ากัน

การสร้างเรปกราฟมีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้น

ประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากการแยกส่วนย่อยของวัตฤสามมิติซึ่งจะวนซ้ำเพื่อตรวจสอบการเชื่อมโยงกันของจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้น จึงคำนวณเป็นจำนวน  $n$  ครั้งตามจำนวนจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้น

#### 4.6.1.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการปรับปรุงเรปกราฟโดยการรวมส่วนย่อยของวัตฤสามมิติที่มีติกรีเท่ากัน

การปรับปรุงเรปกราฟโดยการรวมส่วนย่อยของวัตฤสามมิติที่มีติกรีเท่ากันมีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้นหรือแทนส่วนย่อยแต่ละส่วน

ประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจาก จำนวนครั้งในการตรวจสอบจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้นหรือแทนส่วนย่อยแต่ละส่วน ซึ่งจะวนซ้ำจบครบทุกจุดยอดที่แทนแต่ละระดับชั้นหรือแทนส่วนย่อยแต่ละส่วน

#### 4.6.1.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการระบุกราฟวัฏจักร

ขั้นตอนการระบุกราฟวัฏจักรมีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดของเรปกราฟ

ผลประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากจำนวนครั้งในการระบุทิศทางให้กับเรปกราฟซึ่งจะมีจำนวนครั้งเท่ากับจำนวนจุดยอดของเรปกราฟ

#### 4.6.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ

เนื่องจากขั้นตอนการอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ การหาค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเกลียวของวัตถุสามมิติและการกำหนดค่าระยะทางจีโอเดสิกเกลียวสำหรับแต่ละส่วนย่อย ดังนั้นผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามขั้นตอนดังกล่าวซึ่งประกอบไปด้วย ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการหาค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเกลียวของวัตถุสามมิติและผลการทดสอบประสิทธิภาพของการกำหนดค่าระยะทางจีโอเดสิกเกลียวสำหรับแต่ละส่วนย่อย

##### 4.6.2.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการหาค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเกลียวของวัตถุสามมิติ

ขั้นตอนการหาค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเกลียวของวัตถุสามมิติมีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนหน้าของเมชสามเหลี่ยม

ผลประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากการยิงรังสีเพื่อไปตัดกับพื้นผิวตรงข้ามบนหน้าของเมชสามเหลี่ยมบนวัตถุสามมิติ ดังนั้นความซับซ้อนในขั้นนี้จึงขึ้นกับจำนวนหน้าของเมชสามเหลี่ยม ซึ่งในวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอจะคำนวณบนหน้าของเมชสามเหลี่ยมเพียง 40% ของหน้าทั้งหมดในแต่ละส่วนย่อย จึงทำให้วิทยานิพนธ์ที่นำเสนอมีความเร็วที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า [1]

#### 4.6.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการกำหนดค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยสำหรับแต่ละส่วนย่อย

ขั้นตอนการกำหนดค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยสำหรับแต่ละส่วนย่อยมีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดที่แสดงถึงส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ

ผลประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากการปรับค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยในทุก ๆ จุดยอดที่แสดงถึงส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ ให้อยู่ในบรรทัดฐานเดียวกัน

#### 4.6.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาของการเปรียบเทียบและวัดความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ

ขั้นตอนการเปรียบเทียบและวัดความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติมีประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็น  $O(n^2)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดยอดของเรปกราฟ

ผลประสิทธิภาพเชิงเวลาข้างต้นมาจากการจับคู่เพื่อหากราฟย่อยสามัญที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งจะเริ่มจากการกำหนดคู่ตั้งต้นเพื่อขยายขนาดในการจับคู่กราฟต่อไป

#### ตารางที่ 4.7 ค่าความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัย

ลำดับที่	ขั้นตอนงานวิจัย	ค่าความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์	นิยามของ $n$
1.	การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติด้วยเรปกราฟ	$O(n \log n)$	$n$ คือ จำนวนจุดยอดฐานของเมชสามเหลี่ยมบนวัตถุสามมิติ
2.	การอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ	$O(n)$	$n$ คือ จำนวนหน้าของเมชสามเหลี่ยม
3.	การเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติ	$O(n^2)$	$n$ คือ จำนวนจุดยอดของเรปกราฟ

