

การแปลงรูปหลายเหลี่ยมสามมิติเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานด้วยเรขกรภาพ



นายทรงพล อัดตสิริลักษณ์

# ศูนย์วิทยพัทยาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# 3D POLYGONAL MESH TO PRIMITIVE CONVERSION USING REEB GRAPH

Mr. Songpol Attasiriluk



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแปลงรูปหลายเหลี่ยมสามมิติเป็นรูปเรขาคณิตปฐม ฐานด้วยเรขกรภาพ
โดย	นายทรงพล อัดตสิริลักษณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ คนองชัยยศ

---


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ คนองชัยยศ)

  
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.สงกรานต์ จารุสิริสวัสดิ์)

ทรงพล อัดตสิริลักษณ์ : การแปลงรูปหลายเหลี่ยมสามมิติเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานด้วยเรบกราฟ (3D POLYGONAL MESH TO PRIMITIVE CONVERSION USING REEB GRAPH) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. พิษณุ คนองชัยยศ , 112 หน้า

โลกเสมือนใช้การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานและรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบบัน ซึ่งไม่เหมือนกับโปรแกรมที่ใช้งานทั่วไปที่ใช้การแทนวัตถุสามมิติแบบเมช ดังนั้นการแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานจะทำให้ลดภาระและค่าใช้จ่ายในการสร้างวัตถุสามมิติขึ้นมาใหม่ในโลกเสมือน งานวิจัยนี้ได้ใช้เรบกราฟโดยมีระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สฟังก์ชันในการแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานเพื่อให้วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานนั้นมีรูปร่างเหมือนกับวัตถุสามมิติต้นฉบับ แล้วจึงนำไปเปรียบเทียบว่ารูปเรขาคณิตปฐมฐานใดเหมาะสมที่สุด ผลการทดลองวัดความเหมือนด้วยระยะทางเฮาส์ดอร์ฟจากวัตถุสามมิติ 380 ชิ้น 19 ประเภทของมหาวิทยาลัยปรีนซ์ตันสรุปว่าวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีรูปร่างเหมือนกับวัตถุสามมิติต้นฉบับโดยวัตถุสามมิติที่มีลักษณะนูนจะเหมือนต้นฉบับมากกว่าวัตถุสามมิติที่มีลักษณะเว้า

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....ทรงพล อัดตสิริลักษณ์.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา..... 2553.....

## 5170311121 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : PRIMITIVE, MESH, TOPOLOGY, REEB GRAPH

SONGPOL ATTASIRILUK : 3D POLYGONAL MESH TO PRIMITIVE  
CONVERSION USING REEB GRAPH

ADVISOR : ASST. PROF. PIZZANU KANONGCHAIYOS, Ph.D., 112 pp

In Virtual world 3D objects are represented by primitives and sculpted primitive but in general programs use polygonal mesh. Hence, 3D polygonal mesh to primitive conversion can reduce cost and time to create new 3D object in Virtual world. We preserve shape of 3D object by using, average geodesic distance (AGD) as a Morse function in, Reeb graph. Then compare all defined fitting primitives and choose the best one. The results were measured by hausdorff distance with the originals of 380 models 19 types from Princeton University show that primitive represented objects have the same shape as originals. The convex objects have less hausdorff distance than the concave objects.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Computer Engineering..... Student's Signature .....  
Field of Study.....Computer Engineering..... Advisor's Signature.....  
Academic Year.....2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ (AS585A) ได้รับการสนับสนุนบางส่วนจาก โครงการส่งเสริมการวิจัยใน  
อุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา  
ขอขอบคุณ ผศ.ดร. พิษณุ คนองชัยยศ ที่ปรึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้  
คงจะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าขาดอาจารย์ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ช่วยชี้แนะ สั่งสอน ตลอดมา

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้ข้อคิดและข้อเสนอแนะต่าง ๆ  
อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งคณะกรรมการสอบ  
วิทยานิพนธ์นั้น ประกอบไปด้วย รศ.ดร. สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล และ ดร.สงกรานต์ จารุศิริ  
สวัสดิ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้องๆ ทั้งในห้องวิจัยคอมพิวเตอร์กราฟฟิก และเพื่อน ๆ ทุก  
คน ที่แบ่งปันความรู้ ช่วยเหลือกัน และเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมารดาและบิดาของข้าพเจ้าที่เลี้ยงดู สนับสนุน ทำให้ข้าพเจ้ามี  
โอกาสได้เข้ามาศึกษาที่นี้จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ผลงานตีพิมพ์จากงานวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1.1 ทอพอโลยี.....	7
2.1.2 ทฤษฎีมอร์ส.....	7
2.1.3 เรบกราฟ.....	8
2.1.4 ระยะเวลาจีโอเดสิก.....	9
2.1.5 อัลกอริทึมของดิเจคส์ตรา.....	10
2.1.6 ระยะเวลาเฮาส์ดอร์ฟ.....	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.2.1 การจับคู่รูปร่าง.....	11
2.2.2 การแทนวัตถุด้วยเรบกราฟ.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	18

3.1	ภาพรวมของการทำงาน.....	18
3.2	ขั้นตอนก่อนการดำเนินการ.....	19
3.3	การสร้างเรบกราฟ.....	21
3.3.1	การหาระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยอัลกอริทึมของดิจค์สตรา.....	21
3.3.2	การแบ่งน้บระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบเอกรูป.....	24
3.3.3	การหาจุดยอดของเรบกราฟและเชื่อมเส้นเชื่อม.....	25
3.4	การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติโดยอาศัยเรบกราฟ.....	27
3.5	การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน.....	28
3.5.1	รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้.....	28
3.5.2	วิธีการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน.....	29
3.5.2.1	ทรงกลม.....	29
3.5.2.2	ทรงกระบอก.....	30
3.5.2.3	ระนาบ.....	32
3.6	วิเคราะห์ประสิทธิภาพความซับซ้อนเชิงเวลา.....	36
บทที่ 4	การทดลองและวิเคราะห์ผล.....	37
4.1	ภาพรวมของการทดลอง.....	37
4.2	การทดสอบความต่างของแบบจำลองสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับ แบบจำลองสามมิติต้นฉบับ.....	37
4.2.1	ข้อนิยาม.....	37
4.2.2	วิธีการทดสอบ.....	38
4.2.3	เครื่องมือที่ใช้.....	38
4.2.4	สมมุติฐาน.....	38
4.3	ผลการทดสอบ.....	38
4.4	วิเคราะห์ผล.....	51
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	62



5.1	ข้อเสนอแนะ .....	65
	รายการอ้างอิง .....	66
	ภาคผนวก.....	70
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	112



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮนด์ตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
 ปรุ้มฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างนก ..... 46

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮนด์ตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
 ปรุ้มฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างสัตว์ประหลาด ..... 47

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮนด์ตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
 ปรุ้มฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างรูปปั้น ..... 47

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮนด์ตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
 ปรุ้มฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างกล่อง ..... 48

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮนด์ตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
 ปรุ้มฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างชิ้นส่วนเครื่องจักร ..... 48

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮนด์ตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
 ปรุ้มฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างแจกัน ..... 49

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮนด์ตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
 ปรุ้มฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างสัตว์ ..... 49

ตารางที่ 4.22 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ ..... 50

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 โรงเรียนกฎหมายฮาวาร์ดทำการเรียนการสอนผ่านทางโลกเสมือน Second Life .....	1
รูปที่ 1.2 การแทนวัตถุสามมิติแบบเมช .....	2
รูปที่ 1.3 การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในโลกเสมือน .....	2
รูปที่ 1.4 แฟ้มข้อมูลรูปภาพ (ซ้าย) รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็นรูปกล้วยจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานทรงกระบอก (กลาง) รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็นรูปกล้วยจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานระนาบ (ขวา).....	3
รูปที่ 1.5 แผนภาพแกนต์แสดงระยะเวลาการดำเนินการวิจัย .....	5
รูปที่ 2.1 การแทนค่าด้วยเรบกราฟโดยใช้ฟังก์ชันความสูง .....	8
รูปที่ 2.2 ระยะทางจีโอเดสิก .....	9
รูปที่ 2.3 ระยะทางเฮาส์ดอร์ฟระหว่างชุดข้อมูล X กับชุดข้อมูล Y .....	11
รูปที่ 2.4 การสกัดลักษณะในแคด/แคม(CAD/CAM) จากงานวิจัย [6] .....	12
รูปที่ 2.5 การใช้รูปภาพในการจับคู่รูปร่างของวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [9] .....	13
รูปที่ 2.6 การใช้ความโค้งเพื่อหารูปร่างของวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [12].....	14
รูปที่ 2.7 การจับคู่วัตถุสามมิติโดยใช้ฮิสโทแกรมในงานวิจัย [16].....	15
รูปที่ 2.8 การหากระดูกโดยใช้แกนกลางในงานวิจัย [20].....	16
รูปที่ 2.9 การใช้เรบกราฟแทนวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [4] .....	16
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของการทำงาน .....	19
รูปที่ 3.3 วัตถุสามมิติก่อนการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไป (ซ้าย) และหลังการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไป (ขวา).....	21
รูปที่ 3.4 การหาระยะจีโอเดสิกด้วยการประมาณจากระยะทางที่สั้นที่สุด .....	22
รูปที่ 3.5 จุดยอดฐานของวัตถุสามมิติรูปร่างคน .....	23
รูปที่ 3.6 ระยะจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติรูปร่างคน .....	24
รูปที่ 3.7 การแบ่งน้บระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติรูปร่างคนออกเป็นห้าชุดระดับ .	25
รูปที่ 3.8 เรบกราฟของวัตถุสามมิติรูปร่างคนจากการแบ่งน้บออกเป็นห้าชุดระดับ .....	27

รูปที่ 3.9 วัดตุสามมิติรูปร่างคนที่แบ่งส่วนตามเส้นเชื่อมของเรขกรภาพ.....	28
รูปที่ 3.10 รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้สามประเภท ทรงกลม(ซ้าย) ทรงกระบอก(กลาง) ระนาบ (ขวา).....	29
รูปที่ 3.11 การหาทรงกลมที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัดตุสามมิติ .....	30
รูปที่ 3.12 การหาทรงกระบอกที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัดตุสามมิติ .....	32
รูปที่ 3.13 การหาระนาบที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัดตุสามมิติ.....	34
รูปที่ 3.14 วัดตุสามมิติที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน.....	35
รูปที่ 3.15 วัดตุสามมิติต้นฉบับ .....	35
รูปที่ 4.1 วัดตุสามมิติรูปถ้วยหมายเลข 39 ที่มีค่าเวลาสูงผิดปกติเนื่องจากหน้าซ้อนกัน .....	50
รูปที่ 4.2 วัดตุรูปร่างคิมที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสิบ).....	51
รูปที่ 4.3 วัดตุสามมิติต้นฉบับรูปร่างคิม.....	52
รูปที่ 4.4 วัดตุรูปร่างถ้วยที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสิบ).....	53
รูปที่ 4.5 วัดตุสามมิติต้นฉบับรูปร่างถ้วย.....	53
รูปที่ 4.6 วัดตุสามมิติรูปร่างกล่องที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับแปด) ....	54
รูปที่ 4.7 วัดตุสามมิติต้นฉบับรูปร่างกล่อง .....	55
รูปที่ 4.8 วัดตุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสอง).....	56
รูปที่ 4.9 วัดตุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับเจ็ด).....	56
รูปที่ 4.10 วัดตุสามมิติรูปร่างสัตว์ต้นฉบับ .....	57
รูปที่ 4.11 วัดตุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสอง) ที่ ยูเนียนแล้ว .....	57
รูปที่ 4.12 วัดตุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับเจ็ด) ที่ ยูเนียนแล้ว .....	58
รูปที่ 4.13 การแบ่งส่วนวัดตุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ชุดระดับสิบ .....	59
รูปที่ 4.14 วัดตุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในชุดระดับสิบ .....	59
รูปที่ 4.15 วัดตุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในชุดระดับห้าสิบ .....	60

รูปที่ 4.16 การแบ่งส่วนวัดตุสามมิติรูปร่างรูปปั้นที่ชุดระดับสิบ .....	61
รูปที่ 4.17 การแบ่งส่วนวัดตุสามมิติรูปร่างแจกันที่ชุดระดับสิบ .....	61
รูปที่ 5.1 รูปวัดตุสามมิติรูปร่างค้ำที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็น .....	62
รูปที่ 5.2 วัดตุสามมิติรูปแบบค้ำต้นฉบับ .....	63



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

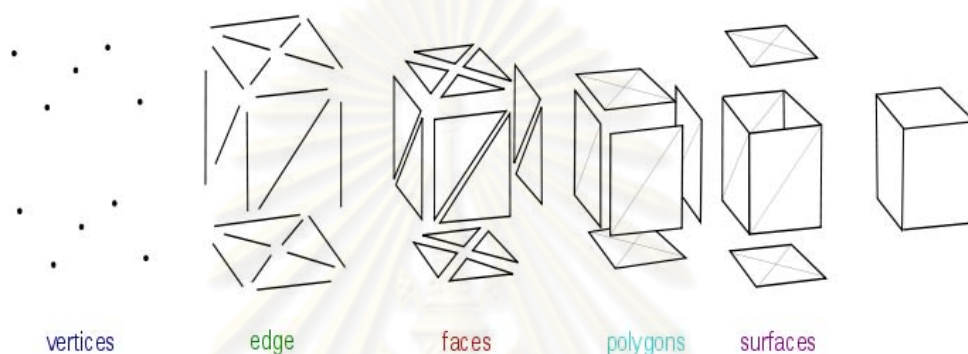
ในปัจจุบัน โลกเสมือนได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก ทำให้จำนวนผู้ใช้โลกเสมือนเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น โลกเสมือนที่ชื่อ Second Life ที่พัฒนาโดย Linden Lab มีผู้ลงทะเบียนมากกว่า 20 ล้านบัญชี การที่ผู้ใช้โลกเสมือนเพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะว่าโลกเสมือนได้อำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้ ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง จึงมีการนำโลกเสมือนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การศึกษา ความบันเทิง ใช้เป็นแหล่งพบปะ และ เกม ตัวอย่างในการนำโลกเสมือนไปใช้ประโยชน์ เช่น โรงเรียนกฎหมายฮาวาร์ดได้ทำการเรียนการสอนผ่านทางโลกเสมือน Second Life (ที่มาข่าวจากหนังสือพิมพ์เดอะนิวยอร์กไทม์วันที่ 7 มกราคม 2550 [http://www.nytimes.com/2007/01/07/education/edlife/07innovation.html?\\_r=1](http://www.nytimes.com/2007/01/07/education/edlife/07innovation.html?_r=1)) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โรงเรียนกฎหมายฮาวาร์ดทำการเรียนการสอนผ่านทางโลกเสมือน Second Life

การแทนวัตถุสามมิติที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือการแทนวัตถุสามมิติแบบเมช การแทนวัตถุแบบเมชคือการแทนวัตถุในรูปแบบการประกอบด้วย จุดยอด เส้นเชื่อม และหน้า

เพื่อกำหนดเป็นรูปทรงต่างๆ ดังรูปที่ 1.2 แสดงการแทนวัตถุสามมิติรูปกล่องสี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย จุดยอด เส้นเชื่อม และหน้า แต่เนื่องจากวัตถุสามมิติที่แทนแบบเมชนั้นมีขนาดใหญ่เพราะต้องเก็บข้อมูลทั้งหมดของ จุดยอด เส้นเชื่อม และหน้า ของวัตถุ ทำให้ไม่เหมาะสมในการใช้งานในโลกเสมือนที่ต้องการความรวดเร็วในการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 1.2 การแทนวัตถุสามมิติแบบเมช

ดังนั้นในโลกเสมือนจึงใช้การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานซึ่งมีขนาดของข้อมูลที่เล็กกว่า ดังรูปที่ 1.3 แสดงรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบต่างๆที่ใช้ในโลกเสมือน เพราะการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานคือการแทนวัตถุสามมิติด้วยสมการ โดยรูปร่างของวัตถุสามมิติจะเปลี่ยนไปตามรูปแบบของสมการที่ใช้และค่าตัวแปร จึงเก็บข้อมูลเพียงแค่สมการและค่าตัวแปรต่างๆเท่านั้น



รูปที่ 1.3 การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในโลกเสมือน

เนื่องจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานไม่สามารถแทนวัตถุที่ซับซ้อนได้ จึงมีการใช้รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบปั้น รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบปั้นคือการนำแฟ้มข้อมูลรูปภาพบอกตำแหน่งของจุดยอดจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่เลือก ดังรูปที่ 1.4 รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบปั้นรูปกล่องจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานทรงกระบอก (กลาง) จากแฟ้มข้อมูลรูปภาพ (ซ้าย) ซึ่งถ้า



เลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ไม่เหมาะสมจะทำให้รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป้้นมีรูปร่างผิดเพี้ยนได้เหมือนรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป้้นรูปกล้วยจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานระนาบ (ขวา)



Cylinder

Plane

รูปที่ 1.4 แฟ้มข้อมูลรูปภาพ (ซ้าย) รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป้้นรูปกล้วยจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานทรงกระบอก (กลาง) รูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป้้นรูปกล้วยจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานระนาบ (ขวา)

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานโดยใช้เรขาคณิตในการหาข้อมูลทอพอโลยีเพื่อให้วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีรูปร่างเหมือนวัตถุสามมิติต้นฉบับ โดยนำข้อมูลทอพอโลยีไปใช้ในการแทนรูปเรขาคณิตปฐมฐาน และเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติเพื่อให้ได้รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่เหมาะสมที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานโดยใช้เรขาคณิตในการหาข้อมูลทอพอโลยีเพื่อให้วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีรูปร่างเหมือนวัตถุสามมิติต้นฉบับ โดยนำข้อมูลทอพอโลยีไปใช้ในการแทนรูปเรขาคณิตปฐมฐาน และเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติเพื่อให้ได้รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่เหมาะสมที่สุด

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ข้อมูลนำเข้าเป็นวัตถุสามมิติแบบเมชประเภทออฟ (off) หรือประเภทออปเจค (obj)
2. ข้อมูลส่งออกเป็นวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานประเภทออฟ (off)

- งานวิจัยนี้จะทำการวัดผลความต่างด้วยระยะเฮาส์ดอร์ฟของแบบจำลองสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติแบบเมชต้นฉบับ

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

วิธีการที่นำเสนอได้ใช้ข้อมูลทอพอโลยีในการแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน ทำให้ผลลัพธ์ที่นำไปใช้ในโลกละเอียดเหมือนมีรูปร่างเหมือนวัตถุสามมิติต้นฉบับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยมีเจ็ดขั้นตอนดังนี้ คือ ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึม ออกแบบโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ทดสอบ พัฒนาและทดสอบโปรแกรมประยุกต์ ทดลองและประเมินผล สรุปผลการดำเนินงาน จัดทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งแต่ละขั้นตอนใช้เวลาดังนี้

	เดือนเริ่มต้น	ระยะเวลา (เดือน)	มี.ย.-52	ก.ค.-52	ส.ค.-52	ก.ย.-52	ต.ค.-52	พ.ย.-52	ธ.ค.-52	ม.ค.-53	ก.พ.-53	มี.ค.-53	เม.ย.-53	พ.ค.-53	มี.ย.-53	ก.ค.-53	ส.ค.-53	ก.ย.-53	ต.ค.-53	พ.ย.-53	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54	มี.ค.-54		
ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	ก.ค.-52	5	████████████████																							
วิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึม	ก.ย.-52	7			██																					
ออกแบบโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ทดสอบ	ม.ค.-52	5								████████████████████																
พัฒนาและทดสอบโปรแกรมประยุกต์	พ.ค.-53	8												██												
ทดลองและประเมินผล	ต.ค.-53	5																	██							
สรุปผลการดำเนินงาน	ม.ค.-54	2																				████████████████				
จัดทำวิทยานิพนธ์	ก.พ.-54	2																						████████████████		

รูปที่ 1.5 แผนภาพแกนต์แสดงระยะเวลาการดำเนินการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.6 ผลงานตีพิมพ์จากงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการดังนี้

- Co-presence, collaboration, and control in environmental studies  
A Second Life-based approach โดย Songpol Attasiriluk, Arturo Nakasone, Wisut Hantanong, Rui Prada, Pizzanu Kanongchaiyos and Helmut Prendinger ใน Virtual Reality Volume 13, Number 3, 195-204
- "3D POLYGONAL MESH TO PRIMITIVE CONVERSION USING REEB GRAPH" โดย Songpol Attasiriluk and Pizzanu Kanongchaiyos ใน Engineering Journal, Vol. 3, No. 2, 2011.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มีดังนี้

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้ ทอพอโลยี ทฤษฎีมอร์ส เรบกราฟ ระยะเวลาจ็อบเดสทิค อัลกอริทึมของดิเจคส์ตรา และ ระยะเวลาเฮาส์ดอร์ฟ

##### 2.1.1 ทอพอโลยี

ทอพอโลยี [1] เป็นความสัมพันธ์ที่ว่าด้วยการเชื่อมต่อกันระหว่างข้อมูลของวัตถุ ข้อมูลเชิงทอพอโลยีไม่เพียงแต่จะเก็บการเชื่อมต่อกันระหว่างข้อมูลเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ บนวัตถุอีกด้วย โดยที่ทอพอโลยีบนเซต  $X$  คือซับเซต  $T \subseteq 2^X$  และเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

1. ถ้า  $S_1, S_2 \in Y$  แล้ว  $S_1 \cap S_2 \in Y$
2. ถ้า  $S_1, S_2 \in Y$  แล้ว  $S_1 \cup S_2 \in Y$
3.  $\phi, X \in Y$

ปริภูมิเชิงทอพอโลยี (Topological space) เป็นเซตของข้อมูล  $(X, Y)$  โดยที่  $X$  เป็นเซตข้อมูล และ  $Y$  เป็นข้อมูลเชิงทอพอโลยีของเซต  $X$

##### 2.1.2 ทฤษฎีมอร์ส

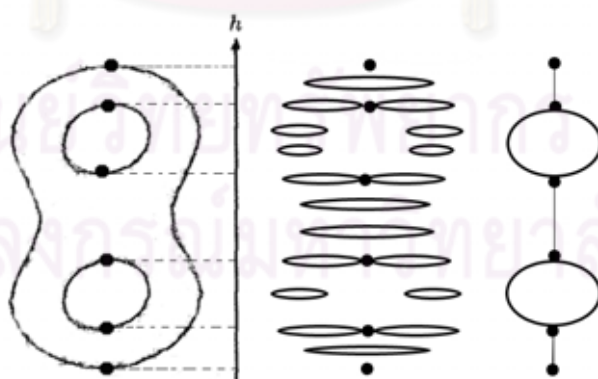
ทฤษฎีมอร์ส [2] จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ของจุดวิกฤตบนฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่อง กับข้อมูลเชิงทอพอโลยีของพื้นผิวนั้น ซึ่งจุดวิกฤตบนฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่องจะเป็นจุดที่ความชันมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่องนี้จะเรียกว่าฟังก์ชันมอร์ส (Morse function) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ฟังก์ชัน  $f$  ที่ทำให้เมตริกซ์เฮสเซียน  $H$  ของ  $f$  นั้น สามารถหาดีเทอร์มิแนนต์ได้ จะเรียกฟังก์ชันนั้นว่าฟังก์ชันมอร์ส สมมติให้  $f$  เป็นฟังก์ชัน  $n$  ตัวแปร  $f = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  เมตริกซ์เฮสเซียน  $H$  จะมีค่าเป็น

$$H(f) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}$$

บทนิยามพื้นฐานของทฤษฎีมอร์สว่าด้วย ให้ฟังก์ชัน  $f: M \rightarrow R$  คือฟังก์ชันมอร์สที่อธิบายความสัมพันธ์เชิงทอพอโลยีของแมนิโฟลด์  $M$  โดยที่แมนิโฟลด์  $M$  คือกลุ่มของข้อมูลที่อยู่ในปริภูมิเชิงทอพอโลยี และจุดวิกฤตทุก ๆ จุดบนฟังก์ชัน  $f$  จะเป็นจุดที่สามารถนำมาใช้อธิบายข้อมูลเชิงทอพอโลยีได้

### 2.1.3 เรบกราฟ

เรบกราฟเป็นวิธีในการแทนข้อมูลเชิงทอพอโลยีในรูปแบบของกราฟ โดยระบุตำแหน่งบนกราฟด้วยจุด (Node) และเส้นเชื่อม (Edge) โดยจุดที่อยู่บนวัตถุจะต้องมีจุดวิกฤตที่ได้จากฟังก์ชันมอร์สที่ใช้แทนข้อมูลเชิงทอพอโลยีนั้นๆ ซึ่งข้อดีของเรบกราฟคือสามารถรักษาข้อมูลเชิงทอพอโลยีไว้ได้ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุก็ตาม ตัวอย่างการแทนค่าด้วยเรบกราฟโดยใช้ฟังก์ชันความสูงเป็นฟังก์ชันมอร์สของวัตถุรูปเลขแปดแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การแทนค่าด้วยเรบกราฟโดยใช้ฟังก์ชันความสูง

บทนิยามของเรบกราฟ [3] กำหนดให้ฟังก์ชัน  $f: M \rightarrow R$  เป็นฟังก์ชันจำนวนจริงที่อยู่บนแมนิโฟลด์  $M$  ซึ่งแมนิโฟลด์เป็นข้อมูลเชิงทอพอโลยีที่สนใจ เรบกราฟของแมนิโฟลด์