ตารางที่ 4.8 เวลาในการค้นคืนวัสดุสามมิติ

ลำดับ ที่	ประเภทของวัสดุสามมิติ	เวลาในการค้นคืน ของงานวิจัยที่ นำเสนอ (วินาที)	เวลาในการค้นคืน ของงานวิจัย ก่อนหน้า (วินาที)
1.	เครื่องบิน	5.09	11.47
2.	สัตว์ประหลาด 1	6.01	13.52
3.	สัตว์ประหลาด 2	6.54	17.36
4.	มด	7.29	24.12
5.	ชิ้นส่วนเครื่องจักร	9.51	19.02
6.	จักรยาน	10.56	17.38
7.	นก 1	5.34	16.31
8.	รูปปั้น	10.23	17.05
9.	อุฐู	7.23	11.39
10.	เก้าอี้	5.54	13.57
11.	ถ้วย	4.13	11.12
12.	สุนัข	7	12.23
13..	ปลา	5.21	18.21
14.	นก 2	6.32	17.32
15.	แว่นตา	5.51	26.20
16.	มือ	6.45	17.29
17.	ม้า	7.57	29.04
18.	มนุษย์	7.19	20.58
19.	คอมพิวเตอร์	4.15	11.33

ตารางที่ 4.8 เวลาในการคั่นคั้นวัตถุดูสามมิติ (ต่อ)

ลำดับ ที่	วัตถุดิบคั่น	เวลาในการคั่นคั้น ของงานวิจัยที่ นำเสนอ (วินาที)	เวลาในการคั่นคั้น ของงานวิจัย ก่อนหน้า (วินาที)
20	กล่อง	9.12	19.04
21.	ปลาหมึก	8.41	15.16
22.	กระดาษ	10.06	16.58
23.	คีม	6.16	21.59
24.	ตุ๊กตาซานต้า	5.35	13.06
25.	งู	9.05	25.31
26.	แมงมุม	7.01	19.10
27.	ต้นไม้	11	28.56
28.	ลูกบอลสองลูก	8.19	11.43
29.	แจกัน	9.28	19.01
30.	โต๊ะ	6.19	28.11

#### 4.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

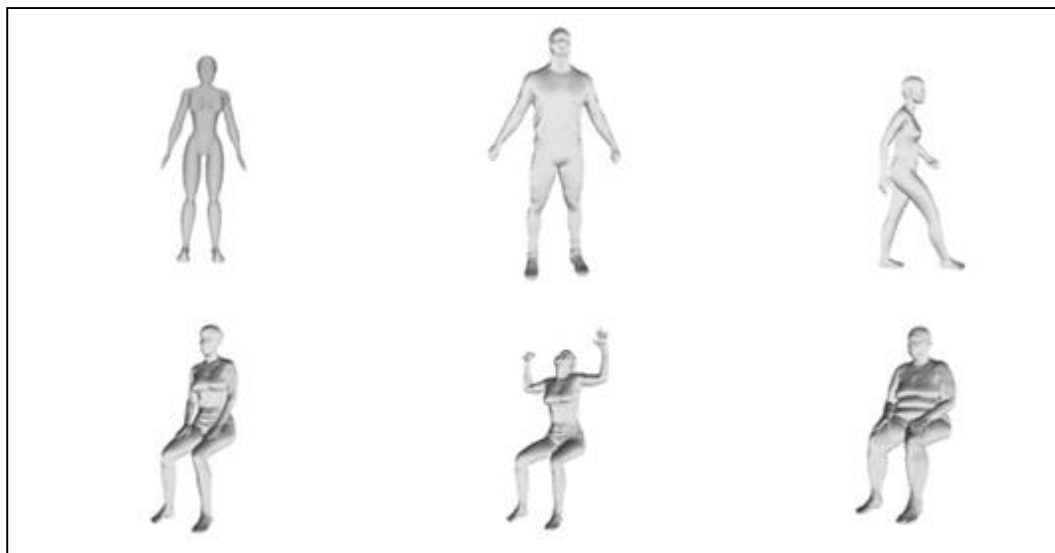
จากผลการทดสอบรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำเป็น 0.447 ซึ่งแสดงว่า เมื่อคั่นคั้นวัตถุดูสามมิติขึ้นมา มีความน่าจะเป็นที่ลำดับต่อไปจะเป็นวัตถุดูสามมิติที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดูสามมิติสับคั่นเป็น 0.447 ในขณะที่งานวิจัยก่อนหน้า[1]มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.462 ซึ่งเป็นค่าความแม่นยำที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่นำเสนอ สาเหตุที่งานวิจัยที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำต่ำกว่าเนื่องจากในขั้นตอนการอธิบายส่วนย่อยของวัตถุดูสามมิติ ผู้วิจัยใช้โพสออบลิเควียสแบบเฉลี่ย ซึ่งมาจากการรวมกันระหว่างฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยและระยะทางจีโอเดสิกแบบเฉลี่ย โดยการคำนวณฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยนั้นจะไม่นำคำนวณทุกจุดยอดบนส่วนย่อยแต่จะทำการคำนวณบนหน้าของเมชเพียง 40% บนหน้าของ

เมชสามเหลี่ยมในแต่ละส่วนย่อย ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้า[1]ที่ใช้โพสออบลิเวียสแบบปกติ [20] มาอธิบายส่วนย่อยของวัตถุสามมิติ โดยโพสออบลิเวียสแบบปกติดังกล่าวมาจากการรวมกันระหว่างฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างและระยะทางจีโอเดสิก โดยฟังก์ชันเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างดังกล่าวได้มาจากการคำนวณทุก ๆ จุดยอดบนหน้าของเมชสามเหลี่ยม ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้งานวิจัยก่อนหน้าให้ผลค่าเฉลี่ยความแม่นยำที่สูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากความละเอียดในการคำนวณ แต่ความละเอียดในการคำนวณดังกล่าวทำให้ส่งผลเสียเป็นอย่างมากในด้านของเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่นำเสนอ

จากการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติโดยแบ่งประเภทตามความซับซ้อน ซึ่งความซับซ้อนนั้นจะนิยามตามรัยงค์ หากมีรัยงค์มากก็จะยิ่งซับซ้อนมาก แสดงให้เห็นว่าวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมากนั้นมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.563 ซึ่งมากกว่าวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.332 จากค่าความแม่นยำดังกล่าวแสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่นำเสนอนั้นเหมาะกับวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนมาก มากกว่าวัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อน เนื่องจากงานวิจัยที่นำเสนอนั้นใช้ตัวแทนข้อมูลที่ขึ้นกับข้อมูลทางทอพอโลยี ดังนั้นส่งผลให้วัตถุสามมิติประเภทที่มีความซับซ้อนน้อยหรือวัตถุสามมิติประเภทที่มีข้อมูลทางทอพอโลยีไม่ซับซ้อนนั้น ให้ผลค่าความแม่นยำที่น้อยกว่า เนื่องจากหากวัตถุสามมิติมีข้อมูลทางทอพอโลยีไม่ซับซ้อนจะทำให้เกิดความสับสนในการแยกแยะความเหมือนระหว่างวัตถุสามมิติเนื่องจากวัตถุสามมิติดังกล่าวจะให้ผลทางทอพอโลยีที่คล้ายคลึงกันกับวัตถุสามมิติอื่น ๆ ที่มีข้อมูลทางทอพอโลยีไม่ซับซ้อนเช่นเดียวกัน

จากการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติโดยแบ่งประเภทตามการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุแสดงให้เห็นว่า วัตถุสามมิติประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางมากนั้นมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.524 ซึ่งมากกว่าผลการทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัยก่อนหน้า[21] ซึ่งมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.423 และผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีเปลี่ยนแปลงท่าทางน้อยนั้นมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.421 ซึ่งมากกว่าผลการทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัยก่อนหน้า[21] ซึ่งมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.386 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่นำเสนอนั้นให้ผลที่ดีกว่า เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้า[21] ใช้ระยะจากจุดศูนย์กลางเป็นมอร์สฟังก์ชันและใช้ข้อมูลฮาร์โมนิกบนฐานทรงกลมของแต่ละส่วนย่อย

ของวัตถุสามมิติในการอธิบายรูปร่าง ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวไม่รองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติ โดยตัวอย่างวัตถุสามมิติที่ใช้สำหรับทดสอบซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุแสดงดังรูปที่ 4.17