$M$  นี้ จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชัน  $f$  ที่สามารถนิยามได้ว่าเป็นปริภูมิผลหารของ  $M \times R$  และจะกำหนดใช้สัญลักษณ์ “ $\sim$ ” แทนความสัมพันธ์ของการสมมูลกัน เมื่อ

$$(X_1, f(X_1)) \sim (X_2, f(X_2))$$

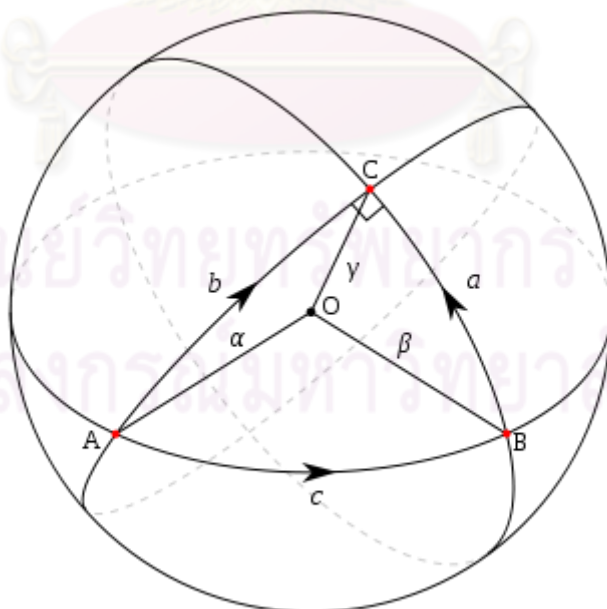
โดยที่

$$f(X_1) = f(X_2)$$

$X_1, X_2$  เป็นส่วนประกอบของการเชื่อมต่อเดียวกันของ  $f^{-1}(f(X_1))$  และเรขาคณิตสามารถแทนค่าของข้อมูล  $(X_1, f(X_1))$  และ  $(X_2, f(X_2))$  ด้วยจุด ๆ เดียวเมื่อ  $f(X_1) = f(X_2)$  และ  $X_1, X_2$  เป็นส่วนประกอบของการเชื่อมต่อเดียวกัน (Contour เดียวกัน)

#### 2.1.4 ระยะทางจีโอเดสิก

ระยะทางจีโอเดสิก คือ ระยะตามพื้นผิวของวัตถุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังรูปที่ 2.2 แสดงระยะทางจีโอเดสิกจากจุด A ไปยังจุด B คือความยาวของส่วนของเส้นโค้ง  $c$  ระยะทางจีโอเดสิกสามารถประมาณได้ด้วยระยะทางสั้นที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งหาได้โดยอัลกอริทึมของดิเจคัสตรา



รูปที่ 2.2 ระยะทางจีโอเดสิก

### 2.1.5 อัลกอริทึมของดิจคัสตรา

อัลกอริทึมของดิจคัสตราเป็นอัลกอริทึมสำหรับหาระยะทางที่สั้นที่สุดจากจุดยอดที่กำหนดไปยังจุดยอดอื่นบนกราฟที่ไม่มีเส้นเชื่อมที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดให้ค่าระยะทางของจุดเริ่มต้นเป็นศูนย์ ส่วนจุดอื่นทั้งหมดเป็นอนันต์
2. กำหนดให้จุดเริ่มต้นเป็นจุดปัจจุบัน
3. พิจารณาระยะทางของจุดรอบข้างของจุดปัจจุบันกับระยะทางของจุดปัจจุบันบวกด้วยระยะทางจากจุดปัจจุบันไปยังจุดรอบข้าง ถ้าระยะทางของจุดปัจจุบันบวกด้วยระยะทางจากจุดปัจจุบันไปยังจุดรอบข้างมีค่าน้อยกว่านำจุดรอบข้างไปใส่ในแถวคอย
4. กำหนดจุดในแถวคอยที่มีค่าระยะทางน้อยที่สุดเป็นจุดปัจจุบันแล้วทำซ้ำข้อ 3

เมื่อทำซ้ำจนไม่มีจุดในแถวคอย จะได้ระยะทางที่สั้นที่สุดจากจุดยอดที่กำหนดไปยังจุดยอดอื่นบนกราฟ

### 2.1.6 ระยะทางเฮาส์ดอร์ฟ

ระยะทางเฮาส์ดอร์ฟเป็นการวัดระยะห่างระหว่างชุดข้อมูลสองชุด โดยระยะทางเฮาส์ดอร์ฟหาได้จากสมการนี้

$$d_H(X, Y) = \max \left\{ \sup_{x \in X} \inf_{y \in Y} d(x, y), \sup_{y \in Y} \inf_{x \in X} d(x, y) \right\},$$

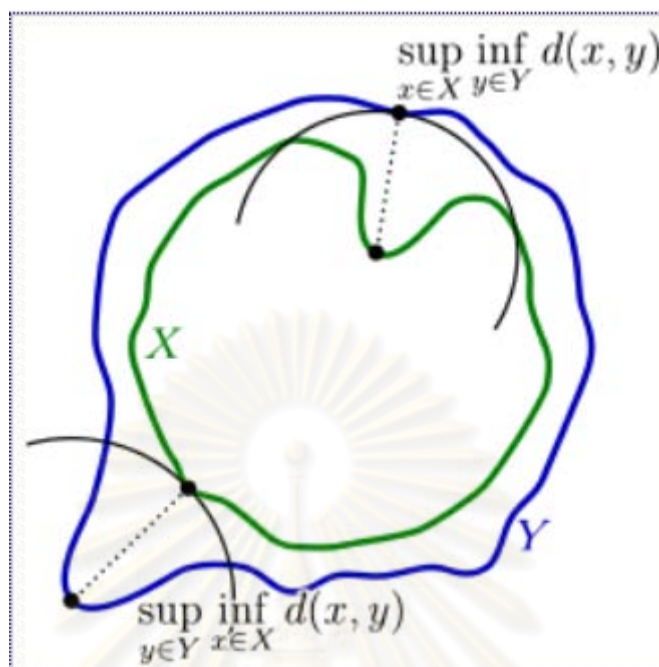
$d_H(X, Y)$  คือระยะทางเฮาส์ดอร์ฟ

$\sup$  คือค่าที่มากที่สุดในชุดข้อมูล

$\inf$  คือค่าที่น้อยที่สุดในชุดข้อมูล

ตัวอย่างการหาระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของชุดข้อมูล  $X$  และ  $Y$  แสดงดังรูปที่ 2.3 เส้นสีเขียวแทนชุดข้อมูล  $X$  เส้นสีน้ำเงินแทนชุดข้อมูล  $Y$  เส้นประแสดงระยะที่น้อยที่สุดของชุดข้อมูล  $X$  ไป  $Y$  และชุดข้อมูล  $Y$  ไป  $X$





รูปที่ 2.3 ระยะทางเฮาส์ดอร์ฟระหว่างชุดข้อมูล X กับชุดข้อมูล Y

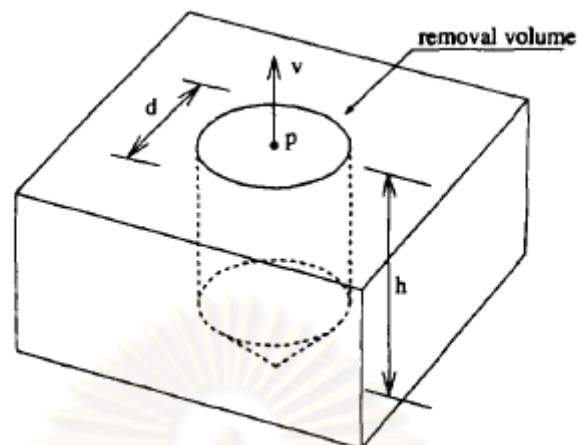
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่ การจับคู่รูปร่าง และการแทนวัตถุด้วยเรขาคณิต

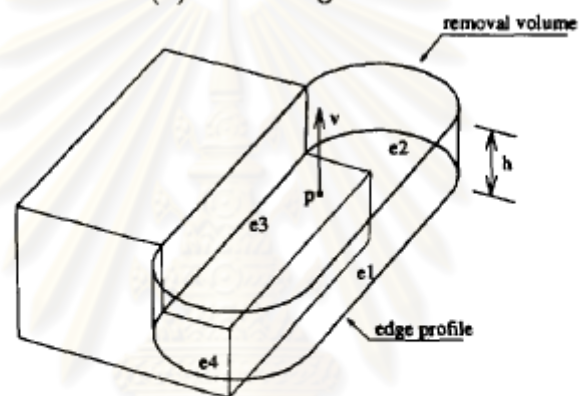
### 2.2.1 การจับคู่รูปร่าง

คุณธิลาและคณะ [4] ได้สรุปวิธีการต่างๆ ในการจับคู่รูปร่างเพื่อที่จะบอกว่าวัตถุสามมิติเหมือนกันหรือคล้ายกันหรือไม่ ดังนี้

ในงานวิจัย [5-8] ได้ใช้ การสกัดลักษณะในแคด/แคม(CAD/CAM) ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้เฉพาะเจาะจงและไม่พอเพียงสำหรับวัตถุสามมิติทั่วไป ตัวอย่างการสกัดลักษณะในแคด/แคม(CAD/CAM) จากงานวิจัย [6] ซึ่งหาลักษณะของการเจาะ และลักษณะของการสี่ของวัตถุสามมิติแสดงดังรูปที่ 2.4 โดยที่รูปบนแสดงลักษณะการเจาะ และรูปล่างแสดงลักษณะการสี่



(a): a drilling feature



(b): a milling feature

Figure 1: Examples of machining features.

รูปที่ 2.4 การสกัดลักษณะในแคด/แคม(CAD/CAM) จากงานวิจัย [6]

ในงานวิจัย [9,10] ได้ใช้ รูปภาพของวัตถุสามมิติในการจับคู่รูปร่าง ซึ่งวิธีนี้ไม่พอเพียงสำหรับวัตถุสามมิติทั่วไป ตัวอย่างการใช้รูปภาพในการจับคู่รูปร่างของวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [9] ซึ่งผลลัพธ์เป็นรูปภาพลักษณะของวัตถุสามมิติจากการใช้เส้นเชื่อมจุดภาพในมุมมองต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.5

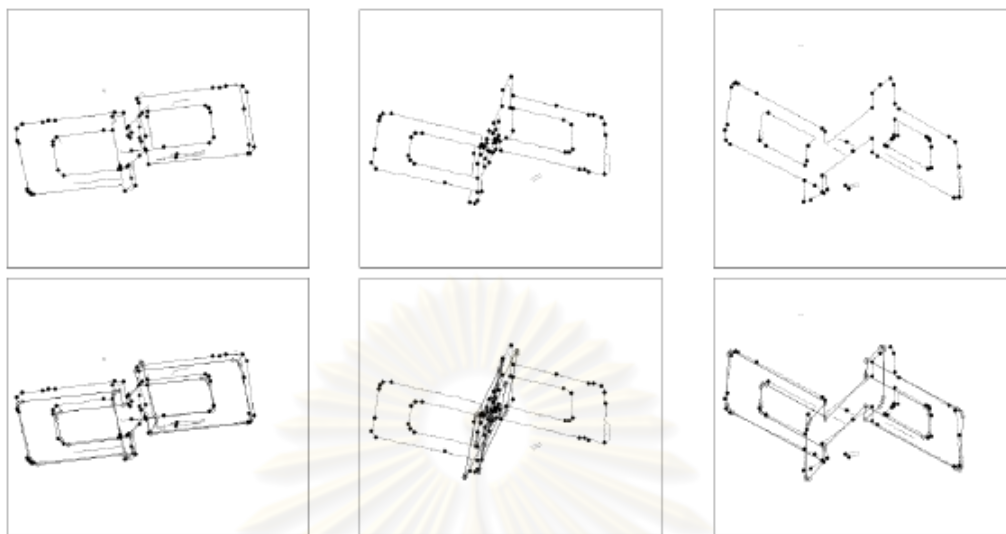


Fig. 4. Experiments with real images of full 3D objects. The modeled object was two standard sheet metal bookends taped together. For each image pair in the figure, on top are the data features connected by edge pixels. On the bottom is the best model transformation, shown by overlaying the model over the data features. The uncertainty allowed was five pixels, a  $10 \times 10$  region. The images are approximately 256 pixels across. The pair (length ratio, relative angle) for the two rows of  $S$  for each image pair left to right are: (1.11, 90.54), (0.28, 26.5), (0.96, 92.19). These provide a measure of nonrigidity in the transformation found. Ideally this is (1, 90).

## รูปที่ 2.5 การใช้รูปภาพในการจับคู่รูปร่างของวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [9]

ส่วนงานวิจัย [7,11-14] ใช้ความโค้งเพื่อหารูปร่างของวัตถุสามมิติ วิธีนี้ถึงแม้ว่าจะทนทานต่อการเคลื่อนที่ การหมุน และย่อส่วน แต่ไม่ทนทานต่อลักษณะแบบลูกคลื่นและสิ่งรบกวน เนื่องจากวัตถุที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นหรือมีสิ่งรบกวนเพียงนิดเดียวก็จะได้ความโค้งที่แทนรูปร่างของวัตถุที่แตกต่างจากวัตถุที่ไม่มีสิ่งรบกวนอย่างมาก ตัวอย่างการใช้ความโค้งเพื่อหารูปร่างของวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [12] แสดงดังรูปที่ 2.6 ด้านบนแสดงวัตถุสามมิติที่ถูกเคลื่อนที่ หมุน และย่อส่วนและความโค้งที่ใช้แทนรูปร่าง ด้านล่างแสดงวัตถุสามมิติต้นฉบับและความโค้งที่ใช้แทนรูปร่าง จะเห็นว่าความโค้งที่ใช้แทนรูปร่างมีลักษณะเหมือนกัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

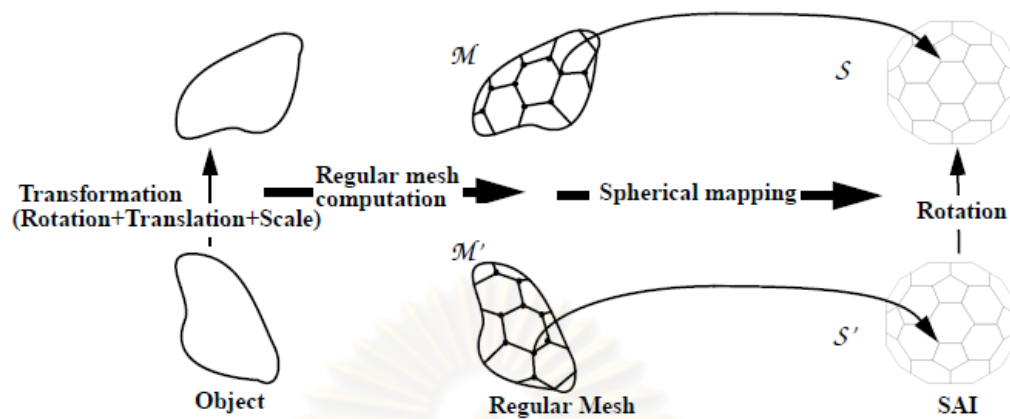


Figure 1: Object recognition using SAIs.

### รูปที่ 2.6 การใช้ความโค้งเพื่อหารูปร่างของวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [12]

งานวิจัย [15,16] ใช้ฮิสโทแกรมในการจับคู่รูปร่างของวัตถุสามมิติ ซึ่งวิธีนี้สามารถแสดงรูปร่างของวัตถุสามมิติได้แบบหยาบๆแต่ไม่บอกลักษณะเฉพาะที่ได้ ตัวอย่างการจับคู่วัตถุสามมิติโดยใช้ฮิสโทแกรมในงานวิจัย [16] แสดงดังรูปที่ 2.7 ฮิสโทแกรมของวัตถุสามมิติรูปแบบต่างๆ ซึ่งวัตถุประเภทเดียวกันมีลักษณะเหมือนกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

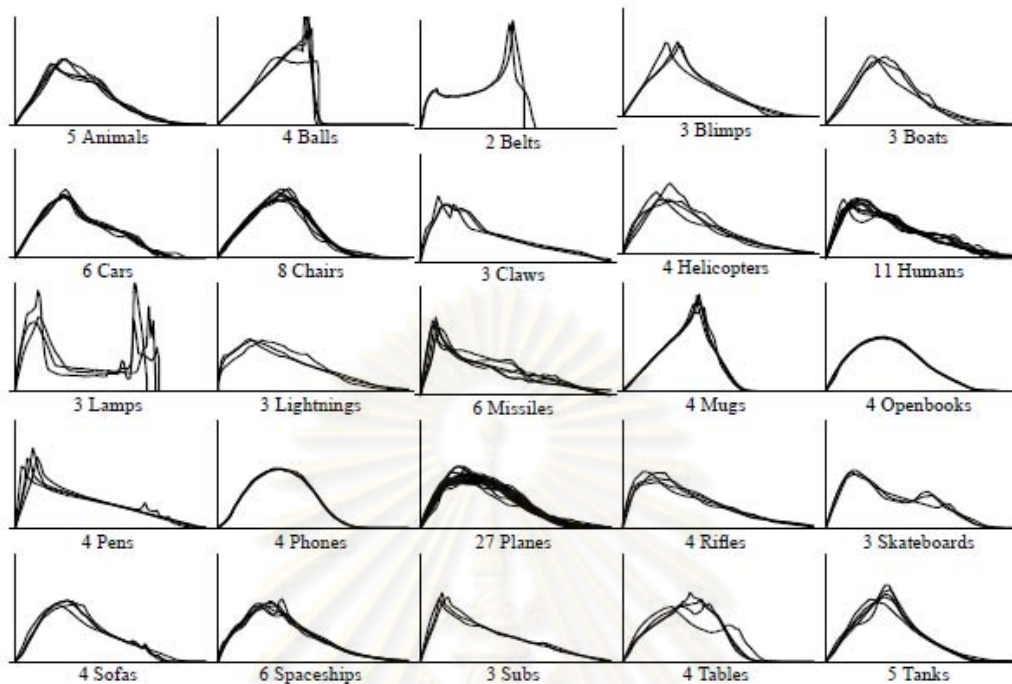


Figure 9. D2 shape distributions for 133 models grouped into 25 classes. Each plot represents a probability distribution of distance.

### รูปที่ 2.7 การจับคู่วัตถุสามมิติโดยใช้ฮิสโทแกรมในงานวิจัย [16]

และมีงานวิจัยต่างๆได้ใช้กระดูกของวัตถุสามมิติในการแทนรูปร่างซึ่งการหากระดูกของวัตถุสามมิตินั้นสามารถทำได้สองวิธีดังนี้

งานวิจัย [17-21] ได้ใช้แกนกลางในการหากระดูกซึ่งวิธีนี้ไม่ทนทานต่อพื้นผิวที่มีลักษณะแบบลูกคลื่นเพราะจะทำให้กระดูกที่ได้มีลักษณะเป็นลูกคลื่นไปด้วย ตัวอย่างการหากระดูกโดยใช้แกนกลางในงานวิจัย [20] ดังรูปที่ 2.8 แสดงวัตถุสามมิติรูปกล่องและกระดูก (บน) วัตถุสามมิติรูปตัวแอลและกระดูก (ล่าง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

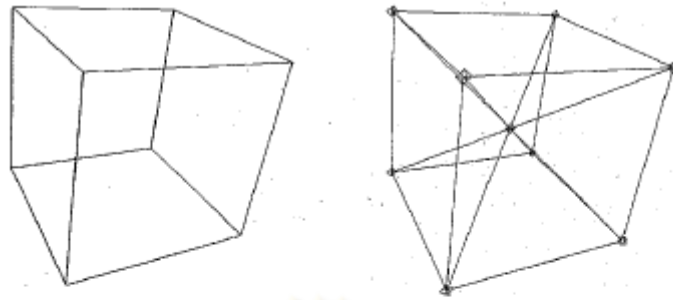


Fig. 9. A cube and its MA.

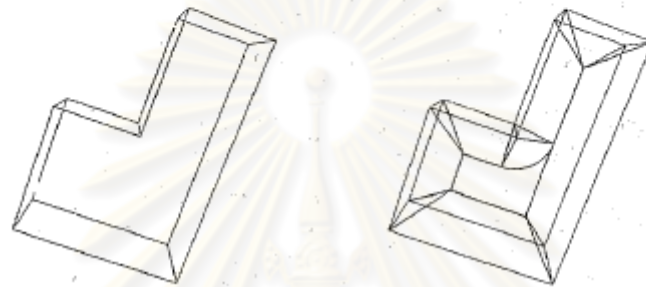


Fig. 10. An L-shaped box and its MA.

รูปที่ 2.8 การหากระดูกโดยใช้แกนกลางในงานวิจัย [20]

ดังนั้นคุณฮิลลาเกและคณะ [4] จึงได้ใช้เรบกราฟที่สามารถแทนกระดูกของวัตถุสามมิติได้ดีกว่าเพราะทนทานต่อลักษณะแบบลูกคลื่นของพื้นผิว จากงานวิจัย [3] ตัวอย่างการใช้เรบกราฟแทนวัตถุสามมิติ ดังรูปที่ 2.9 แสดงวัตถุสามมิติทรงห่วงยางและเรบกราฟที่ใช้ฟังก์ชันความสูงเป็นฟังก์ชันมอร์ส

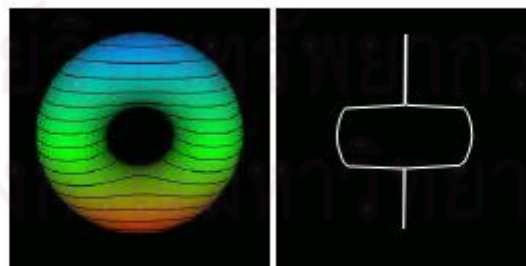


Figure 1: Torus and its Reeb graph using a height function

รูปที่ 2.9 การใช้เรบกราฟแทนวัตถุสามมิติจากงานวิจัย [4]

## 2.2.2 การแทนวัตถุด้วยเรบกราฟ

เรขกราฟ [22] เป็นวิธีในการแทนข้อมูลเชิงทอพอโลยีในรูปแบบของกราฟ โดยแทนจุดวิกฤตบนฟังก์ชันมอร์สในทฤษฎีมอร์ส [2] ด้วยจุดยอดและเชื่อมจุดยอดที่ติดกันด้วยเส้นเชื่อม ถูกนำมาใช้ในการแทนวัตถุสามมิติในงานคอมพิวเตอร์กราฟฟิกครั้งแรกโดยคุณชินากาวาและคณะ [3] และได้ถูกใช้ในด้านต่างๆ เช่น การทำให้เคลื่อนไหว [23] การแบ่งส่วน [24] โดยที่คุณชินากาวาและคณะได้ใช้ฟังก์ชันความสูงเป็นมอร์สฟังก์ชัน ซึ่งการใช้ฟังก์ชันความสูงนั้นไม่ทนทานต่อการหมุนของวัตถุสามมิติ ดังนั้นคุณฮิลากะและคณะ [4] จึงได้เปลี่ยนมอร์สฟังก์ชันเป็นระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยเพื่อแก้ไขปัญหาความไม่ทนทานต่อการหมุน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

นำเสนอวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดของงานวิจัยนี้ โดยกล่าวถึงภาพรวมการทำงาน ขั้นตอนก่อนการดำเนินการ การสร้างเรขกรภาพ การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติโดยอาศัยเรขกรภาพ และการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน

#### 3.1 ภาพรวมของการทำงาน

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานโดยใช้เรขกรภาพในการหาข้อมูลทอพอโลยีเพื่อให้วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีรูปร่างเหมือนวัตถุสามมิติต้นฉบับ โดยมีภาพรวมของการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนตามลำดับ (ไม่นับขั้นตอนก่อนการดำเนินการ) คือ การสร้างเรขกรภาพ การแบ่งส่วน และการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.1 ภาพรวมของการทำงาน

### 3.2 ขั้นตอนก่อนการดำเนินการ

ในการประมาณระยะทางจีโอเดสิกด้วยอัลกอริทึมของดิเจคส์ตราบนั้น ความยาวของเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไปทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณระยะทางจีโอเดสิก ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไปโดยเส้นเชื่อมที่ยาวไปกำหนดได้จากสมการต่อไปนี้

$$l > \frac{0.8}{n} \sum_{i=0}^n l_i$$

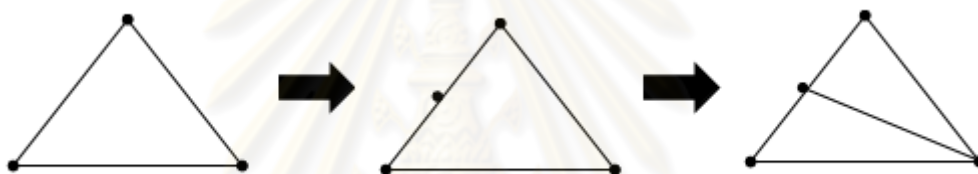
$l$  คือความยาวของเส้นเชื่อม

$l_i$  คือความยาวของเส้นเชื่อม  $i$

$n$  คือจำนวนเส้นเชื่อมทั้งหมด

วิธีการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไปแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้  
 ขั้นตอนการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไปมีดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบเส้นเชื่อมว่าความยาวมากกว่าขีดแบ่งหรือไม่ ถ้าความยาวมากกว่าขีดแบ่งให้ทำต่อในขั้นตอนที่สอง ถ้าไม่ตรวจสอบเส้นเชื่อมต่อไป
2. สร้างจุดยอดที่กึ่งกลางเส้นเชื่อมนั้น
3. ลากเส้นเชื่อมจากจุดยอดนั้นไปยังจุดยอดอีกจุดของหน้า



รูปที่ 3.2 การแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไป

เมื่อแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไปเสร็จแล้วจึงนำไปใช้ดำเนินการ รูปที่ 3.3 แสดงวัตถุสามมิติรูปร่างถ้วยก่อนการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไป (ซ้าย) และหลังการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไป (ขวา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



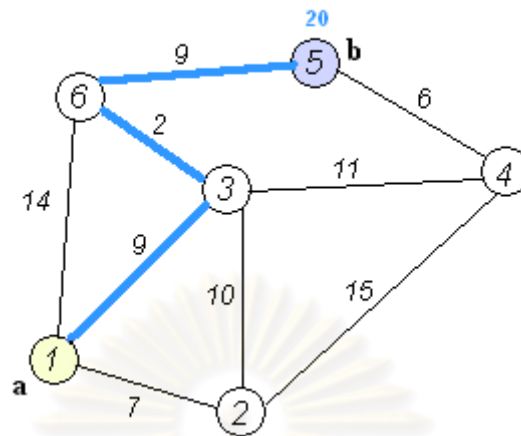
รูปที่ 3.3 วัตถุสามมิติก่อนการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไป (ซ้าย) และหลังการแบ่งเส้นเชื่อมที่ยาวเกินไป (ขวา)

### 3.3 การสร้างเรบกราฟ

ในงานวิจัยนี้ใช้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สฟังก์ชันเพราะระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยทนทานต่อการเคลื่อนที่ การหมุนและการขยายหรือย่อส่วน [5] [7] และใช้การแบ่งนับแบบเอกรูปเพื่อแบ่งนั้ระยะทางจีโอเดสิกที่หาได้ในการสร้างเรบกราฟ ขั้นตอนการสร้างเรบกราฟสามารถแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนย่อยคือ การหาระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยอัลกอริทึมของดิจค์สตรา การแบ่งนั้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบเอกรูป และการหาจุดยอดของเรบกราฟและเชื่อมเส้นเชื่อม

#### 3.3.1 การหาระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยอัลกอริทึมของดิจค์สตรา

การหาระยะทางจีโอเดสิกจากจุดยอดที่กำหนดไปยังจุดยอดอื่นสามารถประมาณได้ด้วยระยะทางที่สั้นที่สุดจากจุดยอดไปยังจุดยอดอื่น [7] ซึ่งสามารถหาได้ด้วยอัลกอริทึมของดิจค์สตราดังรูปที่ 3.4 แสดงการหาระยะจีโอเดสิกจากจุด  $a$  ไปยังจุด  $b$  ด้วยการประมาณจากระยะทางที่สั้นที่สุด (เส้นสีฟ้า) ซึ่งหาได้จากอัลกอริทึมของดิจค์สตรา



รูปที่ 3.4 การหาระยะจีโอเดสิกด้วยการประมาณจากระยะทางที่สั้นที่สุด

แต่การหาระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของทุกจุดยอดนั้นใช้เวลานาน ดังนั้นจึงใช้จุดยอดฐานเพื่อลดจำนวนครั้งในการคำนวณ [7] ซึ่งจุดยอดอื่นๆที่ระยะทางจีโอเดสิกไม่เกินค่าขีดแบ่งจะมีค่าจีโอเดสิกเฉลี่ยเท่ากับจุดยอดฐาน ซึ่งค่าขีดแบ่งในการหาจุดยอดฐานคือ

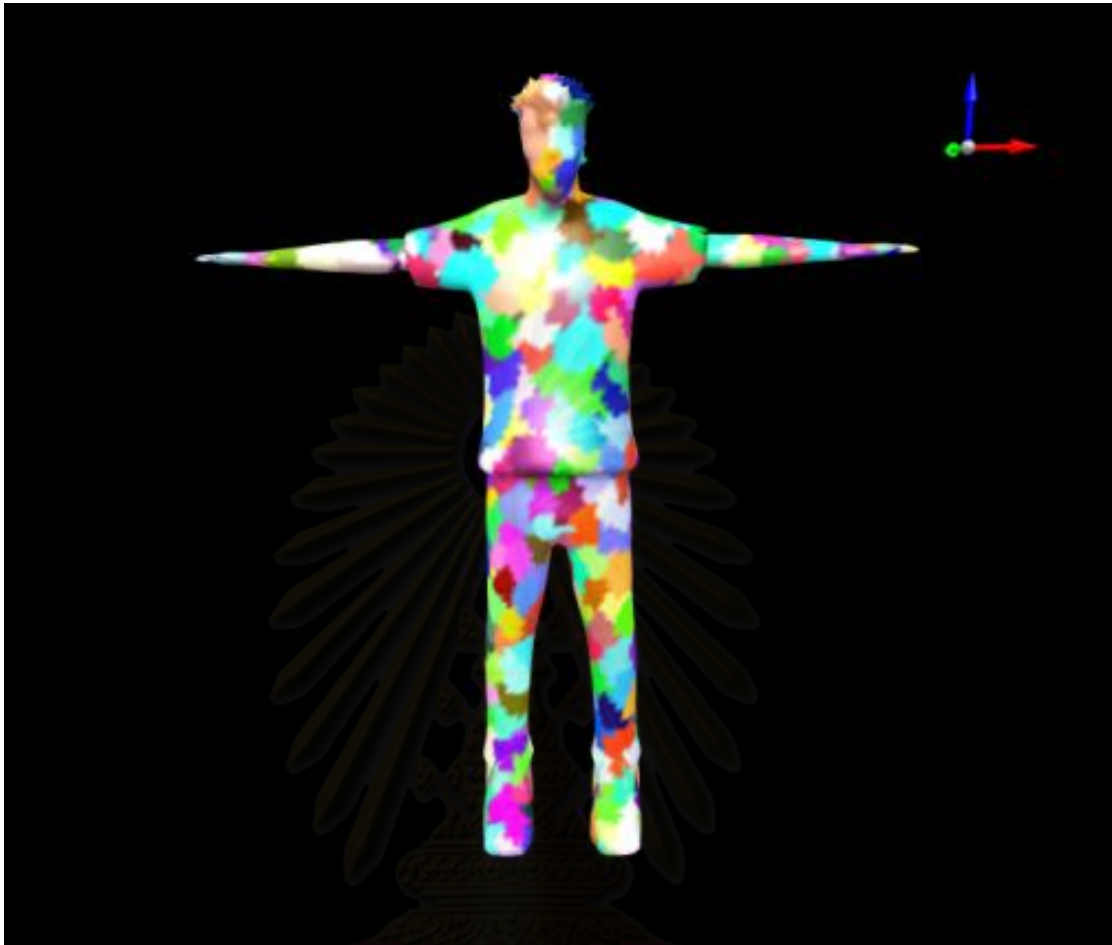
$$r = \sqrt{0.005 \cdot \text{area}(S)}$$

$r$  คือค่าขีดแบ่งระยะทางจีโอเดสิกจากจุดยอดฐาน

$\text{area}(S)$  คือพื้นที่ของพื้นที่ผิวทั้งหมดของวัตถุสามมิติแบบเมฆ

ตัวอย่างจุดยอดฐานของวัตถุสามมิติรูปร่างคนแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยที่จุดในพื้นที่ที่มีสีเดียวกันจะมีจุดยอดฐานเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 จุดยอดฐานของวัตถุสามมิติรูปร่างคน

การหาระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของแต่ละจุดยอดฐานสามารถหาตั้งสมการนี้

$$agd_i = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^n gd_{ij}$$

$agd_i$  คือระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของจุดยอด  $i$

$gd_{ij}$  คือระยะทางจีโอเดสิกจากจุดยอด  $i$  ไปยังจุดยอด  $j$

$n$  คือจำนวนจุดยอดทั้งหมด

เมื่อได้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของทุกจุดยอดแล้วจึงนำมาทำให้เป็นบรรทัดฐานให้ค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังนี้

$$agd_i = \frac{agd_i - agd_{min}}{agd_{max} - agd_{min}}$$

$agd_i$  คือระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของจุดยอด  $i$

$agd_{\min}$  คือระยะทางจีโอเดสิกน้อยสุด

$agd_{\max}$  คือระยะทางจีโอเดสิกมากที่สุด

ตัวอย่างระยะจีโอเดสิกเฉลี่ยหลังจากทำให้เป็นบรรทัดฐานแล้วของวัตถุสามมิติแบบเมชรูปร่างคนแสดงดังรูปที่ 3.6 โดยสีแดงแสดงค่าน้อย สีเขียวแสดงค่าปานกลาง สีฟ้าแสดงค่ามาก



รูปที่ 3.6 ระยะจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติรูปร่างคน

### 3.3.2 การแบ่งนั้บระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบเอกรูป

การแบ่งนั้บในงานวิจัยนี้ใช้การแบ่งนั้บแบบเอกรูปโดยผู้้ใช้สามารถกำหนดจำนวนชุดระดับได้ เนื่องจากได้ทำค่าระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยให้เป็นบรรทัดฐานทำให้ค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังนั้นช่วงของค่าจีโอเดสิกเฉลี่ยจึงขึ้นอยู่กับจำนวนชุดระดับดังนี้

$$r_0 = \left[0, \frac{1}{K}\right), r_1 = \left[\frac{1}{K}, \frac{2}{K}\right), \dots, r_{K-1} = \left[\frac{K-1}{K}, 1\right]$$

$r$  คือช่วงของค่าจีโอเดสิกเฉลี่ย

$K$  คือจำนวนชุดระดับ

ตัวอย่างของการแบ่งนั้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบเอกกรุปของวัตถุสามมิติ  
รูปร่างคนออกเป็นห้าชุดระดับ แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยที่สีเดียวกันคือช่วงของค่าจีโอเดสิกเฉลี่ย  
เดียวกัน



รูปที่ 3.7 การแบ่งนั้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยของวัตถุสามมิติรูปร่างคนออกเป็นห้าชุดระดับ

### 3.3.3 การหาจุดยอดของเรบกราฟและเชื่อมเส้นเชื่อม

เมื่อได้ช่วงของค่าจีโอเดสิกเฉลี่ยแล้วจึงนำมาสร้างเรบกราฟ โดยที่จุดยอดที่อยู่ในช่วงเดียวกันและเชื่อมถึงกันจะรวมกันกลายเป็นจุดของเรบกราฟ ซึ่งตำแหน่งของจุดของเรบกราฟหาได้ดังนี้

$$p = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n V_i$$

$p$  คือตำแหน่งของจุดของเรขกรภาพ

$V_i$  คือตำแหน่งของจุดยอด  $i$  ในช่วงเดียวกันที่เชื่อมต่อกัน

$n$  คือจำนวนของจุดยอดในช่วงเดียวกันที่เชื่อมต่อกัน

และเชื่อมต่อจุดของเรขกรภาพของช่วงที่อยู่ติดกันที่มีจุดยอดติดกันด้วยเส้นเชื่อม ถ้าจำนวนจุดยอดของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยจุดของเรขกรภาพมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งจะรวมกับจุดของเรขกรภาพที่เชื่อมกัน โดยค่าขีดแบ่งคือ

$$n = [0.01 \cdot V]$$

$n$  คือค่าขีดแบ่งในการรวมกันของจุดของเรขกรภาพ

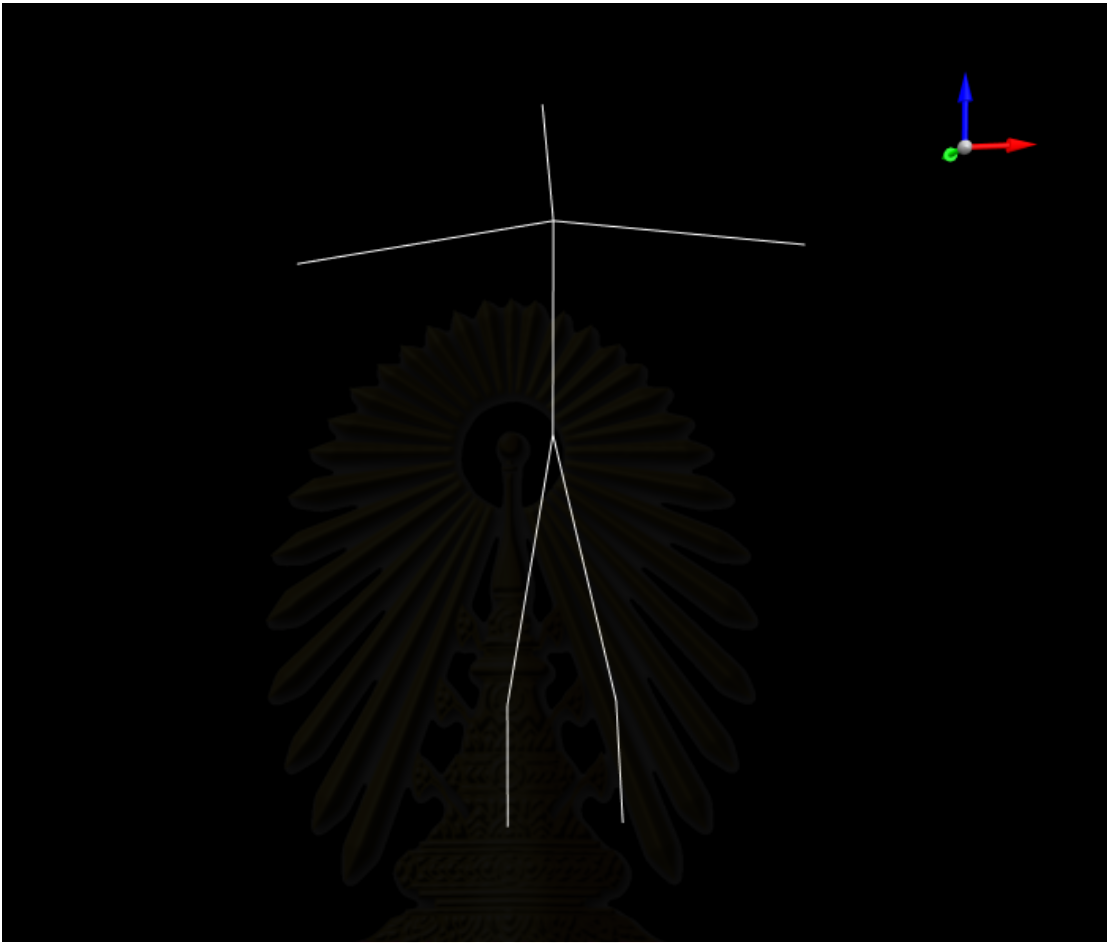
$V$  คือจำนวนจุดยอดทั้งหมด

รูปที่ 3.8 แสดงเรขกรภาพของวัตถุสามมิติรูปร่างคนจากการแบ่งนับออกเป็นห้า

ชุดระดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.8 เรบกราฟของวัตถุสามมิติรูปร่างคนจากการแบ่งนัยออกเป็นห้าชุดระดับ

### 3.4 การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติโดยอาศัยเรบกราฟ

ในการจะแทนรูปเรขาคณิตปฐมฐานตามทอพอโลยีซึ่งในงานวิจัยนี้คือการแทนรูปเรขาคณิตปฐมฐานตามเส้นเชื่อมของเรบกราฟที่หามาได้นั้นต้องหาว่าเส้นเชื่อมของเรบกราฟนั้นแทนจุดยอดใดในวัตถุสามมิติแบบเมช ซึ่งหาได้ดังนี้

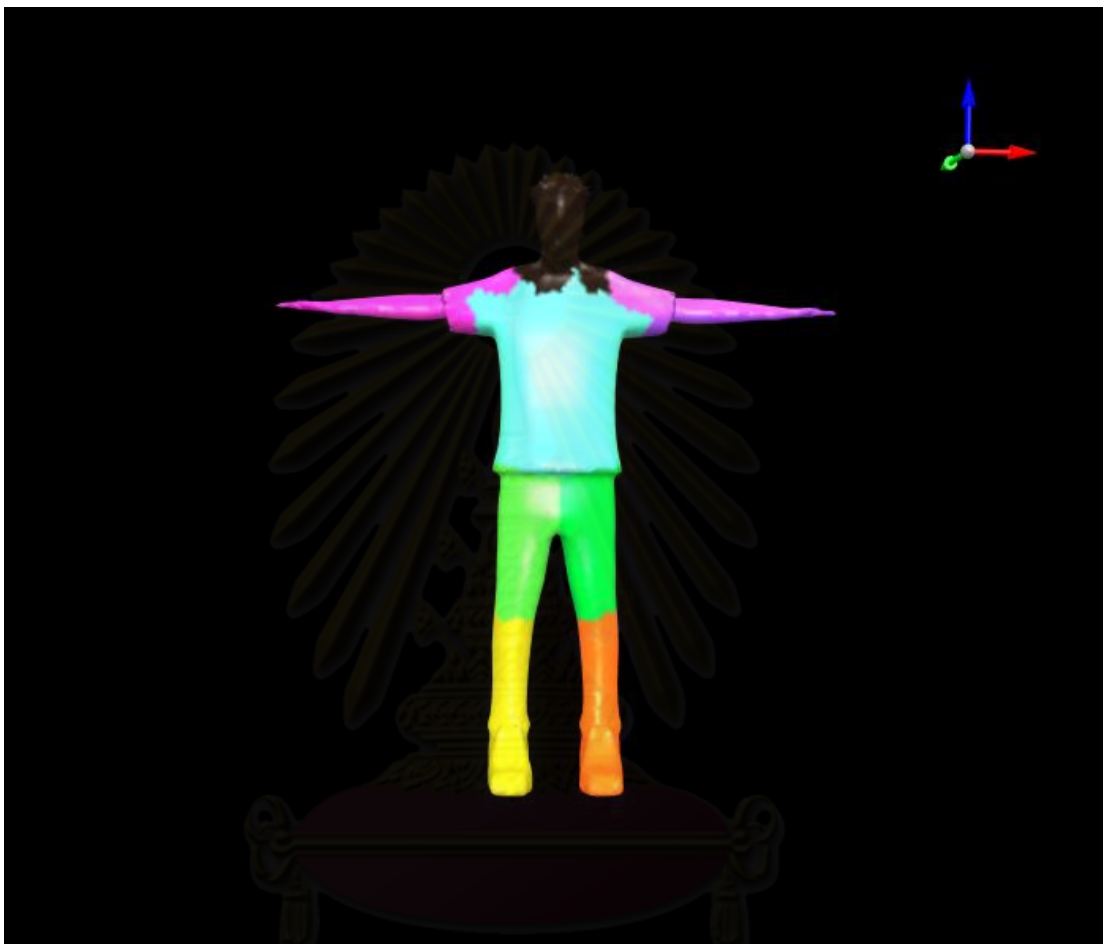
$$\min \{(d_{e1} + d_{n_{e1}}), (d_{e2} + d_{n_{e2}}), \dots, (d_{eK} + d_{n_{eK}})\}$$

$d_e$  คือระยะระหว่างจุดยอดกับเส้นเชื่อมในชุดระดับเดียวกับจุดยอดที่ต้องการหา

$d_{ne}$  คือระยะระหว่างจุดยอดกับจุดของเส้นเชื่อมในชุดระดับเดียวกับจุดยอดที่ต้องการหา

$K$  คือจำนวนเส้นเชื่อมในชุดระดับเดียวกับจุดยอดที่ต้องการหา

รูปที่ 3.9 แสดงวัตถุสามมิติรูปร่างคนที่แบ่งส่วนตามเส้นเชื่อมของเรขกรภาพ โดยที่สีเดียวกันแสดงคือส่วนเดียวกัน



รูปที่ 3.9 วัตถุสามมิติรูปร่างคนที่แบ่งส่วนตามเส้นเชื่อมของเรขกรภาพ

### 3.5 การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน

การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังนี้ นำรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่กำหนดมาทำการแทนวัตถุสามมิติที่แบ่งส่วนโดยเรขกรภาพให้เหมาะสมที่สุด แล้วจึงเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติที่แบ่งส่วนโดยเรขกรภาพ และเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่มีระยะห่างน้อยที่สุด

#### 3.5.1 รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้

รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้งานวิจัยนี้มีสามประเภทได้แก่ ทรงกลม ทรงกระบอก และระนาบ ดังรูปที่ 3.10 แสดงรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้สามประเภท โดยรูปเรขาคณิตปฐม

ฐานที่ใช้มีจำนวนหน้าเท่ากัน ที่กำหนดเช่นนี้เนื่องจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป้านในโลกเสมือนที่เกิดจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานในขณะนี้นั้นมีสี่ประเภทคือ ทรงกลม ทรงกระบอก ระนาบ และทรงห่วย่าง แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้ทรงห่วย่างเนื่องจากทรงห่วย่างสามารถแทนได้ด้วยทรงกระบอกต่อกัน (ถ้าหากโลกเสมือนกำหนดรูปแบบรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป้านเพิ่มก็สามารถเพิ่มรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้ได้)



รูปที่ 3.10 รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้สามประเภท ทรงกลม(ซ้าย) ทรงกระบอก(กลาง) ระนาบ (ขวา)

### 3.5.2 วิธีการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน

วิธีการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีขั้นตอนดังนี้ ปรับรูปเรขาคณิตปฐมฐานให้มีแกน ขนาด และอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับส่วนที่ต้องการแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานของวัตถุสามมิติแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับส่วนของวัตถุสามมิติ ซึ่งรูปเรขาคณิตปฐมฐานแต่ละประเภทมีวิธีการปรับแกน ขนาดและตำแหน่งที่ต่างกันดังนี้

#### 3.5.2.1 ทรงกลม

แกน ตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสมของทรงกลมกับส่วนที่ต้องการแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานของวัตถุสามมิติหาได้ดังนี้

1. แกน สำหรับทรงกลมไม่มีแกน
2. ตำแหน่ง จุดศูนย์กลางของทรงกลมหาได้จากสมการนี้

$$x = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}, y = \frac{y_{max} - y_{min}}{2}, z = \frac{z_{max} - z_{min}}{2}$$

x คือตำแหน่งในแกน x ของจุดศูนย์กลางของทรงกลม

$y$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ของจุดศูนย์กลางของทรงกลม

$z$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ของจุดศูนย์กลางของทรงกลม

$x_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$y_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$z_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$x_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

$y_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

$z_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

3. ขนาด ขนาดของทรงกลมหาได้จากสมการนี้

$$r = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n d_i$$

$r$  คือรัศมีของทรงกลม

$n$  คือจำนวนจุดยอดทั้งหมด

$d_i$  คือระยะทางจากจุดศูนย์กลางไปยังจุดยอด  $i$

ตัวอย่างการหาทรงกลมที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัตถุสามมิติแสดงดังรูปที่

3.11 ซ้ายแสดงวัตถุสามมิติรูปร่างคนส่วนหัว กลางแสดงทรงกลมที่เหมาะสมที่สุด ขวาแสดงการเปรียบเทียบระหว่างวัตถุสามมิติรูปร่างคนส่วนหัวกับทรงกลมที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 3.11 การหาทรงกลมที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัตถุสามมิติ

### 3.5.2.2 ทรงกระบอก

แกน ตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสมของทรงกระบอกกับส่วนที่ต้องการแทนด้วยรูปเรขาคณิตพื้นฐานของวัตถุสามมิติหาได้ดังนี้

1. แกน แกนของทรงกระบอกคือเส้นเชื่อมของเรขกราฟ
2. ตำแหน่ง จุดศูนย์กลางของทรงกระบอกหาได้จากสมการดังนี้

$$x = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}, y = \frac{y_{max} - y_{min}}{2}, z = \frac{z_{max} - z_{min}}{2}$$

$x$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ของจุดศูนย์กลางของทรงกระบอก

$y$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ของจุดศูนย์กลางของทรงกระบอก

$z$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ของจุดศูนย์กลางของทรงกระบอก

$x_{min}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$y_{min}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$z_{min}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$x_{max}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

$y_{max}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

$z_{max}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

3. ขนาด ขนาดของทรงกระบอกหาได้จากสมการนี้

$$r = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n d_i$$

$r$  คือรัศมีของทรงกระบอก

$n$  คือจำนวนจุดยอดทั้งหมด

$d_i$  คือระยะทางจากแกนไปยังจุดยอด  $i$

$$l = \sqrt{(x_{max} - x_{min})^2 + (y_{max} - y_{min})^2 + (z_{max} - z_{min})^2}$$

$l$  คือความยาวของทรงกระบอก

$x_{min}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอดตามแนวแกน

$y_{min}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอดตามแนวแกน

$z_{min}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอดตามแนวแกน

$x_{max}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอดตามแนวแกน

$y_{max}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอดตามแนวแกน

$z_{max}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอดตามแนวแกน

ตัวอย่างการหาทรงกระบอกที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัตถุสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.12 ซ้ายแสดงวัตถุสามมิติรูปร่างคนส่วนแขน กลางซ้ายแสดงแกนของทรงกระบอก กลางขวาแสดงทรงกระบอกที่เหมาะสมที่สุด ขวาแสดงการเปรียบเทียบระหว่างวัตถุสามมิติรูปร่างคนส่วนแขนกับทรงกระบอกที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 3.12 การหาทรงกระบอกที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัตถุสามมิติ

### 3.5.2.3 ระนาบ

แกน ตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสมของระนาบกับส่วนที่ต้องการแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานของวัตถุสามมิติหาได้ดังนี้

1. แกน แกนของระนาบหรือเส้นแนวฉากหาจากสมการดังนี้

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n N_i$$

$N$  คือเส้นแนวฉากของระนาบ

$n$  คือจำนวนจุดยอดทั้งหมด

$N_i$  คือเส้นแนวฉากของจุดยอด  $i$

2. ตำแหน่ง ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของระนาบหาได้จากสมการดังนี้

$$x = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}, y = \frac{y_{max} - y_{min}}{2}, z = \frac{z_{max} - z_{min}}{2}$$