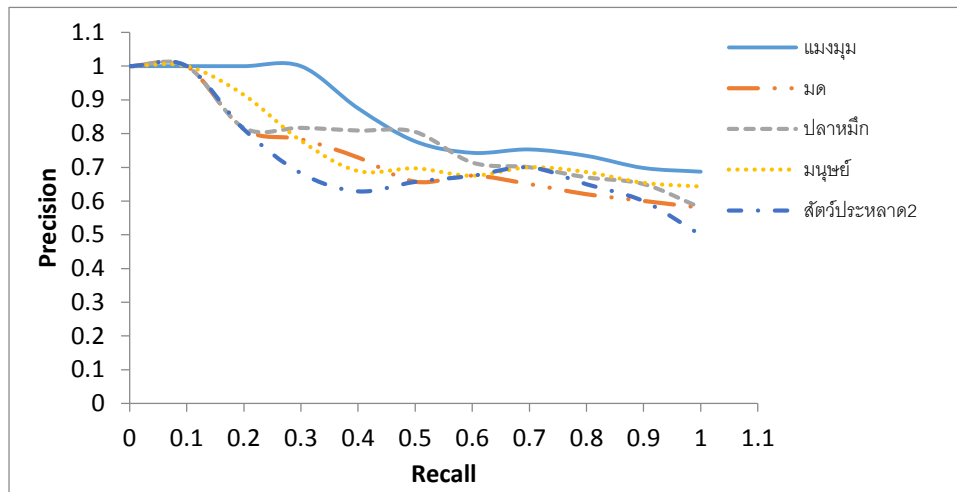


รูปที่ 4.17 ตัวอย่างวัตถุสามมิติที่ใช้สำหรับทดสอบซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงท่าทาง

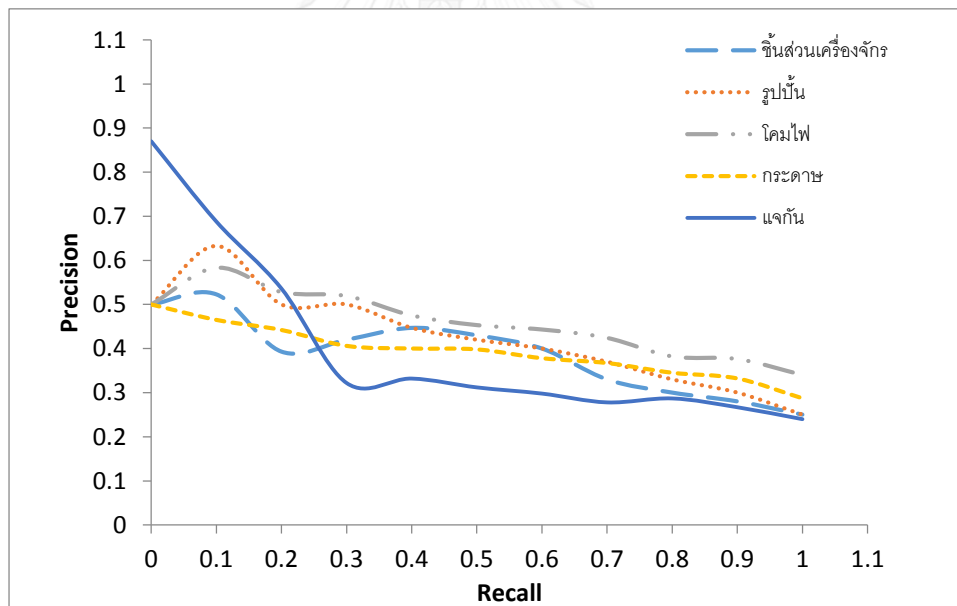
จากการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติ วัตถุสามมิติที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด 5 ลำดับ คือ แมงมุม มด ปลาหมึก มนุษย์ และสัตว์ประหลาด 2 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะวัตถุสามมิติทั้ง 5 ชิ้น มีความซับซ้อนซึ่งหมายถึงมีรายละเอียดชัดเจน ซึ่งเหมาะกับตัวแทนข้อมูลที่ผู้วิจัยเลือกใช้ โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด 5 ลำดับแสดงดังรูปที่ 4.18 ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)

จากการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติ วัตถุสามมิติที่ให้ค่าเฉลี่ยความแม่นยำที่ต่ำที่สุด 5 ลำดับ คือ กระจดาช ชิ้นส่วนเครื่องจักร แจกกัน โคมไฟ และรูปปั้น ตามลำดับที่เป็นเช่นนี้เพราะวัตถุสามมิติทั้ง 5 ชิ้น มีความซับซ้อนน้อย ซึ่งหมายถึงมีรายละเอียดน้อยหรือมีลักษณะเป็นก้อน ซึ่งไม่เหมาะกับตัวแทนข้อมูลที่ผู้วิจัยเลือกใช้ที่ขึ้นกับข้อมูลทางทอพอโลยี โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติที่ให้ค่าความแม่นยำที่ต่ำที่สุด 5 ลำดับแสดงดังรูปที่ 4.19 ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)





รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด 5 ลำดับ



รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นคืนวัตถุสามมิติที่ให้ค่าความแม่นยำที่ต่ำที่สุด 5 ลำดับ

#### 4.8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

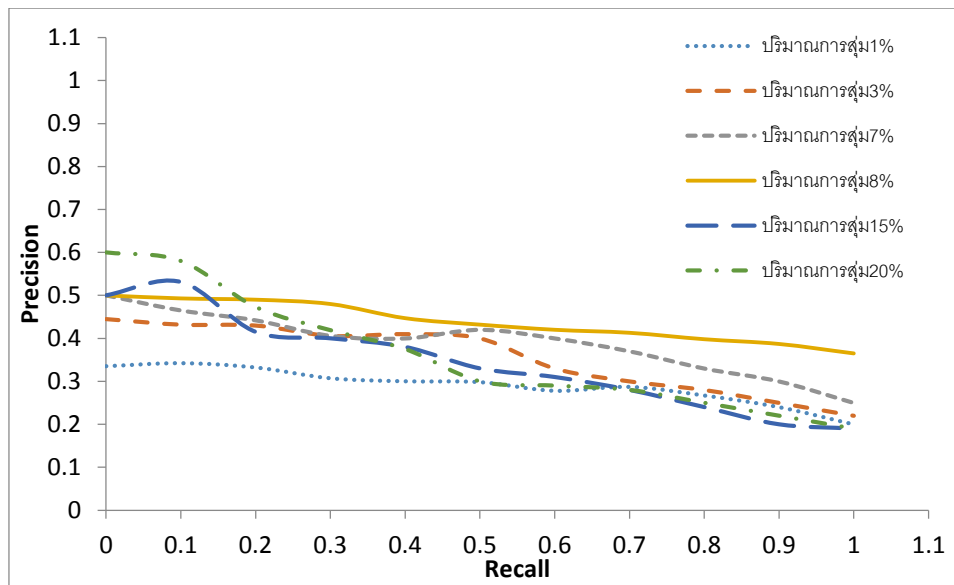
จากตารางที่ 4.8 และเวลาเฉลี่ยในการค้นคืนวัตถุสามมิติแต่ละชิ้นนั้นของงานวิจัยที่นำเสนอซึ่งมีค่าเป็น 7.22 วินาที และงานวิจัยก่อนหน้า[1] ใช้เวลาในการค้นคืนวัตถุสามมิติแต่ละชิ้นเฉลี่ยเป็น 18.04 วินาที ซึ่งเวลาเฉลี่ยและตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่นำเสนอสามารถค้นคืนวัตถุสามมิติได้รวดเร็วกว่า ถึงแม้ว่าค่าความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์จะมีค่าที่เท่ากัน แต่จำนวนครั้งในการคำนวณไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากการลดจำนวนจุดยอดในการคำนวณ ซึ่งการลดจำนวนจุดยอดดังกล่าวส่งผลให้งานวิจัยที่นำเสนอใช้เวลาในการค้นคืนน้อยกว่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า[1]

#### 4.9 การทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยม

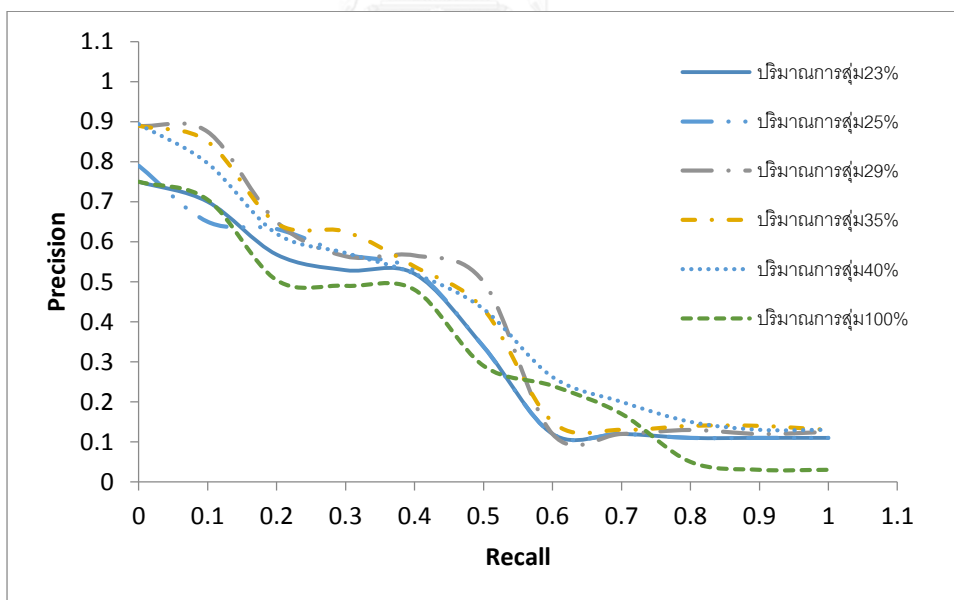
การทดสอบการปรับการสุ่มเลือกปริมาณหน้าของเมชสามเหลี่ยมนั้น มีจุดประสงค์เพื่อหาปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมในส่วนย่อยแต่ละส่วนของวัตถุสามมิติที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าฟังก์ชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ย โดยผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งตารางดังกล่าวแสดงเฉพาะจำนวนการสุ่มที่มีค่าความแม่นยำเปลี่ยนแปลงไป จากผลดังกล่าวงานวิจัยที่นำเสนอเลือกปริมาณการสุ่มเลือกผิวหน้าของเมชที่ 40% เนื่องจากมีเนื้อที่จำกัดจึงแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพในการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 โดยรูปที่ 4.20 แสดงผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมที่มีปริมาณการสุ่ม 1% 3% 7% 8% 15% และ 20% และรูปที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพในการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมที่มีปริมาณการสุ่ม 23% 25% 29% 35% 40% และ 100% ซึ่งแกน y ของกราฟแสดงความแม่นยำ (Precision) และแกน x ของกราฟแสดงการเรียกคืน (Recall)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสู่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยม

ปริมาณการสู่มเลือกหน้าของเมช (%)	ค่าความแม่นยำ
1	0.144
3	0.164
7	0.188
8	0.269
15	0.323
20	0.348
23	0.375
25	0.397
29	0.40
35	0.442
40	0.447
50	0.447
70	0.447
80	0.452
90	0.452
100	0.452



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชที่มีปริมาณการสุ่ม 1% 3% 7% 8% 15% และ 20%



รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสุ่มเลือกหน้าของเมชที่มีปริมาณการสุ่ม 23% 25% 29% 35% 40% และ 100%

#### 4.10 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการปรับปริมาณการสู่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยม

จากผลการทดสอบการปรับปริมาณการสู่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมแสดงให้เห็นว่า ยิ่งเพิ่มปริมาณการสู่มหน้าของเมชก็ยิ่งทำให้ค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้น เนื่องจากยิ่งเพิ่มปริมาณการสู่มก็จะยิ่งเพิ่มความละเอียดในการคำนวณ ซึ่งความละเอียดดังกล่าวมีผลทำให้ค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความแม่นยำขึ้นและสาเหตุที่งานวิจัยที่นำเสนอเลือกปริมาณการสู่มที่ 40% เนื่องจากปริมาณการสู่มที่ 41% - 79% ให้ค่าความแม่นยำที่เท่ากับปริมาณการสู่มที่ 40% และนอกจากนี้ยังมีปริมาณการสู่มที่ 80% - 100% แม้ปริมาณการสู่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมดังกล่าวจะให้ค่าความแม่นยำที่ดีกว่า แต่ก็ให้ดีกว่าเพียงเล็กน้อย อีกทั้งปริมาณการสู่มเลือกหน้าของเมชสามเหลี่ยมดังกล่าวทำให้เสียเวลาในการคำนวณมาก ซึ่งส่งผลต่อเวลาในการค้นคืน



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอการค้นคืนวัตถุสามมิติแบบบางส่วนโดยใช้เรขาคณิตและฟังก์ชันเส้นผ่านศูนย์กลางรูปร่าง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้เรขาคณิตตามระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยร่วมตัวอธิบายข้อมูลทางรูปร่างแบบเฉลี่ยที่ชื่อว่าโพสออบลิเวียสแบบเฉลี่ย ซึ่งเป็นการรวมกันระหว่างฟังก์ชันเส้นผ่านศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยและระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ย ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวส่งผลให้งานวิจัยที่นำเสนอรองรับการเปลี่ยนแปลงท่าทางของวัตถุสามมิติ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเวลาให้กับงานวิจัยอีกด้วย โดยงานวิจัยที่นำเสนอจะใช้เรขาคณิตในการแสดงข้อมูลเชิงทอพอโลยีของวัตถุสามมิติและแบ่งส่วนวัตถุสามมิติออกเป็นส่วนย่อย โดยส่วนย่อยแต่ละส่วนที่ถูกแบ่งจะถูกอธิบายด้วยตัวอธิบายข้อมูลทางรูปร่างแบบเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2011[1] ซึ่งใช้การหาตัวอธิบายรูปร่างแบบปกติ โดยใช้การคำนวณหน้าของเมชสามเหลี่ยมทุก ๆ ชิ้น ซึ่งข้อแตกต่างดังกล่าวส่งผลให้งานวิจัยที่นำเสนอนั้นใช้เวลาในการคำนวณที่รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า โดยงานวิจัยที่นำเสนอใช้เวลาในการค้นคืนวัตถุสามมิติแต่ละชิ้นเฉลี่ยเป็น 7.22 วินาที ในขณะที่งานวิจัยก่อนหน้า[1]ใช้เวลาในการค้นคืนวัตถุสามมิติแต่ละชิ้นเฉลี่ยเป็น 18.04 วินาที อีกทั้งงานวิจัยที่นำเสนอยังคงรักษาประสิทธิภาพในการค้นคืน โดยให้ค่าเฉลี่ยความแม่นยำเป็น 0.447 ซึ่งมีความหมายว่าเมื่อค้นคืนวัตถุสามมิติขึ้นมาทีละชิ้น ความน่าจะเป็นที่ลำดับต่อไปจะเป็นวัตถุสามมิติที่เกี่ยวข้องกันหรือเป็นวัตถุสามมิติประเภทเดียวกันเป็น 0.447 และนอกจากนี้พบว่างานวิจัยที่นำเสนอเหมาะสำหรับการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีรอยกึ่งชัดเจนหรือมีความซับซ้อนมากกว่าการค้นคืนวัตถุสามมิติประเภทที่มีลักษณะเป็นก้อนหรือมีความซับซ้อนน้อย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาความแม่นยำเนื่องจากมีรายละเอียดหายไปในช่วงตอนการหาค่าฟังก์ชันเส้นผ่านศูนย์กลางรูปร่างแบบเฉลี่ยเนื่องจากการสุ่ม ซึ่งอาจจะแก้ไขได้โดยใช้ฟังก์ชันในการสุ่มอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อให้หน้าของเมชสามเหลี่ยมที่เลือกมานั้นเป็นหน้าของเมชสามเหลี่ยมที่มีประโยชน์ ซึ่งมีความหมายว่า สามารถแสดงถึงคุณลักษณะบางอย่าง นอกจากนี้เพื่อเพิ่มความแม่นยำ

อาจใช้ลักษณะเนื้อแท้ (Texture) มาร่วมอธิบายรูปร่าง[22] อีกทั้งปัญหาเวลาในการเปรียบเทียบความเหมือนซึ่งอาจจะแก้ไขได้โดยการนำงานวิจัยในปี ค.ศ. 2007 [23] มาใช้เพื่อแก้ไขปัญหานั้นตอนการเปรียบเทียบความเหมือน



## รายการอ้างอิง

1. Areevijit, W. and P. Kanongchaiyos, Reeb graph based partial shape retrieval for non-rigid 3D object, in Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry. 2011, ACM: Hong Kong, China. p. 573-576.
2. 2014 [cited 2014 23 December]; Available from: <http://archive3d.net/>.
3. Funkhouser, T., et al., A search engine for 3D models. ACM Trans. Graph., 2003. 22(1): p. 83-105.
4. Koda, Y., I. Kanaya, and K. Sato, *Modeling real objects for Kansei-based shape retrieval*. International Journal of Automation and Computing, 2007. 4(1): p. 14-17.
5. K. Maurizio, et al., *Fast Approximation of the shape Diameter Function* in Proceedings of GraVisMa, Brno, Czech Republic, pp. 65-72, 2010, GraVisMa. p. 65-72.
6. Veltkamp, R.C. and F.B.T. Haar, *SHREC 2009 - shape retrieval contest*, in Proceedings of the 2nd Eurographics conference on 3D Object Retrieval. 2009, Eurographics Association: Munich, Germany. p. 57-59.
7. Hilaga, M., et al., *Topology matching for fully automatic similarity estimation of 3D shapes*, in Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. 2001, ACM. p. 203-212.
8. Monteverde, L., C. Ruiz, Jr., and Z. Huang, *A Shape Distribution for Comparing 3D Models*, in *Advances in Multimedia Modeling*, T.-J. Cham, et al., Editors. 2006, Springer Berlin Heidelberg. p. 54-63.
9. Lian, Z., et al., *A comparison of methods for non-rigid 3D shape retrieval*. Pattern Recogn., 2013. 46(1): p. 449-461.
10. Lowe, D.G., *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*. Int. J. Comput. Vision, 2004. 60(2): p. 91-110.
11. Johnson, A.E. and M. Hebert. *Recognizing objects by matching oriented points*. in Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceedings., IEEE Computer Society Conference on. 1997.



12. Liu, Z.-B., et al., *A Survey on Partial Retrieval of 3D Shapes*. Journal of Computer Science and Technology, 2013. 28(5): p. 836-851.
13. Sfikas, K., et al., *Partial matching of 3D cultural heritage objects using panoramic views*. Multimedia Tools and Applications, 2014: p. 1-15.
14. Bespalov, D., et al., *Scale-space representation of 3D models and topological matching*, in Proceedings of the eighth ACM symposium on Solid modeling and applications. 2003, ACM: Seattle, Washington, USA. p. 208-215.
15. Li, B., A. Godil, and H. Johan, *Hybrid shape descriptor and meta similarity generation for non-rigid and partial 3D model retrieval*. Multimedia Tools and Applications, 2014. 72(2): p. 1531-1560.
16. Cornea, N.D., et al. *3D object retrieval using many-to-many matching of curve skeletons*. in Shape Modeling and Applications, 2005 International Conference. 2005.
17. Berretti, S., A.D. Bimbo, and P. Pala, *3D Mesh decomposition using Reeb graphs*. Image Vision Comput., 2009. 27(10): p. 1540-1554.
18. Rodkhwan, S. and P. Kanongchaiyos, *Shape Retrieval for Khon 3D Model*, in Proceedings of the 2013 International Conference on Culture and Computing. 2013, IEEE Computer Society. p. 68-73.
19. Barra, V. and S. Biasotti, *3D shape retrieval and classification using multiple kernel learning on extended Reeb graphs*. The Visual Computer, 2014. 30(11): p. 1247-1259.
20. Gal, R., A. Shamir, and D. Cohen-Or, *Pose-Oblivious Shape Signature*. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 2007. 13(2): p. 261-271.
21. Biasotti, S., et al., *Sub-part correspondence by structural descriptors of 3D shapes*. Computer-Aided Design, 2006. 38(9): p. 1002-1019.
22. Conrado R. Ruiz Jr, et al., *Combining Shape and Color for Retrieval of 3D Models*, in Networked Computing and Advanced Information Management. 2009.

23. Abu-Khzam, F.N., et al. *The Maximum Common Subgraph Problem: Faster Solutions via Vertex Cover*. in *Computer Systems and Applications, AICCSA '07*. IEEE/ACS International Conference on. 2007.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศุภศศิ รอดขวัญ เกิดเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2533 สำเร็จการศึกษา  
ระดับประถมจากโรงเรียนอนุบาลกระบี่ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียน  
จุฬารามราชวิทยาลัย ตรัง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียม  
อุดมศึกษา ภาคใต้ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์  
(นานาชาติ) คณะวิทยาศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี  
การศึกษา 2554