$x$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ของจุดศูนย์กลางของระนาบ

$y$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ของจุดศูนย์กลางของระนาบ

$z$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ของจุดศูนย์กลางของระนาบ

$x_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$y_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$z_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอด

$x_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

$y_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

$z_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอด

3. ขนาด ขนาดของระนาบหาได้จากสมการดังนี้

$$l = \sqrt{(x_{\max} - x_{\min})^2 + (y_{\max} - y_{\min})^2 + (z_{\max} - z_{\min})^2}$$

$l$  คือความยาวหรือความกว้างของระนาบ

$x_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอดตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับแกนของระนาบ

$y_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอดตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับแกนของระนาบ

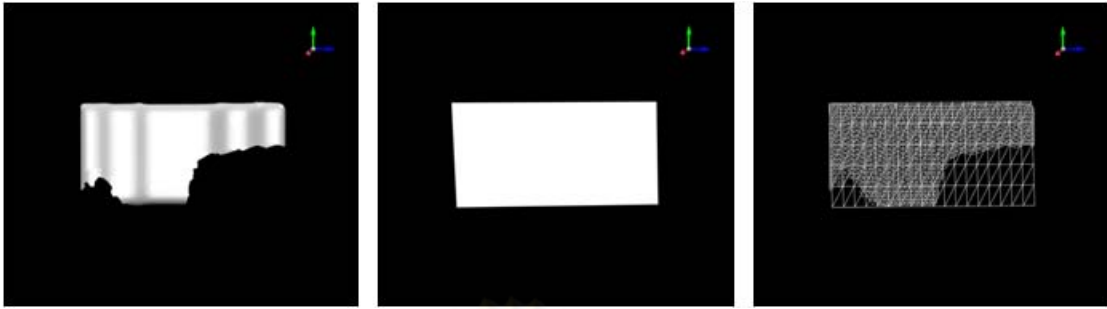
$z_{\min}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่าน้อยที่สุดของจุดยอดตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับแกนของระนาบ

$x_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $x$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอดตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับแกนของระนาบ

$y_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $y$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอดตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับแกนของระนาบ

$z_{\max}$  คือตำแหน่งในแกน  $z$  ที่มีค่ามากที่สุดของจุดยอดตามแนวแกนที่ตั้งฉากกับแกนของระนาบ

ตัวอย่างการหาระนาบที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัตถุสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.13 ซ้ายแสดงวัตถุสามมิติรูปร่างเก้าอี้ส่วนนักพิง กลางแสดงระนาบที่เหมาะสมที่สุด ขวาแสดงการเปรียบเทียบระหว่างวัตถุสามมิติรูปร่างเก้าอี้ส่วนนักพิงกับระนาบที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 3.13 การหาระนาบที่เหมาะสมที่สุดกับส่วนของวัตถุสามมิติ

เมื่อปรับแกน ขนาด และตำแหน่งของรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่กำหนดทุกประเภทให้เหมาะสมแล้วจึงเปรียบเทียบกับส่วนที่ต้องการเพื่อเลือกที่จะแทนส่วนของวัตถุของสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานใดดังนี้

$$primitive = \min \left( \sum_{i=0}^n area(F_{0i}) \cdot F_{0i}, \sum_{i=0}^n area(F_{1i}) \cdot F_{1i}, \sum_{i=0}^n area(F_{2i}) \cdot F_{2i} \right)$$

primitive คือรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ใช้แทน

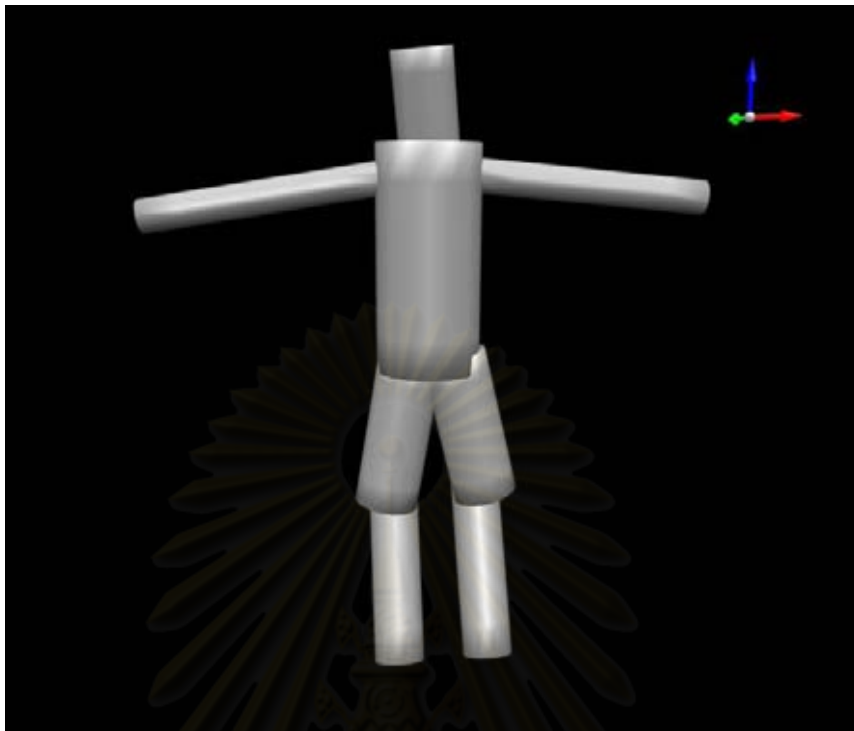
n คือจำนวนหน้าทั้งหมดของรูปเรขาคณิตปฐมฐาน(เท่ากันทั้งสามประเภท)

$F_i$  คือตำแหน่งของหน้า i

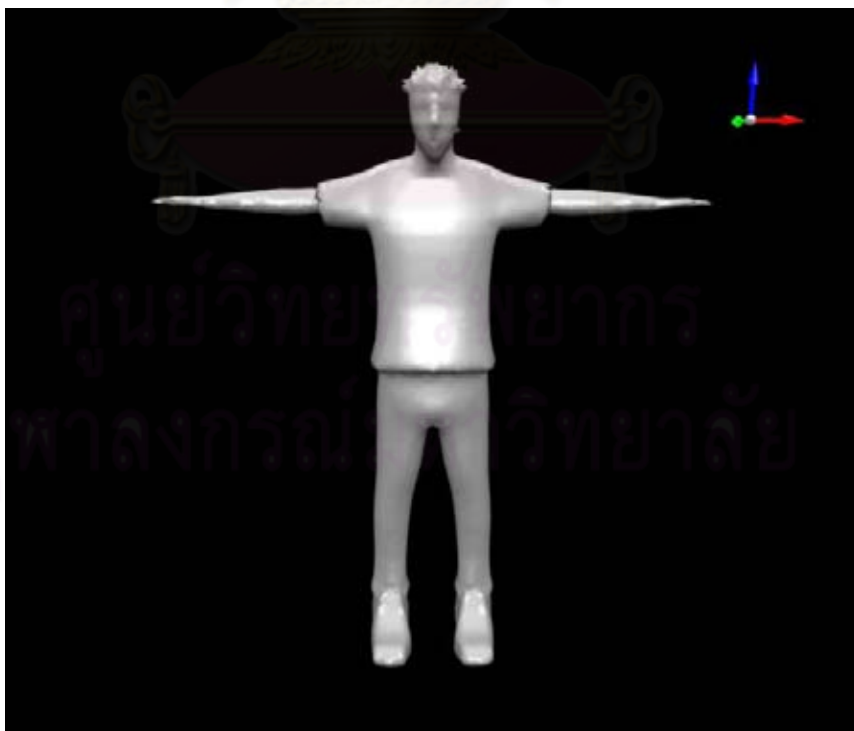
$area(F_i)$  คือพื้นที่ของหน้า i

แทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานจนครบทุกเส้นเชื่อมของเรขกราด  
 ดังรูปที่ 3.14 แสดงวัตถุสามมิติรูปร่างคนที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานจากการแบ่งนับด้วยชุดระดับห้า จากวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างคนรูปที่ 3.15





รูปที่ 3.14 วัตถุสามมิติที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน



รูปที่ 3.15 วัตถุสามมิติต้นฉบับ

### 3.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพความซับซ้อนเชิงเวลา

ความซับซ้อนเชิงเวลาของงานวิจัยนี้ตามขั้นตอนต่าง ๆ มีดังนี้

1. การหาระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยด้วยอัลกอริทึมของดิเจคส์ตรา

$$O(V \log V)$$

$V$  คือจำนวนจุดยอด

เนื่องจากหาระยะทางจีโอเดสิกไปยังทุกจุดยอดจึงทำ  $V$  ครั้งและแต่ละครั้งมีการใส่ค่าเข้าไปในแถวคอยซึ่งใช้เวลา  $\log V$  และหาเท่ากับจำนวนจุดยอดฐานซึ่งจำนวนจุดยอดฐานมีค่าน้อยกว่าจำนวนจุดยอดมากดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบต่อความซับซ้อนเชิงเวลา

2. การแบ่งนับระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยแบบเอกรูป

$$O(V)$$

$V$  คือจำนวนจุดยอด

เนื่องจากแบ่งนับตามจำนวนจุดยอด  $V$  ในแต่ละครั้งทำตามจำนวนจุดระดับซึ่งจำนวนจุดระดับเป็นค่าคงที่ไม่มีผลกระทบต่อความซับซ้อนเชิงเวลา

3. การสร้างเรบกราฟ

$$O(V)$$

$V$  คือจำนวนจุดยอด

4. การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติโดยอาศัยเรบกราฟ

$$O(V)$$

$V$  คือจำนวนจุดยอด

5. การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน

$$O(V)$$

$V$  คือจำนวนจุดยอด

## บทที่ 4

### การทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยการใช้เรขกรภาพในการหาข้อมูลทอพอโลยีเพื่อนำข้อมูลทอพอโลยีไปใช้ในการแทนรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยการเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติเพื่อให้ได้รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่เหมาะสมที่สุด โดยการทดสอบนั้นจะทดสอบความต่างของแบบจำลองสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับแบบจำลองสามมิติต้นฉบับว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

โดยการโปรแกรมทดสอบพัฒนาในโปรแกรม Visual studio 2008 บนหน่วยประมวลผล Intel Core 2 Duo E7300 2.66 GHz และหน่วยความจำ 1.99 GB of RAM

วัตถุสามมิติแบบเมชต้นฉบับนำมาจากฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัยพรินซ์ตัน (Princeton University) จำนวน 380 ชิ้น แบ่งเป็น 19 ประเภท ดังนี้ คน, ถ้วย, แวนตา, เครื่องบิน, มด, แก้ว, ปลาหมึก, โต๊ะ, ตุ๊กตาหมี, มือ, คีม, ปลา, นก, สัตว์ประหลาด, รูปปั้น, กล้อง, ชิ้นส่วนเครื่องจักร, แจกัน และ สัตว์

#### 4.1 ภาพรวมของการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัยในการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยทำการทดสอบความต่างของแบบจำลองสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับแบบจำลองสามมิติต้นฉบับโดยวัดจากระยะทางเฮาส์ดอร์ฟ เนื่องจากระยะทางเฮาส์ดอร์ฟสามารถบอกได้ว่าวัตถุสามมิติทั้งสองมีความเหมือนกันมากขนาดไหน (ค่าน้อยแสดงว่าเหมือนกันมาก ค่ามากแสดงว่าเหมือนกันน้อย)

#### 4.2 การทดสอบความต่างของแบบจำลองสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับแบบจำลองสามมิติต้นฉบับ

การทดสอบความต่างของแบบจำลองสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับแบบจำลองสามมิติต้นฉบับมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

##### 4.2.1 ข้อยุทธ

ประเภทของข้อมูลนำเข้าสำหรับหาระยะทางเฮาส์ดอร์ฟคือแบบจำลองสามมิติแบบเมชต้นฉบับประเภทออฟ (off) และแบบจำลองสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานประเภทออฟ (off)

#### 4.2.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบนี้วัดระยะทางแฮสเตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับจำนวน 380 ชิ้นโดยแบ่งเป็นรูปร่างต่าง ๆ 19 ประเภท ประเภทละ 20 ชิ้นจากฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัยพรินซ์ตัน (Princeton University)

#### 4.2.3 เครื่องมือที่ใช้

ในการทดสอบนี้ การหาระยะทางแฮสเตอร์ฟโดยใช้โปรแกรม metro [25]

#### 4.2.4 สมมุติฐาน

วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีรูปร่างเหมือนกับวัตถุสามมิติต้นฉบับ

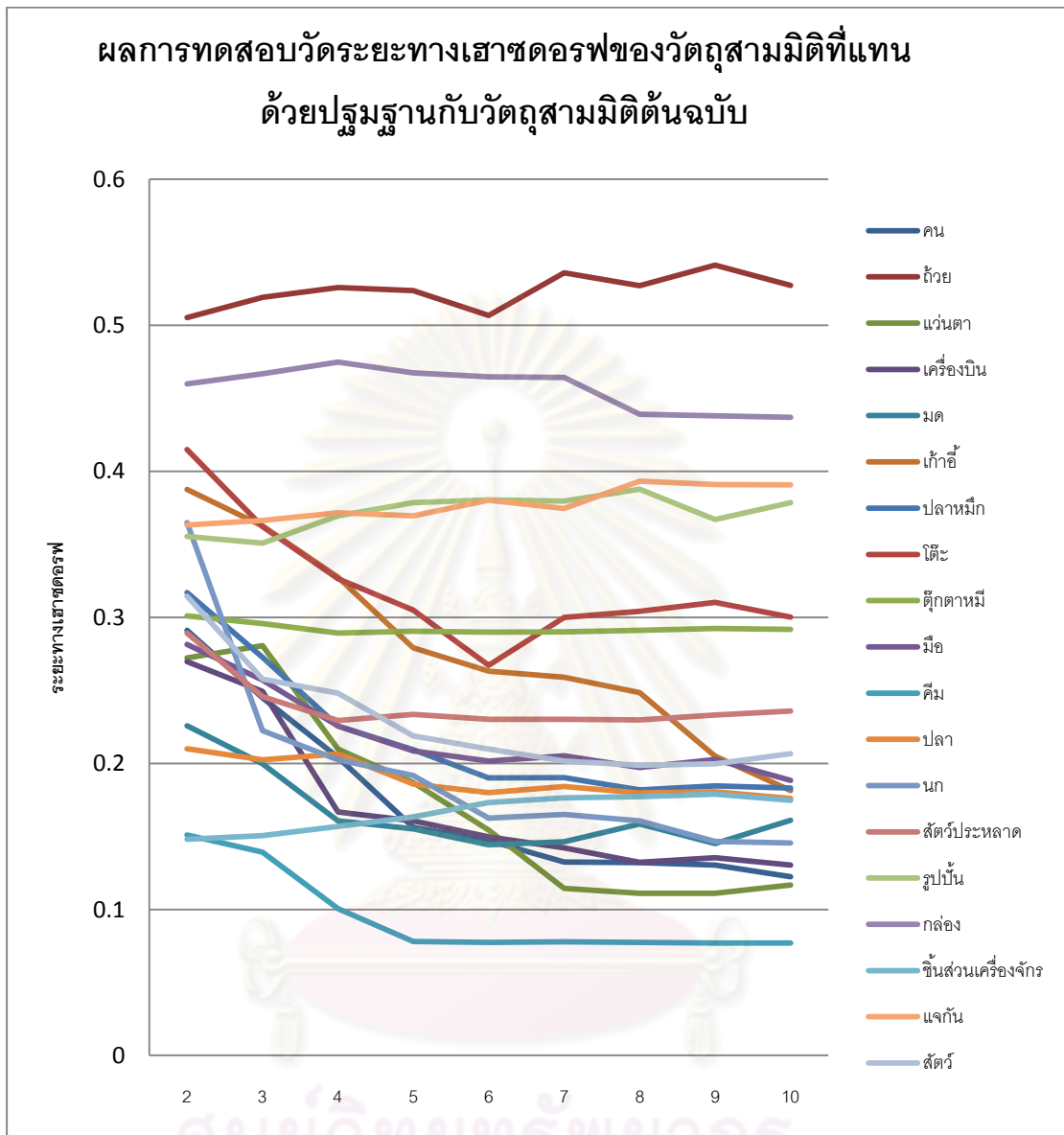
### 4.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮสเตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับแสดงดังตารางที่ 4.1 แกนตั้งคือระยะทางจีโอเดสิก แกนนอนคือจำนวนชุดระดับที่ใช้ โดยแยกตามประเภทของโมเดลซึ่งใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภท

ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮสเตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรวมทุกประเภทแสดงดังตารางที่ 4.2 แกนตั้งคือระยะทางจีโอเดสิก แกนนอนคือจำนวนชุดระดับที่ใช้

ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮสเตอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับแบ่งเป็น 19 ประเภท ดังนี้ คน, ถ้วย, แวนดา, เครื่องบิน, มด, แก้ว, ปลาหมึก, โต้ะ, ตุ๊กตาหมี, มือ, คีม, ปลา, นก, สัตว์ประหลาด, รูปปั้น, กล้อง, ชิ้นส่วนเครื่องจักร, แจกัน และ สัตว์ แสดงดังตารางที่ 4.3, ตารางที่ 4.4, ตารางที่ 4.5, ตารางที่ 4.6, ตารางที่ 4.7, ตารางที่ 4.8, ตารางที่ 4.9, ตารางที่ 4.10, ตารางที่ 4.11, ตารางที่ 4.12, ตารางที่ 4.13, ตารางที่ 4.14, ตารางที่ 4.15, ตารางที่ 4.16, ตารางที่ 4.17, ตารางที่ 4.18, ตารางที่ 4.19, ตารางที่ 4.20 และตารางที่ 4.21 ตามลำดับ แกนตั้งคือระยะทางจีโอเดสิก แกนนอนคือจำนวนชุดระดับที่ใช้

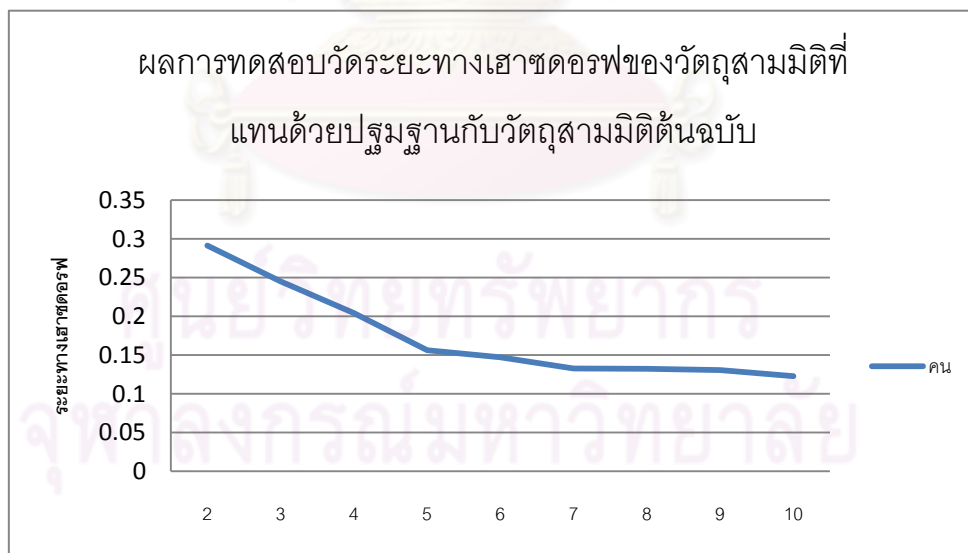
เวลาที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.22 แกนตั้งคือเวลาที่ใช้หน่วยเป็นวินาที แกนนอนคือจำนวนจุดยอดคูณกับลอการิทึมของจำนวนจุดยอด จุดที่สูงผิดปกติคือวัตถุสามมิติรูปถ้วยหมายเลข 39 เนื่องจากมีหน้าซอกกันดังรูปที่ 4.1



ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวัดระยะทางแฮชคอร์ฟของวัสดุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัสดุสามมิติต้นฉบับ



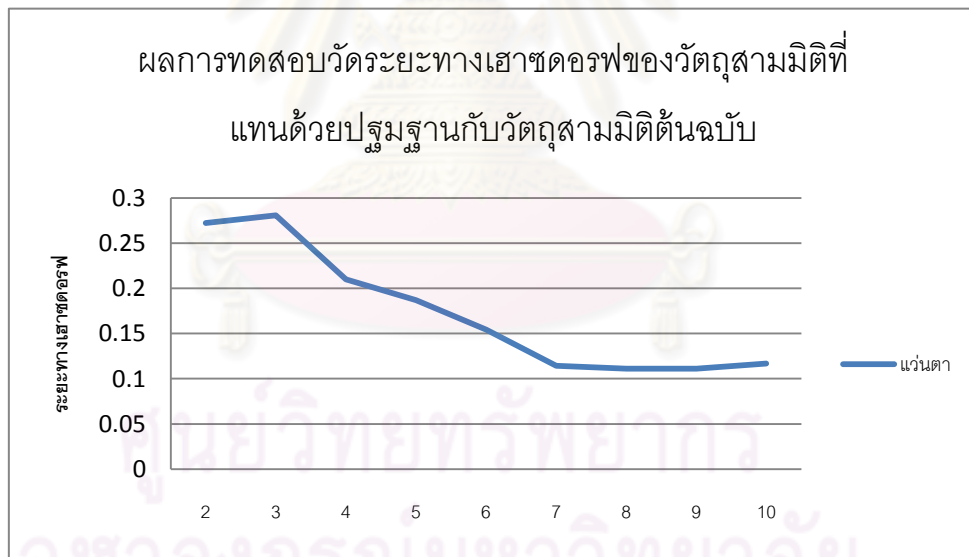
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐุมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรวมทุกประเภท



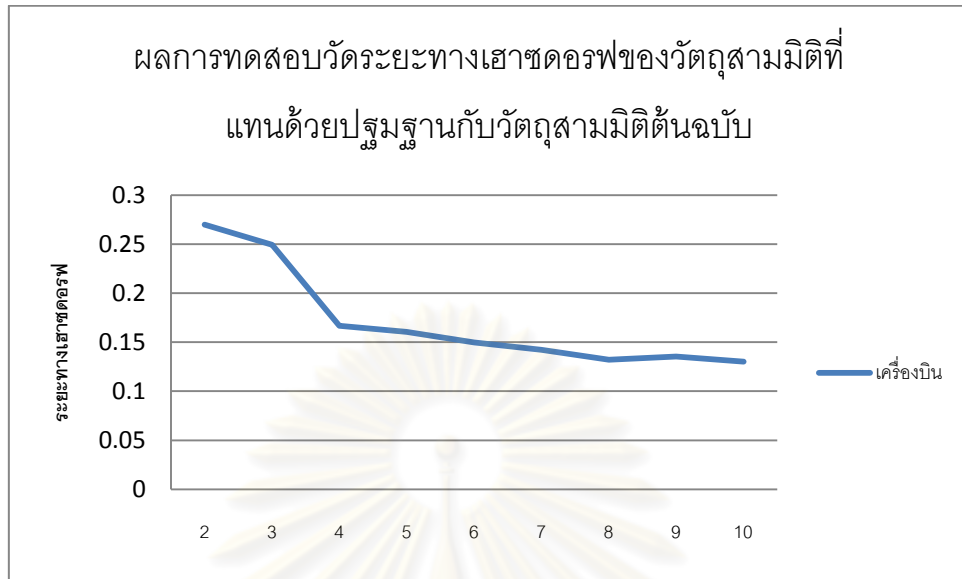
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐุมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างคน



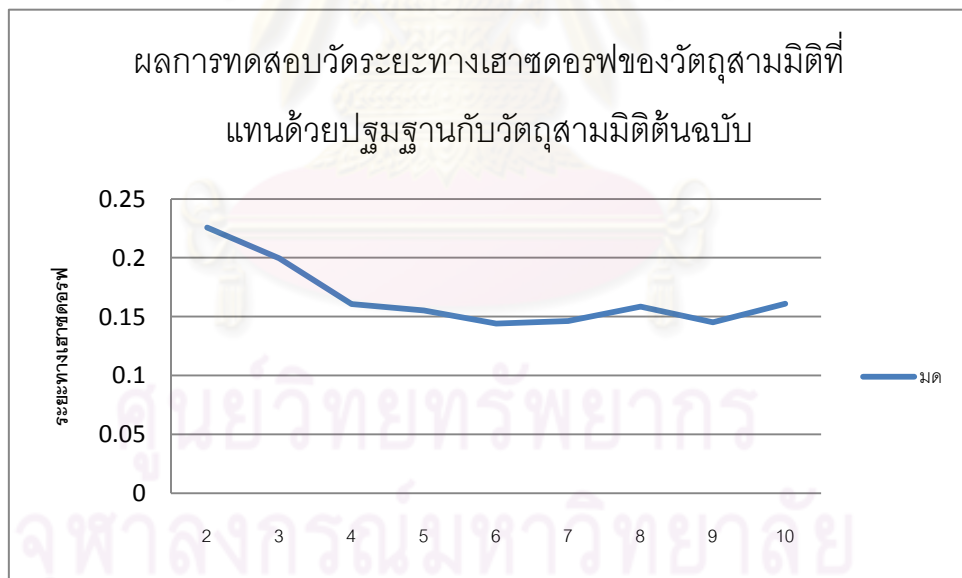
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างถั่ว



ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างแวนดา

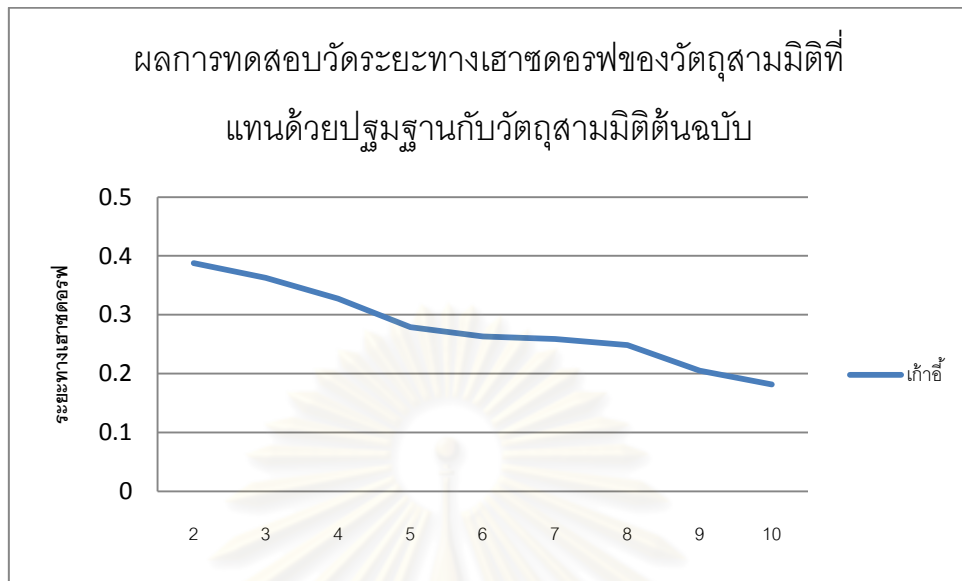


ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างเครื่องบิน



ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างมด





ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างแก้วอี



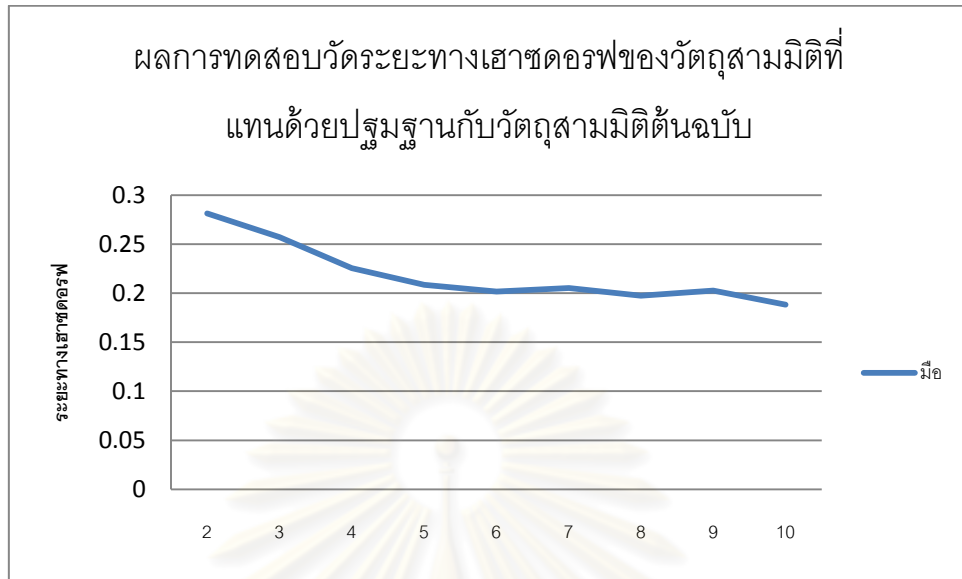
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างปลาหมึก



ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างโต๊ะ



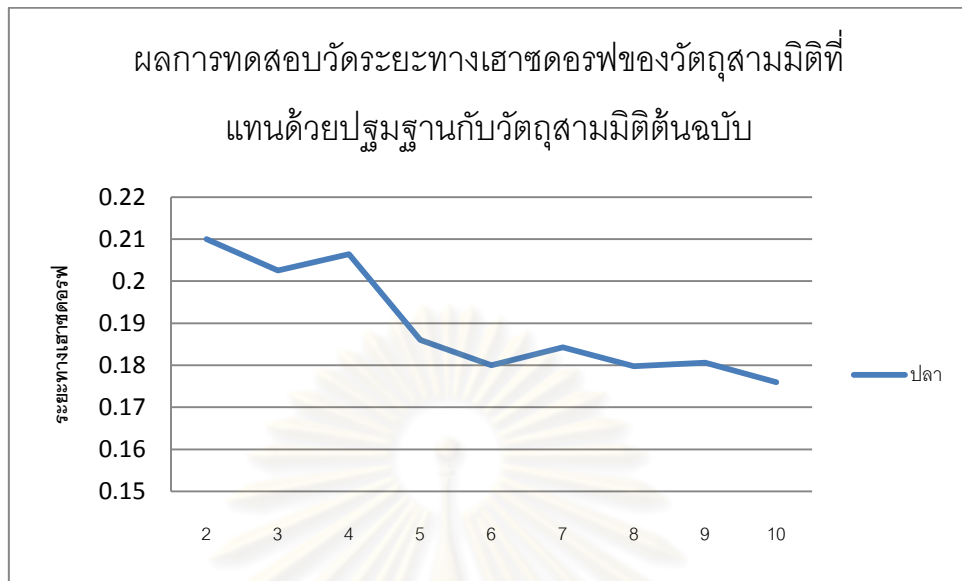
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างตุ๊กตาหมี



ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างมือ



ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างคีม



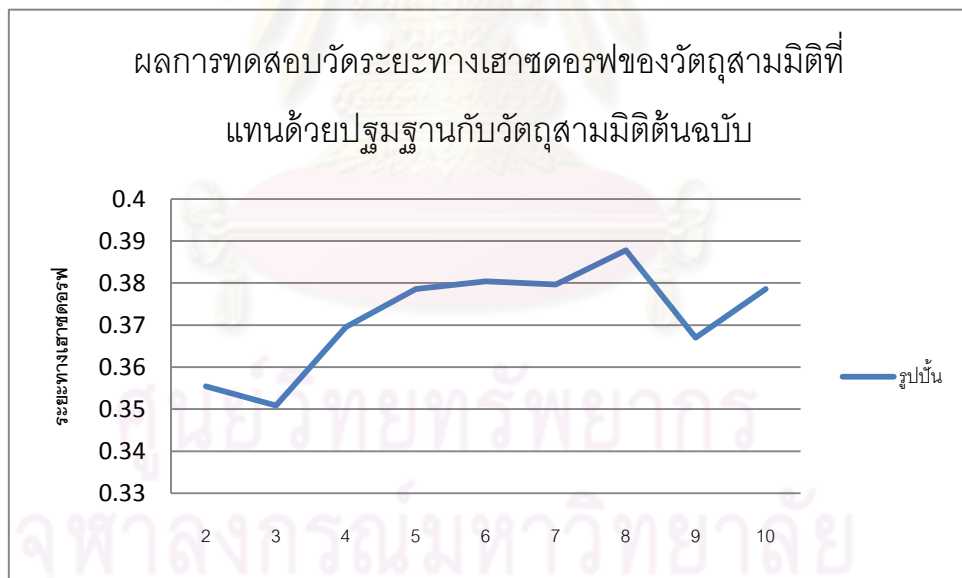
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างปลา



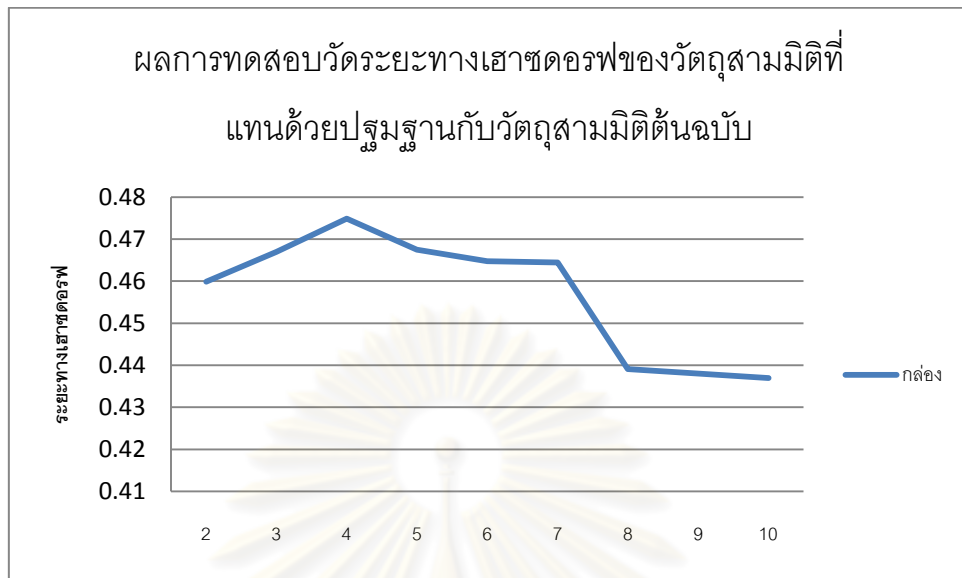
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างนก



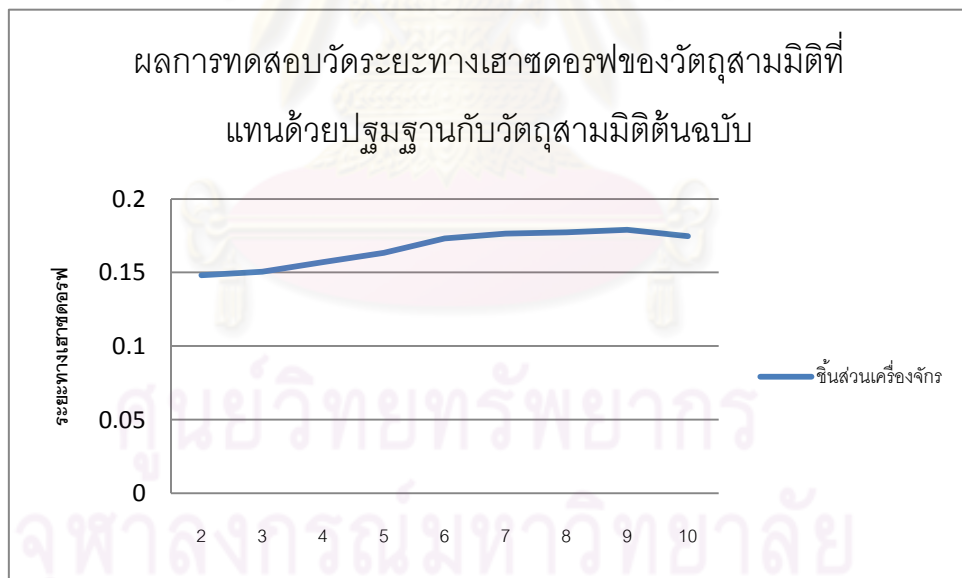
ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างสัตว์ประหลาด



ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างรูปปั้น



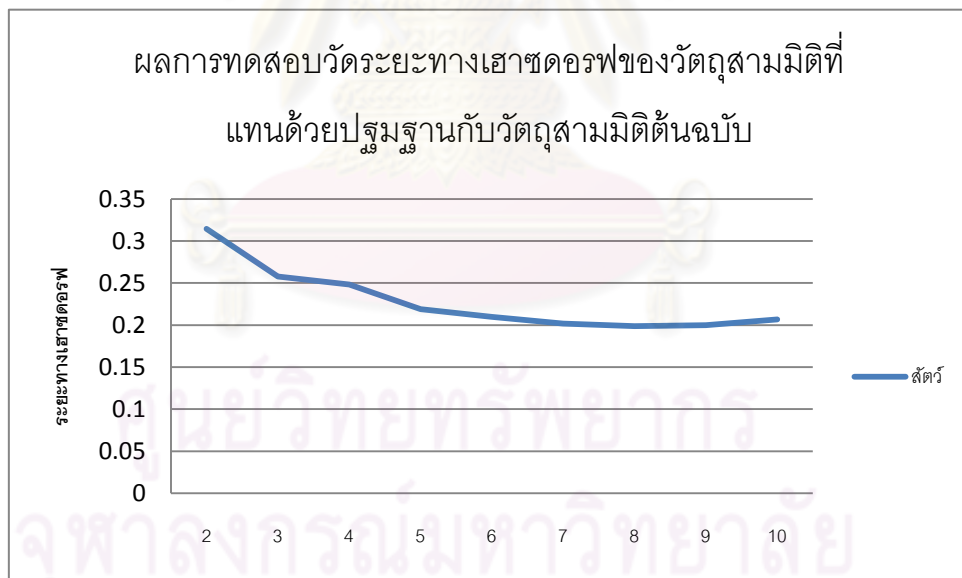
ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างกล่อง



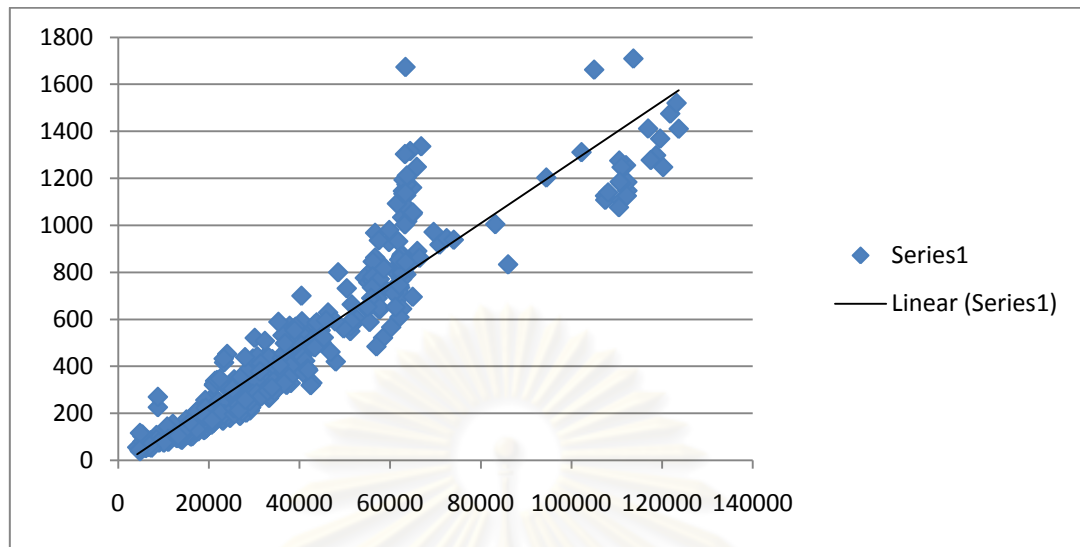
ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างชิ้นส่วนเครื่องจักร



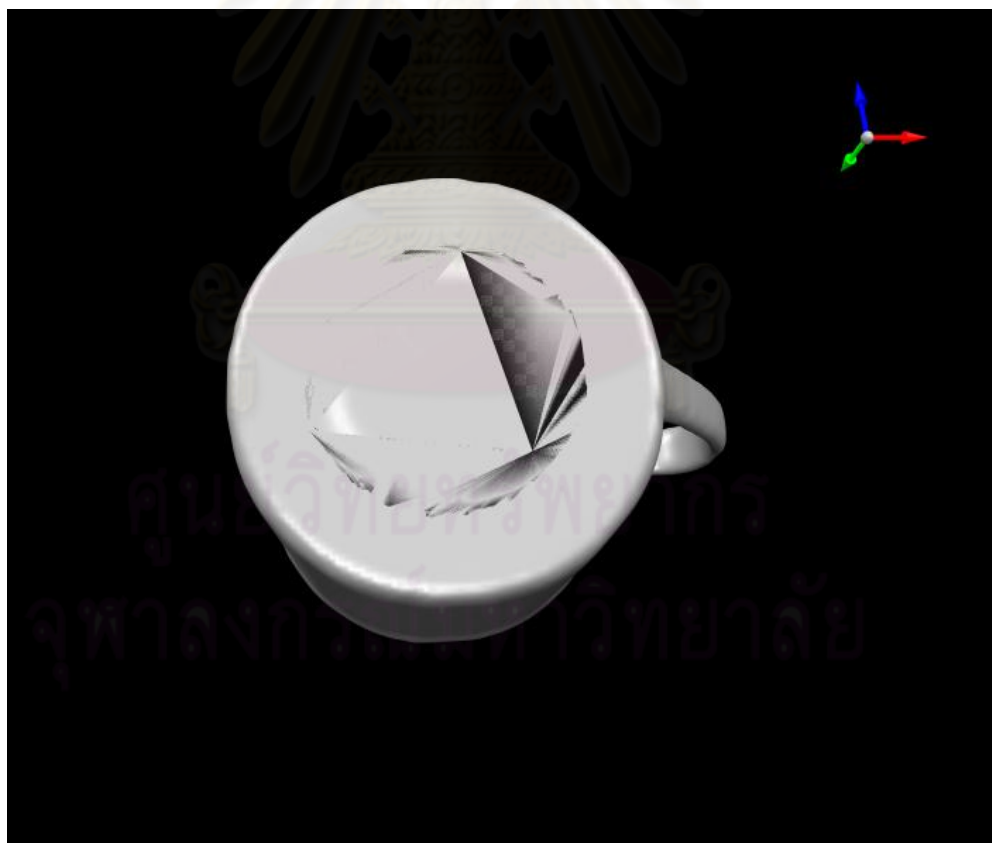
ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างแจกัน



ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤๅสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิต  
ปฐุมฐานกับวัดฤๅสามมิติต้นฉบับรูปร่างสัตว์



ตารางที่ 4.22 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.1 วัตถุสามมิติรูปถ้วยหมายเลข 39 ที่มีค่าเวลาสูงผิดปกติเนื่องจากหน้าซ้อนกัน



#### 4.4 วิเคราะห์ผล

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าวัตถุรูปร่างคีมมีค่าระยะทางเฮาซทรอปเฟนเดียลน้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่าวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีความเหมือนกับวัตถุสามมิติต้นฉบับมาก เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สฟังก์ชันทำให้เหมาะสมกับวัตถุที่มีลักษณะที่นูนออกมา ตัวอย่างวัตถุรูปร่างคีมที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสิบ) แสดงดังรูปที่ 4.2 จากวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างคีมดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 วัตถุรูปร่างคีมที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสิบ)

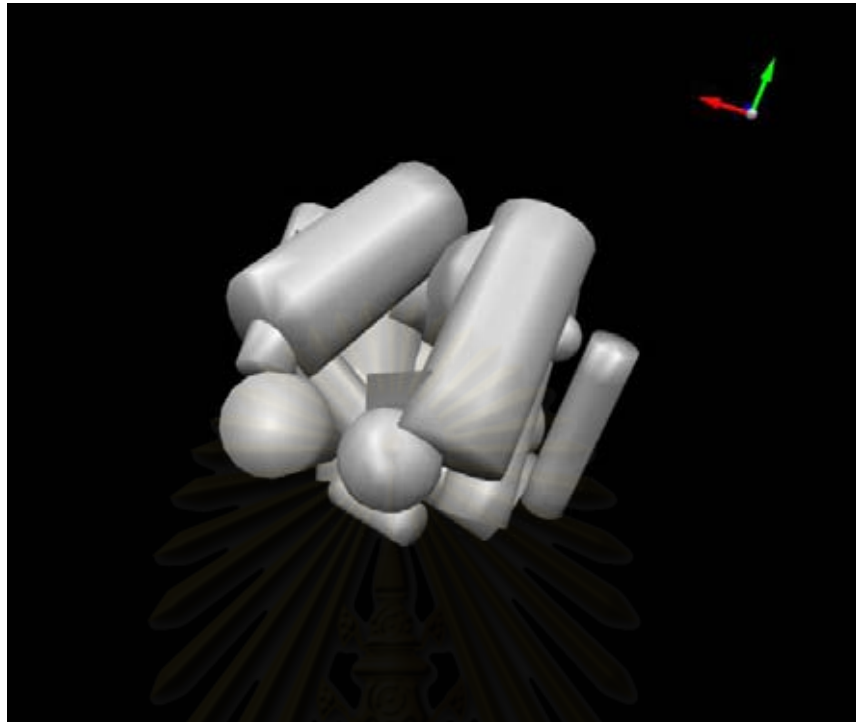
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 วัตถุสามมิติต้นฉบับรูปรางคีม

วัตถุรูปรางถั่วมีค่าระยะทางเฮาส์ดอร์ฟเฉลี่ยมากที่สุดเนื่องจากเป็นวัตถุที่มีลักษณะเว้า เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ระยะทางจีโอเดสิกเฉลี่ยเป็นมอร์สฟังก์ชันทำให้ไม่เหมาะสมกับวัตถุที่มีลักษณะเว้า ตัวอย่างวัตถุรูปรางถั่วที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสิบ) แสดงดังรูปที่ 4.4 จากวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปรางถั่วดังรูปที่ 4.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 วัตถุรูปร่างถ้วยที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสิบ)



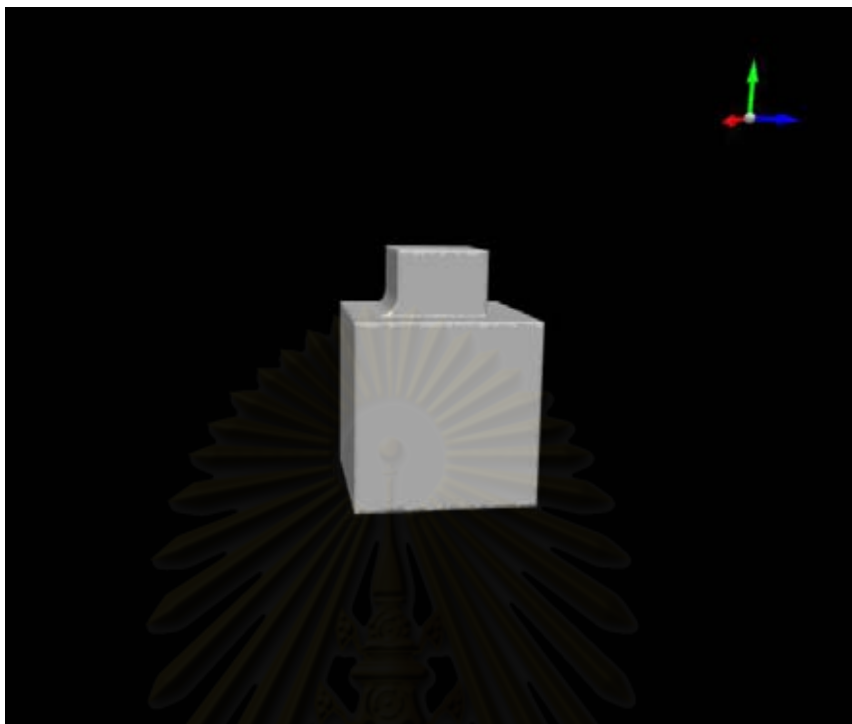
รูปที่ 4.5 วัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างถ้วย

ส่วนวัตถุรูปร่างกล่องที่มีค่าระยะทางแฮสเซอร์ฟเฉลี่ยมากเป็นอันดับสอง เนื่องจากมีเส้นเชื่อมที่แหลมคม (Sharp edge) ซึ่งทั้งสองด้านของเส้นเชื่อมที่แหลมคมนั้นถูกแบ่งให้อยู่ส่วนเดียวกันทำให้ไม่มีรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่เหมาะสมในการแทน วัตถุสามมิติ รูปร่างกล่องที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับแปด) แสดงดังรูปที่ 4.6 จากวัตถุสามมิติต้นฉบับรูปร่างกล่องดังรูปที่ 4.7



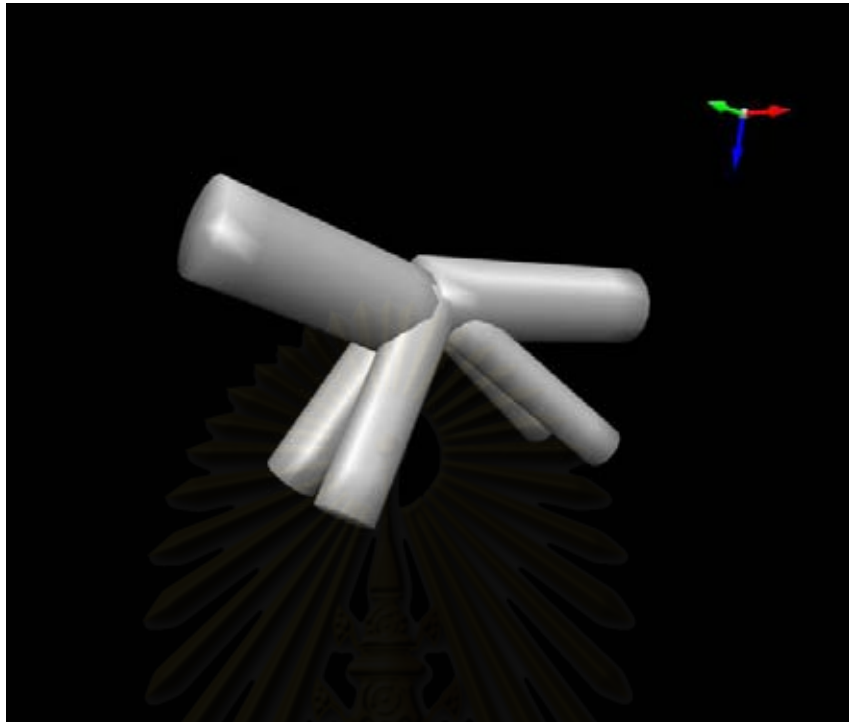
รูปที่ 4.6 วัตถุสามมิติรูปร่างกล่องที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับแปด)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

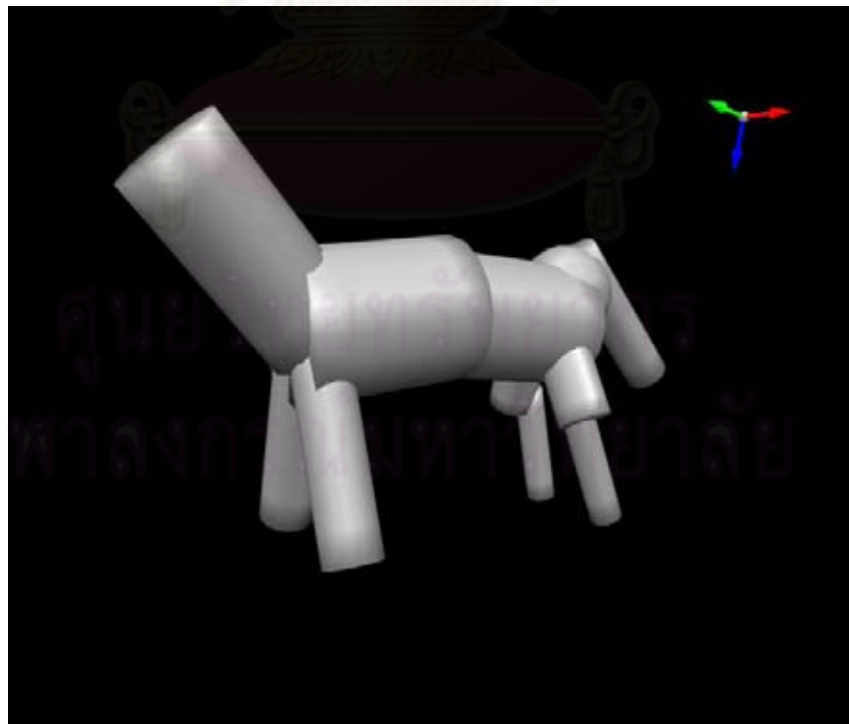


รูปที่ 4.7 วัตถุสามมิติต้นฉบับรูปรางกล่อง

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าระยะทางเฮาส์ดอร์ฟมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนชุดระดับเพิ่มขึ้นและคงที่เมื่อชุดระดับเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง แต่มีกรณีที่ไม่เป็นดังกล่าว เช่น วัตถุสามมิติรูปรางสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสอง) ดังรูปที่ 4.8 มีค่าระยะทางเฮาส์ดอร์ฟเท่ากับ 0.187177 แต่วัตถุสามมิติรูปรางสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับเจ็ด) ดังรูปที่ 4.9 มีค่าระยะทางเฮาส์ดอร์ฟเท่ากับ 0.204757 ซึ่งวัตถุสามมิติรูปรางสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับเจ็ด) มีความเหมือนวัตถุสามมิติรูปรางสัตว์ต้นฉบับ ดังรูปที่ 4.10 มากกว่า เนื่องจากการวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟจะวัดระยะจากจุดยอดหรือหน้าที่อยู่ข้างในวัตถุสามมิติด้วย ดังนั้นเมื่อทำการยูเนียนรูปเรขาคณิตปฐมฐานทุกชิ้นรวมกันเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการวัด วัตถุสามมิติรูปรางสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสอง) ที่ยูเนียนแล้ว ดังรูปที่ 4.11 มีค่าระยะทางเฮาส์ดอร์ฟเท่ากับ 0.187177 ส่วนวัตถุสามมิติรูปรางสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับ 7) ที่ยูเนียนแล้ว ดังรูปที่ 4.12 มีค่าระยะทางเฮาส์ดอร์ฟเท่ากับ 0.151792



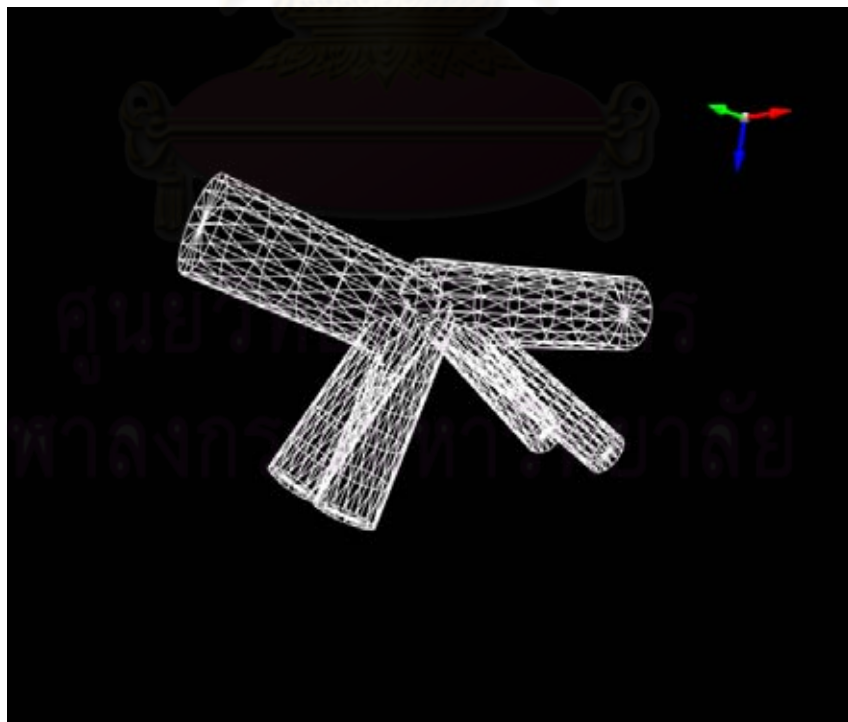
รูปที่ 4.8 วัตถุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสอง)



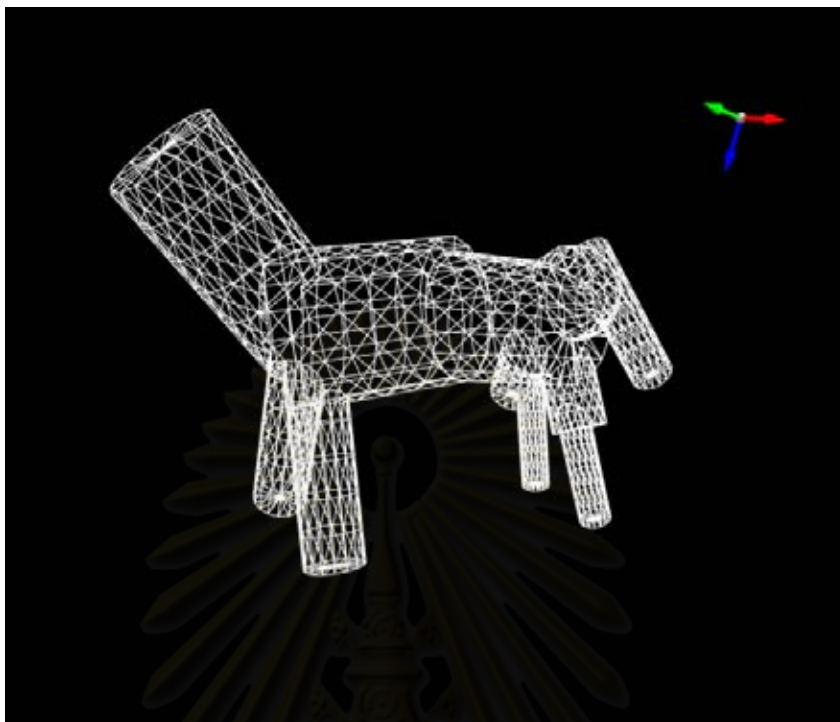
รูปที่ 4.9 วัตถุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับเจ็ด)



รูปที่ 4.10 วัตถุสามมิติรูปร่างสัตว์ต้นฉบับ



รูปที่ 4.11 วัตถุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับสอง) ที่  
ยูเนียนแล้ว

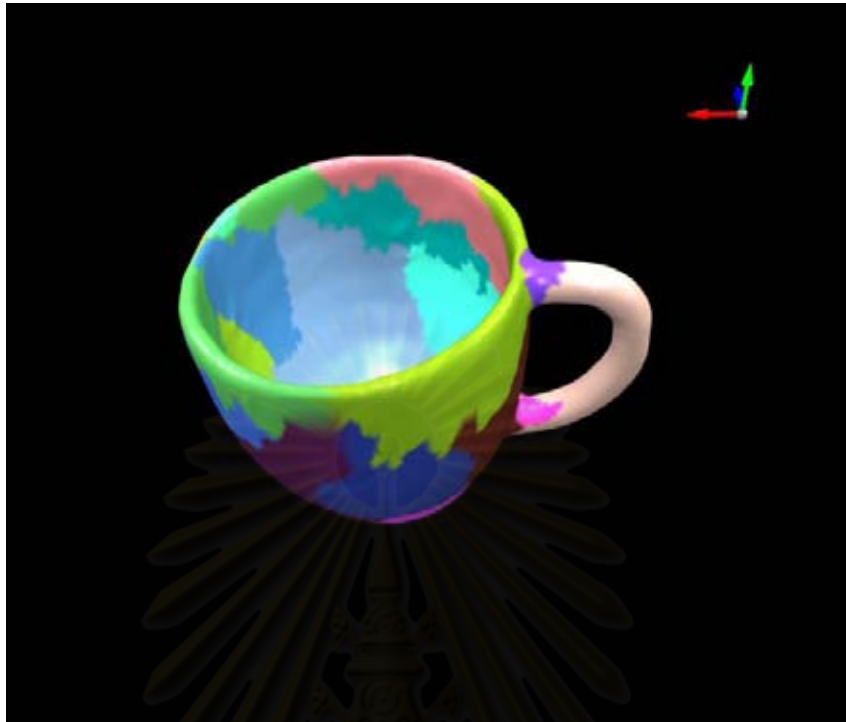


รูปที่ 4.12 วัตถุสามมิติรูปร่างสัตว์ที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนซุดระดับเจ็ด) ที่  
ยูเนียนแล้ว

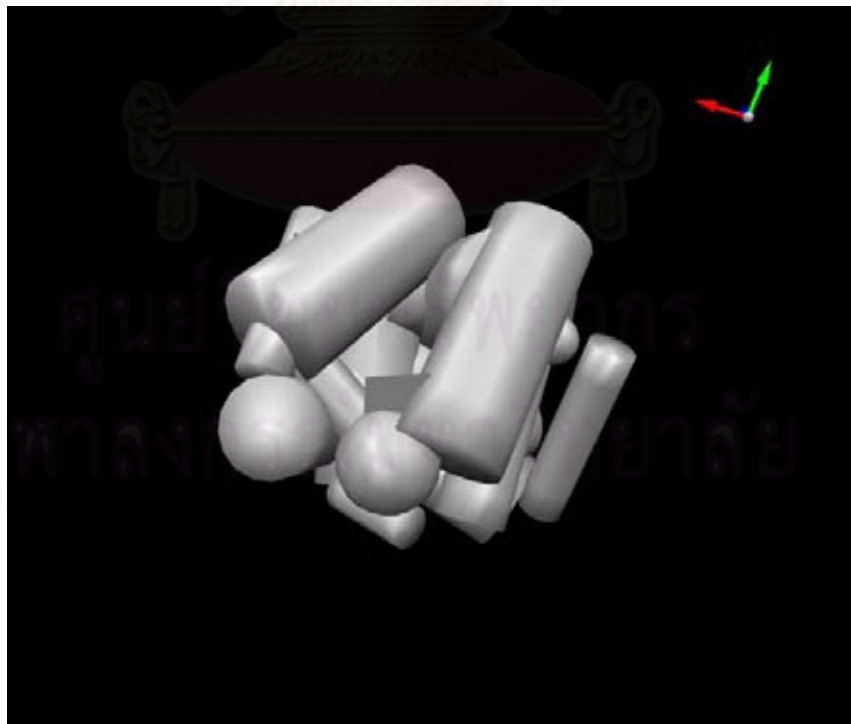
จากตารางผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับแบ่งตามรูปร่างจะเห็นว่าเกือบทุกรูปร่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อซุดระดับเพิ่มขึ้นและคงที่เมื่อซุดระดับเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง ยกเว้นตารางที่ 4.4, ตารางที่ 4.17, ตารางที่ 4.19 และตารางที่ 4.20 ซึ่งเป็นวัตถุสามมิติรูปร่างถ้วย, รูปปั้น, ชิ้นส่วนเครื่องจักร และแจกันตามลำดับ

จากตารางที่ 4.4 วัตถุสามมิติรูปร่างถ้วยเป็นวัตถุสามมิติที่มีลักษณะว่า ซึ่งไม่เหมาะสมกับระยะจีโอเดสิกเฉลี่ยที่เป็นมอร์สฟังก์ชันที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ ดังรูปที่ 4.13 แสดงการแบ่งส่วนวัตถุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ซุดระดับสิบ (สี่เดียวกันคือส่วนเดียวกัน) จะเห็นว่าส่วนที่แบ่งออกมาจะได้เป็นแผ่นโค้งซึ่งไม่มีรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่กำหนดแทนแล้วเหมาะสม ดังรูปที่ 4.14 แสดงวัตถุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในซุดระดับสิบ วิธีแก้ไขคือเลือกค่าซุดระดับให้มีค่ามากซึ่งจะทำให้แบ่งส่วนออกมาเป็นแผ่นโค้งที่โค้งน้อยจนเกือบเหมือนระนาบดังรูปที่ 4.15 แสดงวัตถุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในซุดระดับห้าสิบ

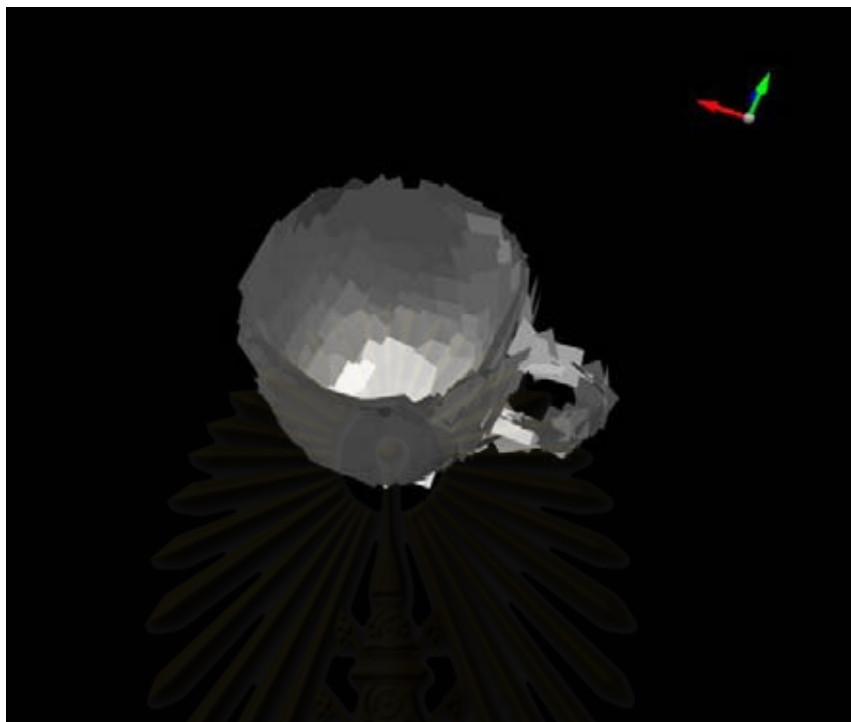




รูปที่ 4.13 การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ชุดระดับสิบ



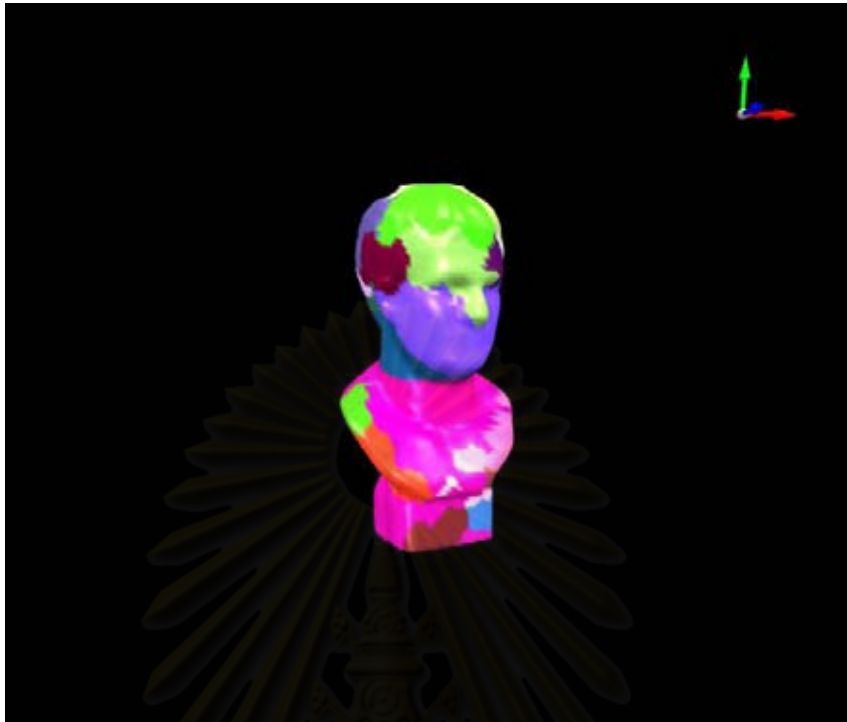
รูปที่ 4.14 วัตถุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในชุดระดับสิบ



รูปที่ 4.15 วัดตุสามมิติรูปร่างถ้วยที่ถูกแทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานในชุดระดับห้าสิบ

จากตารางที่ 4.17 และตารางที่ 4.20 วัดตุสามมิติรูปร่างรูปปั้น และแจกันถึงจะไม่ได้มีลักษณะว่า แต่ก็ไม่ได้มีลักษณะหนุนทำให้จ้ออเดสิกเฉลี่ยที่ใช้เป็นมอร์สฟังก์ชันในงานวิจัยนี้ไม่เหมาะสมเหมือนกันดังรูปที่ 4.16 แสดงการแบ่งส่วนวัดตุสามมิติรูปร่างรูปปั้นที่ชุดระดับสิบ (สีเดียวกันคือส่วนเดียวกัน) และดังรูปที่ 4.17 แสดงการแบ่งส่วนวัดตุสามมิติรูปร่างแจกันที่ชุดระดับสิบ (สีเดียวกันคือส่วนเดียวกัน) ซึ่งเมื่อแบ่งส่วนแล้วจึงได้เป็นแผ่นโค้งเช่นเดียวกับวัดตุสามมิติรูปร่างถ้วย ดังนั้นวิธีแก้งจึงเหมือนกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติรูปร่างรูปปั้นที่ชุดระดับสิบ



รูปที่ 4.17 การแบ่งส่วนวัตถุสามมิติรูปร่างแจกันที่ชุดระดับสิบ

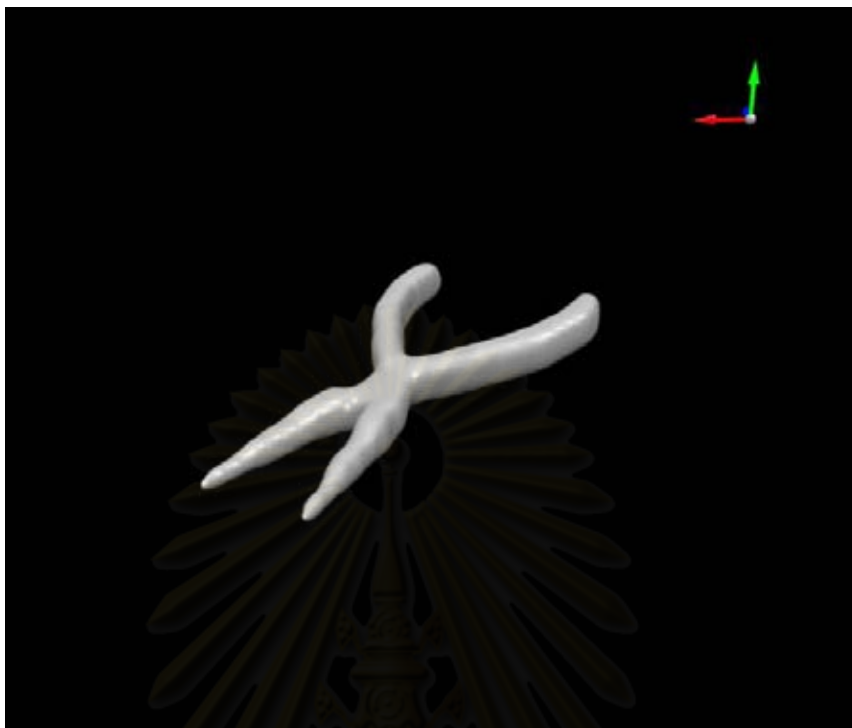
## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแปลงวัตถุสามมิติแบบเมชเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานโดยการใช้เรขกรภาพในการหาข้อมูลทอพอโลยีเพื่อให้วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีรูปร่างเหมือนวัตถุสามมิติต้นฉบับ โดยนำข้อมูลทอพอโลยีไปใช้ในการแทนรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยการเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติเพื่อให้ได้รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการใช้เรขกรภาพทำให้วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานมีรูปร่างเหมือนวัตถุสามมิติต้นฉบับ ตัวอย่างวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็นของวัตถุสามมิติรูปร่างคีม วัตถุสามมิติรูปร่างแว่นตา และวัตถุสามมิติรูปร่างเครื่องบิน แสดงดังต่อไปนี้ รูปที่ 5.1 วัตถุสามมิติรูปร่างคีมที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็นจากการแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับห้า) ในโลกเสมือน จากวัตถุสามมิติรูปร่างคีมต้นฉบับจำนวนหน้า 8970 หน้าแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 รูปวัตถุสามมิติรูปร่างคีมที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็น



รูปที่ 5.2 วัตถุสามมิติรูปร่างคีมตันฉบับ

รูปที่ 5.3 วัตถุสามมิติรูปร่างแวนตาที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็นจากผลลัพธ์การแทนวัตถุสามมิติด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน (จำนวนชุดระดับห้า) ในโลกเสมือน (แวนตาแสดงในรูปเล็ก) จากวัตถุสามมิติรูปร่างแวนตาต้นฉบับจำนวนหน้า 14028 หน้า แสดงดังรูปที่ 5.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 รูปวัตถุสามมิติรูปร่างแว่นตาที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานแบบป็น



รูปที่ 5.4 วัตถุสามมิติรูปร่างแว่นตาตันฉบับ

### 5.1 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากทั้งสองด้านของเส้นเชื่อมที่แหลมคม (Sharp edge) นั้นถูกแบ่งให้อยู่ส่วนเดียวกันทำให้ไม่มีรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่เหมาะสมในการแทน ดังนั้นจึงไม่ควรให้สองด้านของเส้นเชื่อมที่แหลมคม (Sharp edge) ถูกแบ่งให้อยู่ในส่วนเดียวกัน

ในการวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัตถุสามมิติต้นฉบับนั้น วัตถุสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานต้องทำการยูเนียนรูปเรขาคณิตปฐมฐานทุกชิ้นรวมกันเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟ และอาจมีการเพิ่มจำนวนรูปเรขาคณิตปฐมฐาน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] Zomorodian, A. J., Topology for computing, Methods, 16(2005):259.
- [2] Milnor, J. W., Morse Theory, American Mathematical Monthly, 71(1963):936.
- [3] Shinagawa, Y. and Kunii, T. L., Constructing a Reeb graph automatically from cross sections, IEEE Comput Graph Appl, 11(1991):44-51.
- [4] Hilaga, M., Shinagawa, Y., Kohmura, T., and Kunii, T. L., Topology matching for fully automatic similarity estimation of 3D shapes, Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH 01, pp. 203-212, 2001.
- [5] Gaines, D. M., A tool-centric approach to designing composable feature recognizers, Proceedings of the fifth ACM symposium on Solid modeling and applications - SMA '99, New York, New York, USA: ACM Press, , pp. 97-107, 1999.
- [6] Gupta, S. K., Regli, W. C., and Nau, D. S., Manufacturing Feature Instances: Which Ones to Recognize?, ACM Solid Modeling Conference, pp. 141-152, 1995.
- [7] Sonthi, R., Kunjur, G., and Gadh, R., Shape feature determination using the curvature region representation, Proceedings of the fourth ACM symposium on Solid modeling and applications SMA 97, pp. 285-296, 1997.
- [8] Vandenbrande, J. H. and Requicha, A. A. G., Spatial reasoning for the automatic recognition of machinable features in solid models, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15(1993):1269-1285.
- [9] Cass, T. A., Robust Affine Structure Matching for 3D Object Recognition, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20(1998):1265-1274.
- [10] Weiss, I. and Ray, M., Model-Based Recognition of 3D Objects from Single Images, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 23(2001):116-128.
- [11] Dorai, C. and Jain, A. K., COSMOS-A representation scheme for 3D free-form objects, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 19(1997):1115-1130.



- [12] Hebert, M., Ikeuchi, K., and Delingette, H., A spherical representation for recognition of free-form surfaces, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 17(1995):681-690.
- [13] Kang, S. B. and Ikeuchi, K., The complex EGI: a new representation for 3-D pose determination, Pattern Analysis and Machine Intelligence IEEE Transactions on, 15(1993):707-721.
- [14] Wang, W. and Iyengar, S. S., Efficient data structures for model-based 3D object recognition and localization from range images, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(1992):1035-1045.
- [15] Besl, P. J., Triangles as a Primary Representation, Object Recognition in Computer Vision LNCS 994, pp. 191-206, 1995.
- [16] Osada, R., Funkhouser, T., Chazelle, B., and Dobkin, D., Matching 3D models with shape distributions, Proceedings International Conference on Shape Modeling and Applications, IEEE Computer Society, , pp. 154-166, 2001.
- [17] Blum, H., A transformation for extracting new descriptors of shape, Models for the perception of speech and visual form, 19(1967):362-380.
- [18] Chuang, J.-H., Tsai, C.-H., and Ko, M.-C., Skeletonisation of three-dimensional object using generalized potential field, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(2000):1241-1251.
- [19] Culver, T., Keyser, J., and Manocha, D., Accurate computation of the medial axis of a polyhedron, SMA 99 Proceedings of the fifth ACM symposium on Solid modeling and applications, pp. 179-190, 1999.
- [20] Sherbrooke, E. C., Patrikalakis, N. M., and Brisson, E., An Algorithm for the Medial Axis Transform of 3D Polyhedral Solids, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2(1996):44-61.
- [21] Siddiqi, K., Shokoufandeh, A., Dickenson, S. J., and Zucker, S. W., Shock Graphs and Shape Matching, International Journal of Computer Vision, 35(1999):13-32.
- [22] Reeb, G., Sur les points singuliers d' une forme de Pfaff complètement intégrable ou d'une fonction numérique, Comptes Rendus Acad Sciences, 222(1946):847-849.

- [23] Kanongchaiyos, P. and Shinagawa, Y., ARTICULATED REEB GRAPHS FOR INTERACTIVE SKELETON ANIMATION, Modeling: Modeling Multimedia Information and System, (2000):451–467.
- [24] Berretti, S., Del Bimbo, A., and Pala, P., 3D Mesh decomposition using Reeb graphs, Image and Vision Computing, 27(2009):1540-1554.
- [25] Cignoni, P., Rocchini, C., and Scopigno, R., Metro: Measuring Error on Simplified Surfaces, Computer Graphics Forum, 17(1998):167-174.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก

ในบทรนี้แสดงผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัดฤสามมิติต้นฉบับในชุดระดับตั้งแต่สองถึงสิบพร้อมทั้งรูปของวัดฤสามมิติต้นฉบับ









### ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบวัดระยะทางเฮาส์ดอร์ฟของวัดฤสามมิติที่แทนด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานกับวัดฤสามมิติต้นฉบับในชุดระดับตั้งแต่สองถึงสิบพร้อมทั้งรูปของวัดฤสามมิติต้นฉบับและจำนวนจุดยอด จากฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัยปรินซ์ตัน (Princeton University) จำนวน 380 ชิ้นแสดงดังตารางต่อไปนี้

วัดฤสามมิติต้นฉบับ	จำนวนจุดยอด	ชุดระดับสอง	ชุดระดับสาม	ชุดระดับสี่	ชุดระดับห้า	ชุดระดับหก	ชุดระดับเจ็ด	ชุดระดับแปด	ชุดระดับเก้า	ชุดระดับสิบ
1 	4706	0.253503	0.179821	0.13914	0.14972	0.155842	0.092117	0.099441	0.095943	0.098508
2 	10050	0.356418	0.180753	0.179613	0.136725	0.136511	0.135356	0.13546	0.134803	0.134916
3 	5641	0.340642	0.187239	0.159835	0.212289	0.118408	0.104385	0.095493	0.098474	0.098384
4 	5676	0.264267	0.230027	0.159224	0.113577	0.126575	0.097395	0.097956	0.109979	0.096133
5 	15154	0.390102	0.376862	0.37903	0.161093	0.181494	0.15521	0.153279	0.156946	0.148608
6 	10098	0.140209	0.176157	0.139272	0.136679	0.138758	0.109992	0.140337	0.113492	0.129153













วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
7 	8441	0.126216	0.182629	0.186915	0.128805	0.141735	0.122733	0.12342	0.124129	0.123828
8 	11015	0.335037	0.345096	0.338137	0.272566	0.185251	0.127872	0.100274	0.093394	0.091702
9 	2639	0.33067	0.338846	0.311694	0.159735	0.174691	0.131805	0.095517	0.10165	0.090412
10 	9508	0.475553	0.43901	0.141545	0.134752	0.125592	0.204399	0.201528	0.115185	0.114677
11 	10999	0.212293	0.235103	0.165146	0.112323	0.119597	0.12656	0.128519	0.138983	0.125755
12 	5614	0.219926	0.240777	0.144855	0.115962	0.13254	0.131352	0.15356	0.137912	0.131899
13 	13703	0.282068	0.205497	0.189475	0.189366	0.197811	0.205502	0.170178	0.187629	0.180902
14 	5691	0.563088	0.255501	0.11053	0.100328	0.10582	0.095787	0.093757	0.086232	0.08888
15 	5631	0.214861	0.220364	0.191442	0.199584	0.128407	0.108838	0.128537	0.104565	0.103742












วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
16 	15223	0.167663	0.170838	0.189152	0.147336	0.141871	0.142958	0.155126	0.149838	0.141053
17 	15910	0.214233	0.164949	0.187723	0.181575	0.172783	0.109359	0.111901	0.116747	0.124366
18 	15385	0.235961	0.235208	0.280535	0.200544	0.193871	0.205185	0.212443	0.297432	0.184758
19 	15477	0.332001	0.328173	0.301523	0.131077	0.139789	0.130132	0.132854	0.133264	0.134254
20 	15700	0.37041	0.204421	0.188397	0.140654	0.126253	0.111314	0.110298	0.110951	0.107225
21 	15198	0.548276	0.569823	0.552246	0.573015	0.564605	0.594266	0.605155	0.615716	0.5288
22 	15002	0.536703	0.5517	0.538473	0.570053	0.540445	0.584523	0.56295	0.542464	0.578134
23 	15037	0.623484	0.661439	0.616352	0.727315	0.614791	0.736052	0.725651	0.638691	0.680587
24 	15246	0.514275	0.518857	0.541735	0.521818	0.535069	0.51886	0.550899	0.562109	0.548304










วัดสุคามิตินันท์	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
25		15087	0.513472	0.512991	0.515463	0.514726	0.512817	0.513997	0.52185	0.514347	0.514755
26		15209	0.457568	0.423818	0.455978	0.457433	0.45655	0.455047	0.459721	0.459304	0.465783
27		15137	0.487707	0.522571	0.499224	0.469411	0.480908	0.489779	0.549286	0.579663	0.481069
28		15070	0.555079	0.57915	0.720776	0.606915	0.574199	0.592242	0.565384	0.612621	0.689934
29		15127	0.441254	0.465581	0.424988	0.424464	0.432007	0.500975	0.477965	0.471146	0.464462
30		15006	0.388671	0.384441	0.385672	0.385616	0.518087	0.562021	0.569799	0.563716	0.566856
31		15227	0.498241	0.544533	0.568213	0.627772	0.571028	0.629919	0.474856	0.594118	0.559666
32		14751	0.495885	0.49361	0.469293	0.465678	0.482767	0.481595	0.582623	0.515404	0.492083
33		7349	0.54911	0.524057	0.54997	0.554534	0.524073	0.555904	0.525234	0.534484	0.528724










วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
34 	9602	0.518521	0.485701	0.468692	0.464465	0.463041	0.565348	0.490723	0.498251	0.461462
35 	15136	0.390638	0.385872	0.385896	0.3851	0.386295	0.396322	0.389667	0.432875	0.436934
36 	9076	0.462958	0.496158	0.462078	0.461681	0.468581	0.489768	0.503493	0.600565	0.529495
37 	6270	0.50624	0.515961	0.577514	0.497169	0.495011	0.549019	0.492506	0.644234	0.725994
38 	15064	0.523803	0.578538	0.653078	0.658951	0.494793	0.485778	0.484727	0.484843	0.483259
39 	15161	0.740762	0.715524	0.678124	0.654704	0.568568	0.567897	0.554221	0.51052	0.354065
40 	15165	0.354847	0.454103	0.454504	0.453771	0.452942	0.452471	0.45676	0.450497	0.456242
41 	7016	0.378827	0.375039	0.200122	0.277368	0.165235	0.1556	0.100019	0.112678	0.119157
42 	4164	0.304529	0.325313	0.214337	0.188036	0.098433	0.089042	0.091112	0.107626	0.11795









วัดตุลสามมีติดันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
43 	3414	0.282611	0.271046	0.205655	0.17279	0.140688	0.105637	0.117964	0.124287	0.113065
44 	6288	0.379061	0.387544	0.252583	0.22096	0.192891	0.120303	0.107919	0.102484	0.120168
45 	5399	0.341363	0.380931	0.253438	0.160147	0.144529	0.118012	0.131782	0.118656	0.119747
46 	2394	0.166234	0.164119	0.178275	0.174521	0.096921	0.095579	0.171842	0.155455	0.139097
47 	2028	0.088814	0.170368	0.175679	0.176081	0.140205	0.089676	0.164538	0.16412	0.167936
48 	5176	0.287867	0.296989	0.232539	0.237071	0.205128	0.13453	0.111094	0.104215	0.105907
49 	3110	0.21273	0.209233	0.184368	0.15753	0.120554	0.113173	0.076342	0.086274	0.108499
50 	7420	0.379265	0.377821	0.206586	0.199817	0.235762	0.112883	0.100647	0.100896	0.118463
51 	2858	0.257798	0.268342	0.211347	0.198926	0.175885	0.115966	0.083766	0.089022	0.096555
52 	1554	0.173983	0.176838	0.105996	0.100266	0.102766	0.08522	0.073693	0.069236	0.068142
53 	2496	0.172573	0.177089	0.181765	0.153401	0.108097	0.108218	0.090958	0.144215	0.150802
54 	7407	0.381985	0.374921	0.22299	0.17485	0.170271	0.161909	0.1028	0.111393	0.114635









วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
55 	2850	0.247536	0.259318	0.212189	0.208381	0.149666	0.096962	0.191867	0.084262	0.089106
56 	8771	0.51199	0.522765	0.323311	0.282379	0.237305	0.11815	0.118325	0.129759	0.143196
57 	7413	0.377205	0.377955	0.323076	0.173877	0.169427	0.157263	0.107455	0.109078	0.115651
58 	1857	0.099354	0.099655	0.147048	0.148393	0.149031	0.114454	0.09676	0.132596	0.142275
59 	2895	0.222073	0.221496	0.182168	0.166662	0.135858	0.099153	0.087626	0.081953	0.092181
60 	2375	0.17848	0.175551	0.182626	0.16721	0.150249	0.095215	0.093745	0.092606	0.093437
61 	5400	0.223018	0.205237	0.114832	0.117733	0.120254	0.129755	0.129111	0.11187	0.117911
62 	5619	0.141045	0.153382	0.138689	0.135576	0.135421	0.135348	0.135405	0.135656	0.134954
63 	5519	0.144734	0.144742	0.146513	0.130243	0.130066	0.148384	0.130229	0.140682	0.130075
64 	6797	0.180789	0.195736	0.140896	0.129748	0.132356	0.146477	0.130354	0.11618	0.117965
65 	6448	0.147131	0.191352	0.169126	0.111115	0.136023	0.109942	0.114987	0.109425	0.110432

วัดดุสิตามมีติดันฉบับ	จำนวน จุด ยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
66		7739	0.277807	0.288361	0.283671	0.288427	0.273383	0.218788	0.231695	0.175211	0.215397
67		7651	0.329766	0.337866	0.143557	0.163212	0.183371	0.25494	0.220335	0.222355	0.167652
68		5583	0.431483	0.456097	0.152048	0.181274	0.15199	0.145856	0.118375	0.189273	0.080038
69		6701	0.287388	0.214925	0.11166	0.131552	0.165171	0.112557	0.113652	0.113857	0.113748
70		5631	0.342424	0.190458	0.153672	0.157019	0.117804	0.128615	0.11798	0.117225	0.1189
71		5849	0.212087	0.21596	0.188902	0.111061	0.187621	0.112772	0.108627	0.10842	0.108285
72		5228	0.249854	0.252426	0.131791	0.150054	0.096901	0.097514	0.09733	0.09757	0.097876
73		5109	0.281292	0.196954	0.200843	0.196264	0.10609	0.142608	0.105492	0.106683	0.105517
74		5044	0.348881	0.335685	0.178366	0.140163	0.179287	0.107632	0.107941	0.119613	0.132556

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุด ยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
75 	8679	0.27663	0.284049	0.317548	0.278055	0.220821	0.207693	0.181437	0.217619	0.191384
76 	5923	0.315499	0.327077	0.14265	0.109933	0.112517	0.110062	0.109935	0.109469	0.110017
77 	6587	0.17569	0.174737	0.184754	0.117888	0.098789	0.175492	0.157768	0.156333	0.124996
78 	7470	0.309942	0.240891	0.173411	0.264904	0.185686	0.115176	0.118295	0.150696	0.138881
79 	6689	0.38061	0.222579	0.150153	0.142656	0.13173	0.123714	0.096875	0.104246	0.10212
80 	7351	0.337918	0.35874	0.113607	0.154351	0.128439	0.120201	0.119597	0.104598	0.187508
81 	6370	0.260859	0.266019	0.160054	0.133909	0.12544	0.109049	0.357107	0.125518	0.125
82 	8299	0.283628	0.175687	0.174664	0.240745	0.152765	0.131207	0.175095	0.149378	0.175613
83 	6376	0.256403	0.207838	0.158262	0.156886	0.14746	0.165028	0.165863	0.164654	0.161516

วัดฤๅสามมีติดันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
84		6850	0.162678	0.232725	0.161017	0.120979	0.153627	0.146389	0.144443	0.145905	0.146267
85		8388	0.267842	0.171643	0.177799	0.149877	0.162372	0.162356	0.163271	0.161411	0.162446
86		7038	0.206698	0.221434	0.159827	0.153045	0.133605	0.171735	0.146441	0.171515	0.171886
87		7470	0.30768	0.163043	0.163958	0.153219	0.170034	0.170107	0.170929	0.16985	0.175118
88		8210	0.161196	0.143384	0.156739	0.149409	0.145121	0.169732	0.169536	0.168463	0.169922
89		7654	0.296181	0.314901	0.170879	0.151599	0.132275	0.130047	0.135923	0.132639	0.130683
90		7877	0.182738	0.21552	0.182487	0.171139	0.166072	0.194356	0.195099	0.194242	0.19388
91		8640	0.273239	0.156013	0.156584	0.152734	0.15582	0.160801	0.154216	0.154557	0.153875
92		5867	0.24265	0.171846	0.145425	0.132276	0.133828	0.156161	0.137446	0.140523	0.135663
93		8216	0.318432	0.151619	0.17083	0.170663	0.166013	0.158235	0.171783	0.171809	0.335452










วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
94 	7236	0.129725	0.253115	0.143922	0.121332	0.123285	0.112626	0.111624	0.110357	0.115414
95 	7355	0.230776	0.23136	0.151854	0.235924	0.159398	0.161387	0.162002	0.161843	0.161433
96 	8504	0.18802	0.155296	0.154676	0.135793	0.13216	0.115534	0.124878	0.121819	0.113739
97 	8167	0.20168	0.166783	0.166928	0.151242	0.126872	0.11717	0.122063	0.121188	0.209519
98 	6154	0.183945	0.187828	0.146874	0.14292	0.145093	0.159212	0.150185	0.149385	0.146994
99 	6881	0.121134	0.121328	0.128322	0.124265	0.117446	0.121516	0.101317	0.095928	0.111696
100 	8064	0.240447	0.286575	0.182282	0.157507	0.135345	0.114692	0.11356	0.091204	0.125423
101 	8499	0.295161	0.294884	0.318992	0.296213	0.295879	0.268702	0.15648	0.154347	0.14547
102 	15724	0.418303	0.423064	0.423029	0.275147	0.284311	0.298535	0.48645	0.304383	0.306768











วัดกุสุมาmitesันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
103		9652	0.337086	0.35542	0.313611	0.22386	0.223815	0.160987	0.223858	0.223106	0.14328
104		8653	0.310627	0.339798	0.336739	0.243429	0.243367	0.25543	0.243062	0.247813	0.128639
105		9261	0.393206	0.328917	0.274839	0.172252	0.152074	0.162142	0.151345	0.207014	0.247786
106		14052	0.54205	0.390691	0.384326	0.330048	0.232754	0.284522	0.247572	0.23338	0.226894
107		11421	0.33712	0.359726	0.305218	0.286474	0.319825	0.296352	0.312467	0.188353	0.181453
108		10500	0.352693	0.366477	0.320942	0.316282	0.310767	0.354083	0.322947	0.239594	0.191167
109		10301	0.473915	0.38811	0.327097	0.318674	0.302889	0.31531	0.356536	0.196168	0.196461
110		8456	0.398368	0.320231	0.294408	0.190863	0.10893	0.239339	0.226913	0.201885	0.141906

วัสดุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
111 	8050	0.402014	0.328021	0.322191	0.190021	0.225925	0.226402	0.200696	0.130347	0.134563
112 	13628	0.343263	0.36236	0.362508	0.178615	0.204454	0.243816	0.159652	0.262751	0.217307
113 	10748	0.425358	0.339377	0.295876	0.333882	0.329435	0.180263	0.261545	0.20083	0.17923
114 	5794	0.369206	0.372391	0.231672	0.290439	0.281879	0.178734	0.180968	0.15628	0.150115
115 	10043	0.430671	0.34886	0.323331	0.357218	0.355035	0.24055	0.247251	0.174133	0.163458
116 	13463	0.40985	0.43438	0.398442	0.389966	0.394747	0.403963	0.275123	0.182427	0.203622
117 	14372	0.496767	0.415967	0.409304	0.34997	0.370914	0.359714	0.208701	0.203799	0.214005
118 	9153	0.279771	0.306595	0.244308	0.284725	0.241598	0.227566	0.215534	0.18083	0.177164



วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
119 	12326	0.411319	0.431978	0.355323	0.320562	0.149479	0.246748	0.24052	0.17479	0.148933
120 	10121	0.325564	0.345872	0.306362	0.234179	0.23665	0.236484	0.251485	0.236907	0.130073
121 	5944	0.302403	0.259576	0.169854	0.169901	0.169921	0.193212	0.16984	0.169814	0.163056
122 	7251	0.240206	0.23038	0.161636	0.157258	0.165867	0.169441	0.162444	0.166086	0.163404
123 	15493	0.303336	0.351879	0.349606	0.241586	0.206912	0.206399	0.18109	0.24146	0.21939
124 	3101	0.337655	0.177346	0.184049	0.26082	0.156604	0.153967	0.122636	0.102145	0.085484
125 	1343	0.401031	0.215983	0.200475	0.153069	0.175657	0.153884	0.161691	0.156224	0.162115
126 	6325	0.366619	0.364697	0.239984	0.210312	0.205824	0.16618	0.152938	0.164896	0.124077
127 	11906	0.308281	0.252876	0.210874	0.21235	0.210718	0.20466	0.210919	0.210848	0.211011


วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
128 	6164	0.276611	0.276134	0.230464	0.208496	0.134233	0.133904	0.133547	0.133482	0.133362
129 	6144	0.309859	0.255774	0.266315	0.238444	0.198099	0.238359	0.203803	0.236511	0.26636
130 	7747	0.288635	0.192836	0.192008	0.238183	0.205547	0.237998	0.217316	0.195365	0.194612
131 	11051	0.340438	0.355691	0.217948	0.177332	0.216	0.200243	0.188092	0.187919	0.188054
132 	7812	0.383434	0.36449	0.205904	0.203937	0.205082	0.20697	0.206802	0.205576	0.206872
133 	10466	0.306409	0.198018	0.198331	0.20024	0.198665	0.203799	0.20641	0.206437	0.204257
134 	10932	0.287113	0.249475	0.246579	0.234071	0.186189	0.186044	0.177	0.186578	0.205207
135 	15201	0.409963	0.404755	0.245189	0.187967	0.190648	0.190671	0.181534	0.162976	0.18244
136 	14126	0.258942	0.25444	0.264975	0.257196	0.255003	0.258537	0.255994	0.259145	0.259287

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
137 	9124	0.270802	0.321808	0.218426	0.144469	0.148419	0.129111	0.172586	0.1914	0.174838
138 	9594	0.419679	0.322866	0.333244	0.302342	0.233487	0.244636	0.203926	0.203841	0.20317
139 	8017	0.27415	0.155511	0.154604	0.154261	0.154424	0.144023	0.145007	0.129881	0.143163
140 	9200	0.254593	0.247668	0.223016	0.237916	0.185649	0.185765	0.185725	0.182432	0.171406
141 	13926	0.442284	0.41281	0.312291	0.302949	0.089518	0.09176	0.443961	0.183795	0.123654
142 	9802	0.366801	0.366801	0.349096	0.388301	0.297706	0.295835	0.300806	0.255102	0.227351
143 	9270	0.353994	0.353735	0.37496	0.2993	0.311917	0.188271	0.174153	0.252269	0.166251
144 	15082	0.34986	0.322866	0.365851	0.352448	0.403125	0.379628	0.35937	0.314517	0.334201
145 	13206	0.438357	0.440964	0.221494	0.211401	0.210975	0.302314	0.218874	0.337722	0.216188
146 	13714	0.536669	0.536856	0.258352	0.452293	0.445384	0.365242	0.368455	0.543158	0.663504

วัดดุสิดามัตตันทนบุรี	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
147		13705	0.332141	0.323031	0.325468	0.322082	0.322524	0.322803	0.325757	0.34328	0.678469
148		13375	0.418107	0.3708	0.418107	0.39518	0.330493	0.418056	0.39542	0.401542	0.401213
149		13588	0.353596	0.352339	0.356452	0.354749	0.352332	0.718012	0.355092	0.352332	0.347508
150		13579	0.432184	0.414005	0.375084	0.312111	0.215075	0.216056	0.197261	0.285335	0.199091
151		12696	0.360931	0.292128	0.279087	0.072294	0.105292	0.146309	0.092025	0.060173	0.090248
152		10543	0.337048	0.307935	0.248975	0.266965	0.267616	0.276908	0.28801	0.113381	0.131918
153		13581	0.43471	0.255928	0.306233	0.180553	0.112347	0.342895	0.340563	0.249368	0.333082
154		13929	0.37958	0.283121	0.312965	0.106388	0.111757	0.139985	0.1157	0.111029	0.105997
155		14384	0.532395	0.539711	0.513343	0.506826	0.624579	0.646102	0.626918	0.603993	0.378748
156		10100	0.339223	0.290463	0.313557	0.297568	0.28219	0.29834	0.303039	0.301133	0.284577

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
157 	13883	0.560268	0.36489	0.361885	0.534569	0.36489	0.36199	0.380043	0.843662	0.587184
158 	14587	0.398503	0.404208	0.325324	0.303977	0.272026	0.252233	0.360599	0.226893	0.262923
159 	13930	0.443436	0.115166	0.363303	0.297945	0.093583	0.11275	0.291825	0.297855	0.352838
160 	10082	0.488602	0.494417	0.148954	0.140793	0.132084	0.124641	0.146291	0.127383	0.119884
161 	13826	0.31293	0.300182	0.304093	0.304682	0.30581	0.304397	0.276471	0.311152	0.308036
162 	10096	0.299013	0.30497	0.29164	0.303768	0.290377	0.301946	0.300091	0.303702	0.305143
163 	10879	0.307166	0.295697	0.29549	0.295618	0.293223	0.295626	0.304889	0.2942	0.293007
164 	14509	0.329845	0.304836	0.310379	0.309934	0.31136	0.306104	0.31476	0.31481	0.313891
165 	10233	0.296641	0.301553	0.297782	0.294646	0.287131	0.298292	0.288211	0.289322	0.300905









วัดสุสามมิตินันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
166		13883	0.560268	0.36489	0.361885	0.534569	0.36489	0.36199	0.380043	0.843662	0.587184
167		14587	0.398503	0.404208	0.325324	0.303977	0.272026	0.252233	0.360599	0.226893	0.262923
168		13930	0.443436	0.115166	0.363303	0.297945	0.093583	0.11275	0.291825	0.297855	0.352838
169		10082	0.488602	0.494417	0.148954	0.140793	0.132084	0.124641	0.146291	0.127383	0.119884
170		13826	0.31293	0.300182	0.304093	0.304682	0.30581	0.304397	0.276471	0.311152	0.308036
171		10096	0.299013	0.30497	0.29164	0.303768	0.290377	0.301946	0.300091	0.303702	0.305143
172		10879	0.307166	0.295697	0.29549	0.295618	0.293223	0.295626	0.304889	0.2942	0.293007
173		14509	0.329845	0.304836	0.310379	0.309934	0.31136	0.306104	0.31476	0.31481	0.313891
174		10233	0.296641	0.301553	0.297782	0.294646	0.287131	0.298292	0.288211	0.289322	0.300905

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
175 	9480	0.313395	0.299112	0.291484	0.297567	0.296906	0.294959	0.298688	0.299588	0.298567
176 	12500	0.30447	0.30304	0.304926	0.306268	0.302775	0.29957	0.299631	0.304827	0.305259
177 	12543	0.353452	0.303384	0.297536	0.291978	0.296479	0.289859	0.292749	0.292285	0.293816
178 	12175	0.283935	0.292311	0.267363	0.274666	0.292225	0.292252	0.292205	0.291693	0.292365
179 	13324	0.302738	0.300375	0.29813	0.302746	0.302757	0.298489	0.302624	0.302788	0.30144
180 	9548	0.287719	0.27889	0.278874	0.275917	0.268768	0.281448	0.278908	0.275625	0.268544
181 	7242	0.197407	0.216824	0.22318	0.178041	0.163069	0.164101	0.157016	0.212334	0.196042
182 	10283	0.432259	0.261515	0.243844	0.244605	0.256308	0.23153	0.253538	0.214076	0.214537
183 	11413	0.441892	0.305643	0.266228	0.267561	0.265894	0.307404	0.337003	0.263433	0.401534

วัตถุประสงค์ต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
184 	4685	0.302612	0.207792	0.254289	0.217051	0.219365	0.205203	0.206092	0.22856	0.214109
185 	2489	0.185472	0.207077	0.216126	0.25996	0.268114	0.299036	0.136811	0.259411	0.145565
186 	6607	0.222695	0.239658	0.21618	0.174999	0.157353	0.172832	0.174655	0.176656	0.171089
187 	7628	0.199344	0.207944	0.216844	0.184926	0.171379	0.16083	0.183211	0.180506	0.179651
188 	8603	0.410544	0.411122	0.24229	0.247078	0.229462	0.290853	0.274917	0.270886	0.214698
189 	14084	0.333689	0.285144	0.258628	0.177441	0.199765	0.256224	0.223781	0.197849	0.210218
190 	7500	0.298824	0.328947	0.199121	0.205172	0.191475	0.146288	0.197484	0.170941	0.144589
191 	13766	0.247716	0.294507	0.250391	0.271062	0.263782	0.291156	0.251843	0.283663	0.231962
192 	6991	0.306501	0.264218	0.196392	0.211573	0.152553	0.139088	0.165594	0.177571	0.160288







วัดดูสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
193		7314	0.28349	0.242228	0.207664	0.181903	0.200096	0.196769	0.166251	0.171609	0.142219
194		8471	0.270504	0.254621	0.311919	0.208622	0.237693	0.231077	0.220203	0.198999	0.155533
195		8524	0.253201	0.19022	0.205314	0.198733	0.214869	0.206921	0.191646	0.197791	0.196855
196		7112	0.282518	0.325054	0.157214	0.199591	0.193204	0.131375	0.14895	0.160052	0.140505
197		7553	0.295377	0.279345	0.215706	0.166702	0.156821	0.166029	0.145904	0.131874	0.142253
198		9564	0.220882	0.195579	0.199496	0.170582	0.136476	0.14256	0.145538	0.140016	0.146414
199		8647	0.261243	0.234652	0.238321	0.230647	0.184297	0.19051	0.198583	0.187487	0.187659
200		1515	0.181726	0.189798	0.19262	0.175922	0.17182	0.176208	0.167429	0.230054	0.171744
201		4487	0.128451	0.135099	0.09188	0.078969	0.080163	0.086037	0.078806	0.077919	0.078855

วัดสุสามมิตินันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
202		4491	0.134355	0.139383	0.089139	0.078699	0.079221	0.089217	0.078034	0.078113	0.077016
203		3906	0.133785	0.138356	0.092351	0.079205	0.078303	0.076455	0.081934	0.076951	0.076319
204		4407	0.109298	0.115217	0.09831	0.075182	0.074697	0.073047	0.074177	0.074094	0.073657
205		4478	0.15476	0.160494	0.08483	0.085567	0.085589	0.085165	0.084876	0.084794	0.085499
206		4794	0.130555	0.136837	0.09783	0.078082	0.077211	0.07738	0.076575	0.077399	0.07726
207		5202	0.129641	0.135746	0.097366	0.079141	0.07932	0.079335	0.079293	0.07933	0.079012
208		6104	0.129481	0.134026	0.103944	0.077916	0.076081	0.075513	0.076686	0.076048	0.076365
209		5110	0.127566	0.132458	0.102106	0.076293	0.075365	0.076832	0.075946	0.076488	0.075992
210		5508	0.121063	0.126216	0.090913	0.077035	0.077945	0.07808	0.077406	0.077268	0.076274

วัดตุสามมีติดันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
211		4284	0.117069	0.120296	0.102032	0.075688	0.075729	0.075676	0.0758	0.075777	0.07581
212		4298	0.099122	0.106422	0.111103	0.079596	0.079096	0.076549	0.078245	0.078421	0.079145
213		3963	0.127891	0.131676	0.140068	0.076472	0.076912	0.075305	0.076818	0.076449	0.075739
214		3804	0.139813	0.145986	0.151603	0.07977	0.078758	0.080156	0.079146	0.079377	0.07966
215		4463	0.136561	0.142533	0.082202	0.081319	0.078819	0.08155	0.081578	0.081575	0.079407
216		4478	0.151798	0.153295	0.08272	0.081531	0.079461	0.082351	0.083416	0.08032	0.083649
217		5201	0.147939	0.15131	0.079977	0.079709	0.079991	0.079982	0.079935	0.079966	0.079993
218		6198	0.153361	0.159039	0.079648	0.079325	0.079832	0.079886	0.079833	0.079305	0.079805
219		3942	0.485242	0.158182	0.12787	0.064672	0.065685	0.065603	0.065329	0.06355	0.064315

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
220 	4457	0.160732	0.161613	0.10433	0.079275	0.068609	0.06498	0.064122	0.065288	0.065756
221 	7121	0.227894	0.243947	0.28443	0.203936	0.20394	0.20485	0.202763	0.203286	0.203992
222 	5255	0.19098	0.186044	0.196227	0.179756	0.180474	0.178832	0.179335	0.180487	0.180561
223 	6656	0.215047	0.205369	0.196538	0.20046	0.197279	0.1954	0.201285	0.21124	0.19531
224 	5061	0.180565	0.180303	0.168761	0.158241	0.149008	0.15419	0.155136	0.154817	0.154944
225 	6076	0.258105	0.202731	0.192222	0.183188	0.180302	0.170014	0.168538	0.169043	0.158611
226 	5216	0.208358	0.208665	0.235944	0.180698	0.182773	0.181963	0.183301	0.183702	0.183086
227 	5216	0.208358	0.208665	0.235944	0.180698	0.182773	0.181963	0.183301	0.183702	0.183086
228 	5592	0.227238	0.225145	0.229015	0.178464	0.17792	0.183893	0.17935	0.179563	0.17905
229 	5245	0.213272	0.201383	0.198239	0.19459	0.188689	0.190776	0.190726	0.190858	0.189767

วัดสุสามมิตินันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
230 	7573	0.23234	0.240982	0.209495	0.209322	0.208401	0.20938	0.209906	0.208575	0.209791
231 	6264	0.216867	0.205704	0.192086	0.179055	0.174494	0.176707	0.177679	0.17811	0.178113
232 	5440	0.159681	0.161774	0.163721	0.166977	0.168807	0.171314	0.169105	0.168018	0.17103
233 	10186	0.279838	0.22943	0.284638	0.299357	0.290594	0.297442	0.223276	0.221163	0.229688
234 	7498	0.236918	0.227761	0.258808	0.250596	0.213949	0.263979	0.24978	0.248972	0.20178
235 	5250	0.21117	0.185155	0.200543	0.171331	0.154798	0.156515	0.158503	0.158497	0.155926
236 	4845	0.188943	0.188614	0.174105	0.157921	0.123984	0.131397	0.12501	0.133571	0.124133
237 	4439	0.155169	0.154978	0.155244	0.134157	0.134703	0.134887	0.134463	0.134949	0.134983
238 	5096	0.18063	0.18381	0.180841	0.149575	0.135272	0.144668	0.139612	0.140489	0.143659
239 	5121	0.163784	0.165812	0.170179	0.162468	0.165322	0.176438	0.180612	0.179051	0.158303
240 	6833	0.244294	0.244775	0.201398	0.178725	0.18634	0.180199	0.183217	0.183376	0.183651








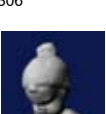

วัดสุสามมิตินันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
241		3478	0.12281	0.122047	0.121906	0.121661	0.121626	0.121695	0.12217	0.121528	0.122279
242		7849	0.231959	0.172851	0.153666	0.175115	0.14333	0.15891	0.152213	0.190555	0.189003
243		3158	0.250727	0.250598	0.171673	0.15875	0.119444	0.130896	0.131115	0.130006	0.126553
244		4501	0.4963	0.110263	0.144571	0.144292	0.125995	0.132075	0.130906	0.127091	0.116466
245		6475	0.212105	0.18581	0.145989	0.160775	0.1984	0.142865	0.1659	0.165052	0.152332
246		4219	0.201357	0.201794	0.189406	0.198152	0.136475	0.138861	0.127165	0.099232	0.097051
247		5519	0.447024	0.176719	0.156724	0.131623	0.126182	0.138914	0.154477	0.10436	0.108638
248		11790	0.52558	0.252429	0.163541	0.158675	0.178655	0.178528	0.164026	0.154666	0.15566
249		3714	0.364729	0.207331	0.277294	0.279136	0.232655	0.19797	0.117789	0.111779	0.112484
250		4280	0.270732	0.370821	0.270589	0.237717	0.207054	0.181818	0.134964	0.143983	0.143976
251		3158	0.250727	0.250598	0.171673	0.15875	0.119444	0.130896	0.131115	0.130006	0.126553

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
252 	6351	0.538892	0.229563	0.168634	0.136522	0.121913	0.131812	0.122644	0.137572	0.161558
253 	6164	0.277626	0.287023	0.34438	0.34284	0.232417	0.157346	0.192652	0.166507	0.157683
254 	3638	0.58546	0.102978	0.140647	0.145599	0.123956	0.119364	0.116483	0.112815	0.098032
255 	5054	0.347017	0.14542	0.137341	0.132402	0.128078	0.130688	0.152235	0.136056	0.12815
256 	5970	0.618406	0.261499	0.332617	0.329629	0.168916	0.320649	0.204558	0.166788	0.152388
257 	2135	0.479496	0.237146	0.252432	0.260967	0.184113	0.179092	0.214884	0.174795	0.184
258 	8946	0.41054	0.430816	0.369783	0.212175	0.212129	0.230399	0.309579	0.212305	0.237192
259 	9015	0.299814	0.210173	0.182403	0.181115	0.182387	0.176637	0.183544	0.183271	0.168709
260 	2497	0.367122	0.242722	0.156386	0.167532	0.188903	0.203192	0.185412	0.164956	0.171136

วัดดุสิดามมีติดันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
281		25273	0.237787	0.237404	0.238658	0.224128	0.231454	0.235311	0.223562	0.217105	0.235757
282		24473	0.292278	0.23472	0.225003	0.23452	0.231815	0.197004	0.228454	0.233577	0.233297
283		24484	0.221195	0.220148	0.20673	0.195452	0.152265	0.160527	0.182207	0.181215	0.179442
284		25494	0.295491	0.226659	0.221735	0.221968	0.205033	0.22519	0.252255	0.261063	0.233862
285		25193	0.282184	0.231602	0.2313	0.255411	0.25641	0.235692	0.232394	0.257031	0.23189
286		25108	0.392131	0.257389	0.261217	0.277401	0.268849	0.257808	0.261083	0.260817	0.270022
287		25491	0.376971	0.267838	0.253855	0.252997	0.262453	0.257062	0.254326	0.254469	0.245579
288		20000	0.299286	0.246601	0.23781	0.255484	0.254524	0.221055	0.265524	0.26192	0.257667
289		25211	0.27854	0.259842	0.201133	0.227456	0.221793	0.275484	0.196523	0.212321	0.239531



วัดสุสามมิตินันนัม	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
290		25431	0.221725	0.204739	0.221085	0.197621	0.192955	0.201131	0.195373	0.194223	0.1966
291		24615	0.289536	0.274843	0.216277	0.224164	0.25746	0.292635	0.244657	0.261053	0.251019
292		21774	0.281916	0.240516	0.240195	0.231278	0.229585	0.198701	0.195481	0.183047	0.243616
293		15000	0.274199	0.232472	0.225356	0.203753	0.194452	0.212666	0.225529	0.23603	0.237244
294		16501	0.207824	0.211552	0.201146	0.201264	0.187494	0.166724	0.165808	0.176393	0.195309
295		16780	0.227901	0.222462	0.224254	0.1981	0.183355	0.234243	0.22385	0.209239	0.202953
296		15832	0.379838	0.238445	0.235708	0.263537	0.259371	0.26255	0.257095	0.264198	0.250027
297		15315	0.30351	0.299121	0.270503	0.306476	0.272401	0.268915	0.269199	0.273168	0.265345
298		15000	0.34579	0.297684	0.241892	0.233057	0.269001	0.256345	0.251177	0.230881	0.240233






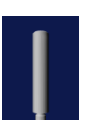



วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
299 	17117	0.301619	0.246332	0.253324	0.240529	0.225854	0.256077	0.261692	0.269516	0.268054
300 	17453	0.273776	0.263472	0.179795	0.228241	0.246696	0.18774	0.207962	0.225444	0.242
301 	9252	0.232236	0.233464	0.232539	0.336112	0.358182	0.303952	0.355026	0.360136	0.362247
302 	25125	0.293709	0.32899	0.277055	0.293417	0.305008	0.297073	0.294709	0.301688	0.304725
303 	15516	0.275841	0.237308	0.253383	0.276742	0.286437	0.266661	0.260808	0.263007	0.289784
304 	25467	0.247832	0.248864	0.223561	0.276192	0.30115	0.301867	0.243397	0.255254	0.302716
305 	27824	0.374402	0.412385	0.432516	0.430637	0.413165	0.433762	0.433795	0.373081	0.344441
306 	26798	0.275331	0.271567	0.368034	0.381078	0.338432	0.349515	0.370608	0.378052	0.365502
307 	27439	0.428832	0.445301	0.489984	0.455445	0.424643	0.443153	0.498095	0.402216	0.475856

วัดสุสามมิตินันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
308		23976	0.571052	0.59062	0.558063	0.569754	0.540504	0.611291	0.589244	0.468109	0.472466
309		5197	0.315001	0.330984	0.382574	0.345007	0.38024	0.381878	0.370348	0.346858	0.377507
310		8263	0.562132	0.535299	0.561305	0.540946	0.562832	0.561158	0.555988	0.461545	0.547163
311		25230	0.225733	0.222695	0.316611	0.346922	0.357225	0.34982	0.37837	0.329068	0.376352
312		26985	0.412424	0.28461	0.328547	0.322039	0.30713	0.311329	0.327809	0.323363	0.322435
313		10852	0.317358	0.354389	0.375069	0.387221	0.388794	0.369926	0.381053	0.360825	0.377142
314		26437	0.275639	0.300671	0.257966	0.264546	0.274236	0.271582	0.277384	0.274028	0.278388
315		25768	0.382636	0.398992	0.381754	0.429644	0.396893	0.445433	0.438846	0.383572	0.384678
316		23395	0.363213	0.369289	0.363981	0.362028	0.34529	0.334826	0.359402	0.35138	0.334717

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
317 	27726	0.388394	0.383928	0.428455	0.464642	0.439522	0.39231	0.477251	0.486788	0.452502
318 	25145	0.360681	0.360977	0.336568	0.288753	0.331112	0.340435	0.297453	0.335137	0.361165
319 	26558	0.391971	0.381997	0.462315	0.47637	0.480262	0.460401	0.475732	0.475654	0.479643
320 	27118	0.41356	0.325025	0.360575	0.323742	0.377675	0.366356	0.371115	0.410247	0.361654
321 	14995	0.504491	0.495042	0.537309	0.538441	0.536291	0.4735	0.423069	0.482845	0.531019
322 	14991	0.490801	0.514487	0.536625	0.537408	0.526184	0.484115	0.327435	0.389819	0.365811
323 	14991	0.517236	0.504936	0.459	0.537278	0.445659	0.535981	0.484503	0.49186	0.359057
324 	14812	0.32836	0.411401	0.581609	0.438351	0.401157	0.440735	0.422303	0.400396	0.421433
325 	14999	0.522642	0.514012	0.529435	0.525611	0.528525	0.524845	0.523922	0.439751	0.411552

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
326 	14995	0.507315	0.506027	0.504999	0.506956	0.440254	0.388037	0.410158	0.334109	0.304589
327 	14937	0.378585	0.363893	0.363237	0.37973	0.391336	0.326065	0.354735	0.374872	0.357224
328 	14994	0.50139	0.5448	0.526607	0.488744	0.489322	0.542133	0.544498	0.544154	0.544102
329 	14999	0.517336	0.499192	0.456273	0.514884	0.527137	0.514635	0.541338	0.533495	0.494272
330 	15000	0.469993	0.504327	0.51788	0.477604	0.539087	0.432496	0.494947	0.496268	0.519186
331 	15000	0.392121	0.392151	0.392144	0.391735	0.392136	0.391948	0.479146	0.40894	0.618628
332 	14997	0.520176	0.521146	0.458249	0.522522	0.523081	0.522365	0.469676	0.514249	0.509435
333 	14942	0.387499	0.389096	0.378647	0.387564	0.499907	0.540328	0.387523	0.482938	0.531971
334 	14997	0.419624	0.414269	0.451049	0.42177	0.428028	0.404699	0.359912	0.343074	0.337799

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
335 	14995	0.496374	0.495624	0.53712	0.536464	0.424243	0.525058	0.524226	0.530288	0.512468
336 	15505	0.460612	0.460612	0.460612	0.415156	0.395062	0.305297	0.378372	0.370274	0.364786
337 	11533	0.533465	0.53328	0.515318	0.421362	0.462957	0.417495	0.410763	0.38667	0.340982
338 	19403	0.437394	0.508871	0.498037	0.507347	0.507171	0.508761	0.506183	0.471016	0.493196
339 	15000	0.392052	0.392028	0.391952	0.39208	0.392042	0.562081	0.396635	0.435916	0.395658
340 	14997	0.420489	0.373764	0.401308	0.408455	0.444492	0.447856	0.342288	0.329252	0.325937
341 	1663	0.161484	0.160771	0.160795	0.160587	0.187479	0.161401	0.17762	0.203995	0.161795
342 	1663	0.198307	0.19942	0.199185	0.213334	0.212745	0.215072	0.21278	0.229694	0.230125
343 	1663	0.193468	0.192942	0.193634	0.193348	0.22389	0.207615	0.207615	0.225648	0.232308








วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
344 	3182	0.187668	0.185702	0.185116	0.188806	0.190186	0.201161	0.202056	0.21162	0.218056
345 	3614	0.184619	0.186635	0.187413	0.185892	0.205612	0.201417	0.21937	0.217683	0.217263
346 	3587	0.187526	0.186907	0.188009	0.191913	0.195758	0.208162	0.208125	0.219867	0.219965
347 	2623	0.328978	0.328959	0.327544	0.328433	0.32767	0.325796	0.329564	0.327824	0.330015
348 	2568	0.034136	0.034105	0.075306	0.075547	0.076102	0.076187	0.075985	0.0765	0.076562
349 	2568	0.132788	0.132923	0.133349	0.133353	0.13193	0.133551	0.133551	0.133551	0.133551
350 	8759	0.140953	0.140765	0.140908	0.140642	0.140712	0.140845	0.140754	0.140912	0.140991
351 	5192	0.134745	0.148662	0.164427	0.162094	0.251412	0.252321	0.251361	0.253041	0.25409
352 	10400	0.130973	0.145207	0.169989	0.180623	0.195292	0.22963	0.230535	0.230033	0.229536










วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ซุดระดับ สอง	ซุดระดับ สาม	ซุดระดับ สี่	ซุดระดับ ห้า	ซุดระดับ หก	ซุดระดับ เจ็ด	ซุดระดับ แปด	ซุดระดับ เก้า	ซุดระดับ สิบ
353 	1512	0.081879	0.082521	0.102846	0.186005	0.189547	0.169475	0.183556	0.188822	0.187942
354 	2910	0.060807	0.081075	0.082072	0.082797	0.081168	0.142532	0.147493	0.119863	0.15086
355 	14994	0.122776	0.122584	0.122648	0.122534	0.122788	0.123054	0.12257	0.123035	0.123022
356 	14992	0.12241	0.122679	0.122574	0.122877	0.122761	0.123116	0.123177	0.122815	0.123048
357 	14872	0.110851	0.111557	0.111447	0.109561	0.103252	0.115044	0.105376	0.103798	0.106174
358 	14127	0.213472	0.21393	0.227202	0.23524	0.243596	0.249971	0.231059	0.214914	0.173323
359 	14956	0.21535	0.216336	0.226993	0.237653	0.243824	0.235779	0.224757	0.217686	0.167638
360 	2200	0.017762	0.017812	0.017747	0.017579	0.017776	0.017823	0.017809	0.017853	0.01783
361 	14859	0.257945	0.416851	0.373651	0.341135	0.415573	0.406878	0.392487	0.415758	0.39074






วัดสุสามมิตินันนบ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
362		14476	0.257045	0.277417	0.269967	0.254471	0.284131	0.265828	0.280283	0.271561	0.277457
363		13434	0.117308	0.198057	0.196608	0.194493	0.21059	0.278532	0.294168	0.293385	0.293358
364		13548	0.397656	0.324541	0.249015	0.279965	0.247282	0.249756	0.436615	0.398718	0.429335
365		13514	0.354702	0.535365	0.499619	0.481701	0.525837	0.527003	0.521376	0.515544	0.511835
366		10637	0.4009	0.337557	0.406974	0.407388	0.423095	0.319244	0.395633	0.418772	0.426833
367		3900	0.387308	0.387349	0.387077	0.390303	0.393742	0.398063	0.384034	0.386364	0.382552
368		11202	0.427036	0.427036	0.451613	0.477637	0.463248	0.430906	0.405	0.391603	0.487471
369		13606	0.391153	0.36281	0.519479	0.534386	0.521353	0.513162	0.459551	0.507169	0.513432
370		13920	0.51381	0.513438	0.511254	0.501502	0.497977	0.489849	0.534535	0.447289	0.532274

วัดสุสามมิตินันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
371		14599	0.228899	0.381276	0.367294	0.390176	0.456473	0.489946	0.511508	0.510469	0.499515
372		6684	0.518085	0.33008	0.336147	0.313742	0.318946	0.320929	0.328267	0.328535	0.332486
373		10556	0.38706	0.387166	0.385545	0.387657	0.387325	0.388023	0.38415	0.383972	0.383573
374		14872	0.328245	0.329309	0.327446	0.326198	0.324804	0.329933	0.327172	0.32857	0.332221
375		11762	0.404482	0.400792	0.408861	0.407196	0.396567	0.298672	0.296936	0.30719	0.322658
376		12568	0.431759	0.43127	0.430265	0.450791	0.415112	0.397605	0.544229	0.570647	0.400385
377		15169	0.238635	0.242941	0.245797	0.245856	0.276756	0.321389	0.318555	0.315687	0.317669
378		6684	0.528523	0.339882	0.349376	0.305992	0.311457	0.331337	0.322239	0.323513	0.325523
379		6923	0.388761	0.386424	0.385103	0.384109	0.389277	0.389239	0.389528	0.38983	0.389328

วัตถุสามมิติต้นฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
380 	9356	0.306079	0.320459	0.331661	0.317493	0.3441	0.343556	0.341639	0.315884	0.266138
381 	6938	0.373909	0.244279	0.256301	0.254733	0.25374	0.235478	0.239183	0.248001	0.250526
382 	8078	0.331233	0.345917	0.204918	0.193624	0.193854	0.16982	0.193891	0.195629	0.195814
383 	13331	0.2786	0.251048	0.249722	0.249373	0.250772	0.251315	0.245678	0.247434	0.251468
384 	4712	0.187177	0.191251	0.20723	0.261872	0.203743	0.204757	0.204321	0.189874	0.188067
385 	10436	0.337113	0.329605	0.329821	0.195502	0.210352	0.209921	0.200058	0.198913	0.199543
386 	2087	0.229912	0.230709	0.229895	0.219342	0.218329	0.229837	0.22735	0.221209	0.222315
387 	14680	0.339767	0.362172	0.228061	0.183145	0.181208	0.183127	0.182744	0.18231	0.183073
388 	8411	0.260578	0.24969	0.259745	0.233167	0.222471	0.208749	0.206288	0.211614	0.319704

วัดสุสามมิตินฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ
389 	9490	0.497163	0.352516	0.252687	0.24507	0.210977	0.212024	0.208967	0.207293	0.176363
390 	9239	0.241405	0.170204	0.280664	0.205958	0.205452	0.136361	0.204353	0.132297	0.125017
391 	4315	0.345504	0.279207	0.297054	0.302038	0.302816	0.229428	0.203186	0.21327	0.340729
392 	8618	0.379747	0.243465	0.267886	0.245748	0.221486	0.228763	0.197294	0.223621	0.228983
393 	9757	0.486479	0.220428	0.30362	0.21591	0.238025	0.216641	0.199327	0.213009	0.1987
394 	9009	0.346318	0.229481	0.226919	0.186247	0.165522	0.167309	0.166809	0.167379	0.157143
395 	11312	0.185813	0.207927	0.210002	0.182689	0.18158	0.181025	0.182262	0.182613	0.191494
396 	5538	0.336547	0.18965	0.199042	0.190947	0.233424	0.194754	0.193626	0.193778	0.190248
397 	7268	0.358891	0.359534	0.35773	0.249026	0.192753	0.193765	0.193487	0.193159	0.191907

วัดกุสุมาmitesันฉบับ	จำนวน จุดยอด	ชุดระดับ สอง	ชุดระดับ สาม	ชุดระดับ สี่	ชุดระดับ ห้า	ชุดระดับ หก	ชุดระดับ เจ็ด	ชุดระดับ แปด	ชุดระดับ เก้า	ชุดระดับ สิบ	
398		1480	0.274579	0.263134	0.218017	0.220685	0.157849	0.221399	0.15779	0.221219	0.153737
399		3911	0.325571	0.222542	0.212954	0.183468	0.198534	0.200735	0.201908	0.186581	0.200123
400		3703	0.17383	0.211254	0.170429	0.160647	0.154191	0.157906	0.16397	0.164998	0.16951
ค่ามากที่สุด			0.740762	0.715524	0.720776	0.727315	0.624579	0.736052	0.725651	0.843662	0.725994
ค่าน้อยสุด			0.017762	0.017812	0.017747	0.017579	0.017776	0.017823	0.017809	0.017853	0.01783
ค่าเฉลี่ย			0.311712	0.28666	0.264305	0.250683	0.240689	0.240544	0.238316	0.23527	0.23289

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทรงพล อัดตสิริลักษณ์ เกิดวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี) จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษาที่ 2547 และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีภาควิชาคอมพิวเตอร์ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตต่อในปีการศึกษา 2551 ในภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย