

# การสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคม ที่มีช่องว่าง

โดย

นายทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

# การสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคม ที่มีช่องว่าง

โดย

นายทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



## Quad Meshes Generation from Drawings for Sharp Edged 3D Models with Holes

ΒY

Mr. SONGWUT JIAMSRISUKON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (COMPUTER SCIENCE) DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY THAMMASAT UNIVERSITY ACADEMIC YEAR 2016 COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นายทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์

เรื่อง

การสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่าง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

เมื่อ วันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2560

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ วรรธนาภา)

m

(รองศาสตราจารย์ ภาวดี สมภักดี)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นดวง ประดับสุวรรณ)

(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า)

(รองศาสตราจารย์ ปกรณ์ เสริมสุข)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

คณบดี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการ
	วาดเพื่อสร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่าง
ชื่อผู้เขียน	นายทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตรจารย์ ภาวดี สมภักดี
ปีการศึกษา	2559
ปการศึกษา	2559

## บทคัดย่อ

การสร้างวัตถุ3มิติที่มีที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมที่มีด้านคม และมีช่องว่างนั้น ค่อนข้างขับซ้อน แม้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับความนิยมในการใช้งานในปัจจุบันมาเป็นเครื่องมือ สำหรับใช้สร้างวัตถุดังกล่าวก็ยังพบว่าใช้เวลานานดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบที่นำการวาดรูปเส้น โค้งและรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่คล้ายกับการวาดภาพตามธรรมชาติของมนุษย์มาใช้ในการกำหนด โครงร่าง2มิติของอาวุธมีคมและช่องว่างภายในวัตถุเพื่อให้สร้างวัตถุได้เร็วขึ้น และใช้โครงสร้างตาข่าย แบบสี่เหลี่ยมในการจัดเก็บเพื่อให้เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้กับการสร้างเกมหรือแอนิเมชัน การ ให้ผู้ใช้สามารถกำหนดช่องว่างภายในวัตถุได้ ทำให้การสร้างรูปทรง3มิติมีความสลับซับซ้อนกว่าการ สร้างวัตถุโดยทั่วไปเพราะต้องทำการจัดเรียงลำดับของจุดในโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม หลังจาก กำหนดโครงร่าง2มิติเสร็จเรียบร้อยแล้วระบบจะนำโครงร่างที่ได้ไปแปลงเป็นวัตถุ3มิติด้วย กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยผู้ใช้ระบบสามารถควบคุมค่าความกว้างที่อยู่ระหว่างจุดต้นและจุดปลาย ด้วยค่าพารามิเตอร์ ผลลัพธ์ของโปรแกรมนี้จะได้วัตถุที่เป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมซึ่งสามารถ แปลงเป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสามเหลี่ยมได้ทำให้สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายชนิด ผู้วิจัย ได้นำเครื่องมือที่ได้พัฒนาไปทดลองใช้สร้างวัตถุกับผู้ใช้มายาระดับมืออาชีพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการ ทดสอบระบบพบว่าผู้ใช้มายาระดับมืออาชีพสามารถสร้างวัตถุ3มิติที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม ที่มีด้านคม และมีช่องว่างด้วยเวลาที่ลดลงถึง 54.97%

**คำสำคัญ:**การวาดรูป, รูปเรขาคณิตปฐมฐาน, สมการเส้นโค้ง, วัตถุ3มิติ, โครงสร้างตาข่ายแบบ สี่เหลี่ยม

Thesis Title	Quad Meshes Generation from Drawings for
	Sharp Edged 3D Models with Holes
Author	Mr. Songwut Jiamsrisukon
Degree	Master of Science
Department/Faculty/University	Department of Computer Science
	Faculty of Science and Technology
	Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Pavadee Sompagdee
Academic Years	2016

#### ABSTRACT

Generating a fine quality 3D sharp edged weapon model with holes based upon quad meshing is complicated. Although some current 3D modelling tools are available, generating a model for this specific purpose is still time-consuming. Therefore, we developed a flexible tool, using curve based drawings and simple primitives which is similar to human nature to sketch edges and holes within objects in 2D space in order to fasten our processes. Quad mesh lattice structure, which is suitable for games and animation, is used for object representation. Allowing users to cut holes within affects the complexity of our method in maintaining the sequence of vertices in lattice structure. After the completion of the 2D layout, our method performs extrusion process to generate 3D shape. Users are allowed to adjust the width between the beginning and end points with parameter. The output model; quad mesh model, can be split into triangles and can be used in various types of work. The experimental results showed that Professional Maya user created 3D objects with holed took less time than using Maya by 54.97%.

**Keywords:**Sketch-based Interfaces, Primitive Shape, Bezier Curved, 3 D modeling, Quadrilateral Mesh

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีมิได้หากขาดความกรุณาช่วยเหลือจากรองศา สตรจารย์ ภาวดี สมภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ตลอดเวลาดำเนินการจัดทำ ทั้งนี้ต้อง ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวลักษณ์ วรรธนาภา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตรจารย์ ดร. เด่นดวง ประดับสุวรรณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตรจารย์ ดร. พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกที่กรุณาเสียสละเวลาและให้ข้อเสนอแนะเพื่อ ปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดเวลาที่ศึกษา ขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้เข้ามาศึกษาและทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือ และสนับสนุนในทุกเรื่องตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ อ. ธนัช จิรวารศิริกุล ผู้อำนวยการศูนย์ DIDTC (Digital Innovative Design and Technology Center) และบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ทุกๆท่านที่ได้สละเวลา มาทำการทดลองให้กับข้าพเจ้า ทำให้การทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
้.3 ขอบเขตของโครงการ	4
1.3.1 ขอบเขตของตัวระบบ	4
1.3.2 ข้อจำกัดและกรอบการพัฒนา	4
1.4 ประโยชน์ของโครงงาน	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ลักษณะทั่วไปของอาวุธมีคม	6
2.1.1 หนังสือภาพ THE ILLUSTRATED DIRECTORY OF SWORDS & SABRES	6
2.1.2 Rittik-Designs	8
2.2 ผลงานในอดีตที่ใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างวัตถุ3มิติ	8
2.2.1 SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes	9
2.2.1.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบสเก็ต	9
2.2.1.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบสเก็ต	10

บทที่

2.2.2 Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design 10

2.2.2.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบเท็ดดี้	12
2.2.2.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบเท็ดดี้	13
2.2.3 Sketch-based Modeling with Few Strokes	13
2.2.3.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบ	16
2.2.3.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบ	16
2.2.4 3D Recononstruction from Drawings	16
2.2.4.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบ	19
2.2.4.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบ	19
2.3 ผลงานการวิจัยในอดีตที่นำโครงร่างมาใช้ในการสร้างผลงานเฉพาะด้าน	20
2.3.1 PaleoSketch	20
2.3.2 Mosaic	21
2.4 ข้อสรุปการพัฒนาระบบในลักษณะเดียวกัน	23
2.4.1 เส้นโครงร่างภายนอก	23
2.4.2 กลุ่มเส้นโครงร่างภายใน	23
2.4.3 การทำเอ็กซ์ทรูชัน	23
2.4.4 การส่งออกข้อมูล	24
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา	24
2.5.1 วิชวลสตูดิโอ2013อัลติเมท (Visual Studio 2013 Ultimate)	24
2.5.2 โอเพนจีแอล (OpenGL)	24
2.5.3 ฟรีกรัท (freeglut)	24
2.5.4 มายา 2014 (Maya 2014)	24
บทที่ 3 แนวทางดำเนินงาน	25
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของโครงร่าง	25
3.1.1 ลักษณะเส้นโครงร่าง	25
3.1.2 วิธีการสร้างเส้นโครงร่างภายนอก	27
3.1.2.1 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยการวาดรูป	27
3.1.2.2 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยสมการเส้นโค้ง	28
3.1.2.3 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน	29
3.1.3 วิธีการเพิ่มกลุ่มเส้นโครงร่างภายใน	30

(5)

3.1.3.1 การเพิ่มเส้นโครงร่างภายในด้	้วยการวาดรูป	30
3.1.3.2 การเพิ่มเส้นโครงร่างภายในด้	้วยสมการเส้นโค้ง	30
3.1.3.3 การเพิ่มเส้นโครงร่างภายในด้	ู้ วัยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน	31
3.1.4 การแบ่งประเภทของโครงร่าง		31
3.1.4.1 โครงร่างแบบรวม		32
3.1.4.2 โครงร่างแบบแยก		32
3.2 ภาพรวมของระบบ		34
3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การสร้างโครงร่าง		36
3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การทำเอ็กซ์ทรูชัน		39
3.3 โครงสร้างข้อมูล		41
3.3.1 vector of Model3D_Data		41
3.3.2 vector of Model3D_Line_Data		42
3.3.3 vector of Model3D_Vertex_Dat	a	43
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน		45
3.4.1 การแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระห	หว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่าง	45
3.4.2 การลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออ	บกจากเส้นโครงร่าง	48
3.4.3 การทำเอ็กซ์ทรูชัน		49
3.4.4 การส่งออกวัตถุ3มิติ		53
3.4.4.1 กลุ่มเฟสด้านหน้า		56
3.4.4.2 กลุ่มเฟสด้านหลัง		56
3.4.4.3 กลุ่มเฟสด้านซ้าย		56
3.4.4.4 กลุ่มเฟสด้านขวา		57
3.4.4.5 กลุ่มเฟสด้านบน		57
3.4.4.6 กลุ่มเฟสด้านล่าง		57
3.4.4.7 กลุ่มเฟสของช่องว่างฝั่งซ้าย		57
3.4.4.8 กลุ่มเฟสของช่องว่างฝั่งขวา		57
3.5 การออกแบบส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้		58
3.5.1 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอก[M0.(	)]	62
3.5.2 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐาน[MP]		63
3.5.3 เมนูสร้างรูปเรขาคณิตประเภทวงกล	ม[MP1]	64

(6)

3.5.4 เมนูกำหนดจำนวนจุดที่ใช้ควบคุมการสร้างสมการเส้นโค้ง[ML]	65
3.5.5 เมนูสร้างสมการเส้นโค้งที่มีจุดควบคุม 4 จุด[ML4]	66
3.5.6 เมนูเลือกประเภทของเส้นโครงร่าง[M1.0]	67
3.5.7 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกขวา[M2.0]	68
3.5.8 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย[M3.0]	69
3.5.9 เมนูแบ่งเส้นโครงร่างออกเป็น 2 เส้น[M4.0]	70
3.5.10 เมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[5.0]	71
3.5.11 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายใน[M6.0]	72
3.5.12 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานสำหรับสร้างช่องว่าง[MPL]	73
3.5.13 เมนูสร้างช่องว่างด้วยสมการเส้นโค้ง[MPL1]	74
3.5.14 เมนูแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน[M7.0]	75
3.5.15 เมนูลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่าง[M8.0]	76
3.5.16 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้น[M9.0]	77
3.5.17 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย[M10.0]	80
3.5.18 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบแยก[M11.0]	81
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	82
4.1 วัตถุ3มิติที่ใช้ในการทดสอบ	82
4.2 กระบวนการทดสอบ	84
4.3 ผลลัพธ์ที่ได้	84
4.4 วิเคราะห์ผลจากการทดลอง	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปการศึกษาวิจัย	86
5.1.1 สรุปวัตถุประสงค์	86
5.1.2 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน	86
5.2 สรุปผลการทดลอง	87
5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาและวิจัยต่อในอนาคต	92
รายการอ้างอิง	94

(7)

ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก ส่วนของโครงสร้างที่ใช้ในการเขียนในโปรแกรม	99
ภาคผนวก ข ตัวอย่างไฟล์ OBJ ที่ถูกบันทึก	103
ประวัติผู้เขียน	105

(8)



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D_Data	41
3.2 ข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D_Line_Data	42
3.3 ข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D_Vertex_Data	43
4.1 เวลาที่ใช้ในหน่วยวินาทีในการสร้างวัตถุ3มิติทั้ง 6 รูปแบบ	84



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 การทับซ้อนกันของเส้นโครงร่างที่ทำให้ภาพโครงร่างผิดเพี้ยนไปจากรูปที่วาด	5
2.1 หน้าปกของหนังสือภาพ (Withers, 2011)	7
2.2 ตัวอย่างวัตถุ2มิติประเภทมีดที่ Rittik ออกแบบ (Rittik, 2016)	8
2.3 ตัวอย่างไวยากรณ์ของระบบสเก็ต (Zeleznik et al., 1996)	9
2.4 ลักษณะเส้นโครงสร้างภายในของระบบเท็ดดี้ (Igarashi et al., 1999)	10
2.5 การทำเอ็กซ์ทรูชันของเท็ดดี้ (Igarashi et al., 1999)	11
2.6 ภาพรวมการดำเนินงานของระบบเท็ดดี้ (Igarashi et al., 1999)	11
2.7 ผลลัพธ์วัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบเท็ดดี้ หลังจากการแปะพื้นผิว (Igarashi et al., 1999)	12
2.8 เทคนิคการวาดรูปด้วยมือ (Cherlin et al., 2005)	13
2.9 เทคนิค Rotational Blending (Cherlin et al., 2005)	14
2.10 เทคนิค Cross Sectional Blending Surface (Cherlin et al., 2005)	14
2.11 เทคนิค Orthogonal Deformation Stroke (Cherlin et al., 2005)	15
2.12 ตัวอย่างผลงานต่างๆบนระบบ 1 (Cherlin et al., 2005)	15
2.13 ตัวอย่างผลงานต่างๆบนระบบ 2 (Cherlin et al., 2005)	16
2.14 ขั้นตอนที่ 1 (Fang, & Lee, 2013)	17
2.15 ขั้นตอนที่ 2 (Fang, & Lee, 2013)	18
2.16 ขั้นตอนที่ 3 (Fang, F. & Lee, Y.T., 2013)	18
2.17 ตัวอย่างวัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบ (Fang, & Lee, 2013)	19
2.18 การทำงานของระบบปาลีโอสเก็ต (Paulson, & Hammond, 2008)	20
2.19 ลำดับการทำงานของระบบโมเซอิค (Abdrashitov et al., 2014)	21
2.20 การวางแผ่นกระเบื้องที่มีค่าความหนาแน่นที่ต่างกัน (Abdrashitov et al., 2014)	22
2.21 ขั้นตอนการขยายแผ่นกระเบื้อง (Abdrashitov et al., 2014)	22
3.1 ลักษณะของเส้นโครงร่าง	26
3.2 ลักษณะของเส้นโครงร่างภายนอก	26
3.3 ลักษณะของกลุ่มเส้นโครงร่างภายใน	27
3.4 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยการวาดรูป	28

3.5 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยสมการเส้นโค้ง	29
3.6 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน	29
3.7 การสร้างเส้นโครงร่างภายใน	30
3.8 การสร้างช่องว่างด้วยสมการเส้นโค้งแบบปลายปิดบนเส้นโครงร่างภายใน	31
3.9 การสร้างช่องว่างด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานบนเส้นโครงร่างภายใน	31
3.10 โครงร่างแบบรวม	32
3.11 โครงร่างแบบแยก	33
3.12 โครงร่างแบบแยกที่จุดต้นและจุดปลายสำหรับใช้สร้างช่องว่างหลัก	33
3.13 ภาพรวมของระบบ	35
3.14 เส้นโครงร่างภายนอกซ้าย และขวา	36
3.15 เส้นโครงร่างภายนอก และเส้นโครงร่างภายใน	37
3.16 การแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น	38
3.17 การลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง	39
3.18 บัสเตอร์ซอร์ดหลังจากการทำเอ็กซ์ทรูชันในมุมมองแบบ Perspective	40
3.19 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D_Data	42
3.20 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D_Line_Data	43
3.21 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D_Vertex_Data	44
3.22 ขั้นตอนการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน	45
3.23 ช่องว่างที่ไม่สมมาตรจะมีระยะห่างไม่เท่ากัน	47
3.24 ช่องว่างที่ไม่สมมาตรหลังการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน	47
3.25 การคำนวณหามุมให้กับจุด	48
3.26 การช่วงลดจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง	49
3.27 การกำหนดค่าแกมมาที่แตกต่างกัน	51
3.28 หน้าต่างเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบแยก	51
3.29 หน้าต่างเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดปลาย	52
3.30 หน้าต่างเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย	53
3.31 การเรียงลำดับของจุดในไฟล์รูปแบบ OBJ	55
3.32 การใช้ฟังก์ชัน Insert Edge Loop ในโปรแกรมมายา	58
3.33 การออกแบบส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้ 1	59

(11)

3.34 การออกแบบส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้ 2	60
3.35 ส่วนต่อประสานงานของระบบ	61
3.36 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอก[M0.0]	62
3.37 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐาน[MP]	63
3.38 เมนูสร้างรูปเรขาคณิตประเภทวงกลม[MP1]	64
3.39 เมนูกำหนดจำนวนจุดที่ใช้ควบคุมการสร้างสมการเส้นโค้ง[ML]	65
3.40 เมนูสร้างสมการเส้นโค้งที่มีจุดควบคุม 4 จุด[ML4]	66
3.41 เมนูเลือกประเภทของเส้นโครงร่าง[M1.0]	67
3.42 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกขวา[M2.0]	68
3.43 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายอนกซ้าย[M3.0]	69
3.44 หน้าต่างเมนูแบ่งเส้นโครงร่างออกเป็น 2 เส้น และหน้าต่าง[M5.0]	70
3.45 เมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[M5.0]	71
3.46 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายใน[M6.0]	72
3.47 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานสำหรับสร้างช่องว่าง[MPL]	73
3.48 เมนูสร้างช่องว่างด้วยสมการเส้นโค้ง[MPL1]	74
3.49 เมนูแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน[M7.0]	75
3.50 ตัวอย่างการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน	76
3.51 เมนูลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่าง[M8.0]	76
3.52 ตัวอย่างการลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่าง	77
3.53 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้น[M9.0]	77
3.54 ตัวอย่างการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้น	79
3.55 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย[M10.0]	80
3.56 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบแยก[M11.0]	81
4.1 วัตถุ3มิติที่ใช้ทดสอบทั้ง 6 รูปแบบ	83
4.2 กราฟแสดงข้อมูลจากตารางที่ 4.1	85
5.1 วัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบนี้และส่งออกไปที่โปรแกรมมายา	87
5.2 วัตถุ3มิติหลังจากทำซับดิวิชัน	88
5.3 วัตถุ3มิติหลังจากใส่แสง และแปะพื้นผิว	88
5.4 ส่วนคมของวัตถุหลังแปะพื้นผิว	89

(12)

5.5 ตัวอย่างอาวุธมีคมที่สร้างจากระบบ 1	89
5.6 ตัวอย่างอาวุธมีคมที่สร้างจากระบบ 2	90
5.7 ส่วนประกอบโครงร่างของดาบ	91
5.8 ผลลัพธ์ของดาบหลังประกอบ	91
5.9 การทับกันของเส้นระหว่างโครงร่าง	92
5.10 การใช้กลุ่มเส้นโครงร่างภายในเพื่อแก้ไขการทับกันระหว่างเส้นโครงร่าง	93

(13)



## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ลักษณะของอาวุธมีคมจะมีด้านคมและบางชนิดจะมีช่องว่างอยู่ในตัวของวัตถุ (Withers, 2011; Rittik, 2015) ซึ่งอาวุธมีคมถือเป็นวัตถุ3มิติที่มีรูปทรงที่หลากหลายและพบเป็นจำนวนมากใน งานบันเทิงต่างๆ เช่น ละคร เกม แอนิเมชัน เป็นต้น การสร้างอาวุธมีคมแบบวัตถุ3มิติให้ออกมาใช้งาน ได้อย่างรวดเร็วจึงมีความสำคัญอย่างมาก นอกจากนี้การสร้างต้องคำนึงถึงคุณภาพโดยที่ผู้ใช้ต้อง พิจารณาถึงความเหมือนของวัตถุ3มิติและยังต้องพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างของวัตถุในประเด็น อื่นๆด้วย เช่น รูปแบบของโครงสร้างตาข่าย ปริมาณของโพลีกอนในวัตถุ3มิติ เป็นต้น

โดยปกติแล้วการสร้างวัตถุ3มิติจะใช้โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม (Quadrilateral Mesh) เพราะเป็นลักษณะโครงสร้างที่ดูเรียบง่ายทำให้ง่ายต่อการนำไปต่อเติมและแก้ไข โดยวัตถุ3มิติ ที่ได้เมื่อนำไปทำดีฟอร์เมชัน (Deformation) จะไม่เกิดปัญหาเรื่องการพับ (Folding effect) ทำให้ ภาพเคลื่อนไหวในแอนิเมชันดูราบรื่นและที่สำคัญวัตถุ3มิติที่ใช้โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมหลังจาก ทำซับดิวิชัน (Subdivision) แล้วก็ยังคงสภาพที่ดูเรียบง่ายเช่นเดิม

นอกจากโครงสร้างแล้วผู้ใช้จะต้องคำนึงถึงปริมาณของโพลีกอนที่ใช้ในวัตถุ3มิติ ยกตัวอย่างเช่น ในงานของเกมที่ให้ความสำคัญกับความเร็วในการประมวลผล เนื่องจากเกมถูกจำกัด ด้วยฮาร์ดแวร์ (Hardware) และความสามารถของเกมเอ็นจิน (Engine) ดังนั้นผู้ใช้จะต้องสร้างวัตถุ3 มิติให้มีปริมาณโพลีกอนน้อยที่สุดที่ทำให้วัตถุ3มิติดูเหมือนมากที่สุด เพื่อให้เกมแสดงผลภาพได้อย่าง ทันท่วงทีและมีความสมจริงมากที่สุดเท่าที่ระบบจะรองรับได้

จากที่กล่าวมาการสร้างอาวุธมีคมแบบวัตถุ3มิติที่มีช่องว่างให้มีคุณภาพตามเงื่อนไขที่ กำหนดนั้นค่อนข้างซับซ้อนและใช้เวลามาก ในโปรแกรมมายา (Maya, 2016) การสร้างช่องว่างให้กับ วัตถุ3มิติที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม ผู้ใช้จะต้องเลือกจุด (Vertex) มาแปลงเป็นเฟส (Face) โดยการใช้ฟังก์ชัน Chamfer Vertex จากนั้นให้นำเฟสที่ได้มาเพิ่มจำนวนเฟสย่อยภายในให้เป็น 4 เฟส ด้วยฟังก์ชัน Add Subdivision จากนั้นผู้ใช้จะต้องทำการปรับจุดที่ได้จากเฟสนั้นๆให้มีรูปลักษณ์ ตามช่องว่างที่ต้องการ นอกจากนี้ผู้ใช้ต้องทำการเชื่อมจุดในเฟสที่ไม่เป็นโครงสร้างตาข่ายแบบ สี่เหลี่ยม (การเพิ่มเฟสเป็น 4 เฟสจากการทำซับดิวิชันจะทำให้โครงสร้างในส่วนที่จะทำช่องว่าง เปลี่ยนแปลงไป) ให้เป็นสี่เหลี่ยมด้วยการใช้ฟังก์ชัน Interactive Split Tool โดยการเติมเส้นทีละเส้น ไปเรื่อยๆจนครบ จากที่กล่าวมาการสร้างช่องว่างให้กับวัตถุ3มิติที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมต้อง ผ่านหลายขั้นตอนและใช้เวลามาก

นอกจากที่กล่าวมาในโปรแกรมมายามีเทคนิคบูลีน (Boolean) หรือ CSG (Constructive solid geometry) (Zeleznik et al., 1996; Rivers et al., 2010) ในการทำช่องว่าง ให้กับวัตถุ3มิติ ซึ่งสามารถสร้างช่องว่างได้อย่างรวดเร็วแต่ก็มีจุดอ่อนตรงที่จุดระหว่างส่วนของช่องว่าง กับวัตถุนั้นจะแยกออกจากกัน ซึ่งในมายาจะใช้ฟังก์ชัน Interactive Split Tool ในการเติมเส้นเชื่อม ทีละเส้น หรือใช้ฟังก์ชัน Triangulate ในการเชื่อมจุดที่แยกออกจากกันแบบอัตโนมัติ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ จะเป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสามเหลี่ยมทำให้ยากต่อการนำไปพัฒนาต่อไป

กระบวนการสร้างวัตถุ3มิติที่ได้รับความนิยมและเป็นสากลในปัจจุบันจะใช้วิธีการปั้นซึ่ง ผู้สร้างจะเริ่มสร้างจากวัตถุที่เป็นเรขาคณิตปฐมฐาน (Primitive Geometry) ซึ่งเป็นรูปทรงจำพวก ลูกบาศก์ รูปทรงกรวย และรูปทรงกลม เป็นต้น จากนั้นผู้สร้างจะค่อยๆเพิ่มรายละเอียดให้กับวัตถุที่ กำลังสร้าง โดยระบบที่ใช้กระบวนการปั้นวัตถุ3มิติที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันได้แก่ AutoDesk Maya, 3ds Max และ Blender เป็นต้น

นอกจากกระบวนการปั้นวัตถุ3มิติที่ถูกสร้างโดยการใช้ซอฟแวร์แล้ว ก็ยังมีกระบวนการ สร้างวัตถุ3มิติอีกหลายวิธี เช่น กระบวนการสแกนวัตถุ3มิติในโลกแห่งความจริง (3D Scanning) กระบวนการสร้างวัตถุจากรูปภาพ (Image Based Modeling) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการสร้างวัตถุ3มิติ ที่ให้ความสำคัญในเรื่องของความเร็วและโครงสร้างของตาข่ายนั้นจะใช้กระบวนการวาดรูปในการ สร้างวัตถุ3มิติ (Sketch-based Modeling) โดยกระบวนการนี้ผู้ใช้จะสร้างเส้นภาพเงา (Silhouette) ด้วยการวาดรูป จากนั้นระบบจะทำการเปลี่ยนเส้นภาพเงาที่เป็น2มิติให้กลายเป็นวัตถุ3มิติโดย อัตโนมัติด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน

จากที่กล่าวมาการสร้างระบบที่จะช่วยให้การสร้างอาวุธมีคมแบบ3มิติทำได้อย่าง รวดเร็วจึงมีความเป็นสำคัญอย่างมาก นอกจากนี้การสร้างวัตถุ3มิติหนึ่งวัตถุอาจจะมีผู้สร้างได้หลาย คนดังนั้นการส่งมอบวัตถุ3มิติให้กับผู้สร้างคนต่อไปด้วยโครงสร้างที่ง่ายต่อการต่อเติมและแก้ไขก็มี ความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากัน

จากการศึกษาผลงานการออกแบบอาวุธมีคมที่อยู่ในรูปแบบ2มิติ นั้นพบว่าวัตถุที่ นำมาใช้มีขอบเขตเส้นโครงร่างและรูปทรงที่กว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นวัตถุที่มีลักษณะโค้งมน วัตถุที่มี ช่วงหนาสลับแบนราบ วัตถุที่มีช่องว่างอยู่บนพื้นผิวของตัววัตถุ และวัตถุที่มีโครงร่างเป็นส่วนเว้า (Concave) ซึ่งผลงานต่างๆในอดีตที่ใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างวัตถุ3มิตินั้นยังไม่ตอบโจทย์ ขอบเขตความต้องการเหล่านี้

จากที่กล่าวมางานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอระบบการสร้างโครงร่างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3 มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่าง โดยเทคนิคที่ทางผู้วิจัยได้นำมาใช้ได้รับแรงบันดาลใจ มาจากผลงานการออกแบบอาวุธมีคม ผลงานการวิจัยในอดีตที่ใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างวัตถุ 3มิติ และผลงานการวิจัยในอดีตที่นำเส้นโครงร่างมาใช้ในการสร้างผลงานเฉพาะด้านเป็นต้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการนำเสนอระบบการสร้างโครงร่างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3 มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่าง โดยใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างขอบเขตของ โครงร่างหรือที่เรียกว่าเส้นภาพเงาให้กับวัตถุ3มิติ จากนั้นผู้ใช้สามารถเพิ่มรายละเอียดให้กับโครงร่าง ด้วยการเพิ่มเส้นโครงร่างภายใน ซึ่งเส้นโครงร่างภายในนี้จะนำไปใช้เพิ่มรายละเอียดต่างๆ และสร้าง ช่องว่างให้กับตัววัตถุโดยช่องว่างดังกล่าวถูกสร้างมาจากรูปเรขาคณิตปฐมฐานประเภทวงกลม วงรี และสมการเส้นโค้ง หลังจากที่ได้โครงร่างของวัตถุ2มิติครบถ้วนแถ้วระบบจะนำเส้นโครงร่างที่เตรียม ไว้มาเข้ากระบวนการทำเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นวัตถุ3มิติ ถึงแม้ว่าระบบ นี้จะไม่ได้รองรับการทำพื้นผิว (Texture) แต่ระบบนี้สามารถสร้างโครงร่างของวัตถุ3มิติได้อย่าง รวดเร็วและง่ายต่อการแปะพื้นผิวและรวมถึงการต่อเติมและแก้ไข เพราะวัตถุ3มิติที่ได้จากระบบนี้จะ ใช้โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมที่มีการตัดช่วงของเส้นโครงร่างที่มีความสำคัญน้อยออกไป ซึ่งจะทำ ให้เส้นโครงร่างที่ได้มีความหนาแน่นของข้อมูลน้อยลงโดยไม่ทำให้เส้นโครงร่างเปลี่ยนแปลงจากเดิม จนเห็นได้ชัด ระบบนี้มีส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้แบบโต้ตอบทันที โดยผู้ใช้สามารถควบคุมระบบ ผ่านทางปุ่ม ไอคอน (Icon) และสไลเดอร์บาร์ (Slider Bar) นอกจากนี้ผู้ใช้มายาระดับมืออาชีพ สามารถสร้างวัตถุ3มิติที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมที่มีด้านคม และมีช่องว่างด้วยเวลาที่ลดลงถึง 54.97%

## 1.2 วัตถุประสงค์

 เพื่อให้การสร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่าง และมีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมสามารถ ทำได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมปริมาณโพลีกอนในวัตถุ3มิติได้

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

#### 1.3.1 ขอบเขตของตัวระบบ

1) ระบบสามารถเพิ่มวัตถุ3มิติลงบนหน้าจอได้

2) ระบบสามารถสร้างเส้นโครงร่างด้วยการวาดรูป การใช้สมการเส้นโค้งแบบเบ ซิเยร์ (Bezier Curve) และการใช้รูปเรขาคณิตปฐมฐาน (Primitive Shape) ได้

 ระบบสามารถสร้างช่องว่างให้กับวัตถุด้วยการใช้สมการเส้นโค้งแบบเบซิเยร์ และการใช้รูปเรขาคณิตปฐมฐานได้

4) ระบบสามารถลบจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากโครงสร้างของวัตถุ3มิติได้

5) ระบบสามารถทำเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) ได้

6) ระบบสามารถส่งออก (Export) วัตถุ3มิติออกไปเป็นไฟล์สกุล .OBJ ได้

#### 1.3.2 ข้อจำกัดและกรอบการพัฒนา

การพัฒนาโครงงานให้สำเร็จตามเป้าหมายในกรอบเวลาที่จำกัด ระบบดังกล่าว ยังมีข้อจำกัด ซึ่งเป็นส่วนงานที่ไม่สามารถครอบคลุมได้ดังนี้

 ระบบยังไม่สามารถสร้างวัตถุ3มิติที่มีโครงร่างเป็นส่วนเว้าได้ครบทุกรูปแบบ เนื่องจากเส้นเชื่อมระหว่างเส้นโครงร่างอาจเกิดการทับซ้อน (Self-Intersection) กับเส้นโครงร่าง ซึ่ง จะเกิดได้จากกรณีที่เส้นกำหนดขอบเขตโครงร่างซ้ายและเส้นกำหนดขอบเขตโครงร่างขวาเป็นเส้น โครงที่เป็นส่วนเว้าที่ไม่มีการวางเส้นไปในแนวเดียวกัน (เส้นเชื่อมระหว่างเส้นโครงร่างเกิดการทับซ้อน กับเส้นโครงร่างมากกว่า 2 ครั้งขึ้นไป) ดังภาพที่ 1.1 แต่ผู้ใช้สามารถควบคุมเส้นโครงร่างภายในเพื่อ แก้ปัญหาดังกล่าวได้



ภาพที่ 1.1 การทับซ้อนกันของเส้นโครงร่างที่ทำให้ภาพโครงร่างผิดเพี้ยนไปจากรูปที่วาด

## 1.4 ประโยชน์ของโครงงาน

เพื่อให้การสร้างอาวุธมีคมที่ใช้ในงานบันเทิงต่างๆทำได้รวดเร็วขึ้นยิ่งขึ้น
เพื่อให้ผู้ออกแบบงาน2มิติสามารถสร้างวัตถุ3มิติที่ตนต้องการได้ด้วยตนเอง

## บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบที่มีส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้สำหรับสร้างอาวุธมีคม แบบ3มิติที่มีช่องว่าง เพื่อให้ระบบสามารถสร้างวัตถุ3มิติที่มีขอบเขตดังกล่าวได้นั้นมีพื้นฐานมาจาก การศึกษาและทบทวนวรรณกรรมจากผลงานสามกลุ่มได้แก่

1) การศึกษาลักษณะทั่วไปของอาวุธมีคม

2) การศึกษาผลงานการวิจัยในอดีตที่ใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างวัตถุ3มิติ (Sketch-based Modeling)

3) การศึกษาผลงานการวิจัยในอดีตที่นำโครงร่างมาใช้ในการสร้างผลงานเฉพาะด้าน

## 2.1 ลักษณะทั่วไปของอาวุธมีคม

อาวุธมีคมถือเป็นวัตถุ3มิติที่มีรูปทรงที่หลากหลายและพบเป็นจำนวนมากในงานบันเทิง ต่างๆ เช่น ละคร เกม แอนิเมชัน เป็นต้น และจะพบมากในเกมอาร์พีจี (Role-playing game) ที่ จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนอาวุธให้ตัวละครอยู่เสมอ ซึ่งผลงานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของอาวุธมีคม มีดังต่อไปนี้

#### 2.1.1 หนังสือภาพ THE ILLUSTRATED DIRECTORY OF SWORDS & SABRES

หนังสือภาพ THE ILLUSTRATED DIRECTORY OF SWORDS & SABRES (Withers, 2011) ดังภาพที่ 2.1 เป็นหนังสือที่รวบรวมข้อมูลของอาวุธมีคมจากหลายชนชาติตั้งแต่ สมัยก่อนคริสตกาลจนถึงปลายศตวรรษที่ 19 ประเภทของอาวุธในหนังสือเล่มนี้ได้แก่ ดาบ ดาบสอง คม ขวาน กระบี่ ง้าว หอก และดาบญี่ปุ่น เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 หน้าปกของหนังสือภาพ (Withers, 2011)

อาวุธแต่ละประเภทก็จะมีลักษณะของใบมีดที่มีรูปทรงแตกต่างกันออกไปตาม วิธีการใช้งาน อาวุธที่ใช้สำหรับฟันโดยเฉพาะจะมีลักษณะใบมีดที่โค้งเพื่อให้หน้าคมสามารถสัมผัสคู่ ต่อสู้ได้มากขึ้น ส่วนอาวุธที่ใช้สำหรับแทงจะมีลักษณะใบมีดที่ตรงเพื่อให้ส่งแรงไปที่ปลายมีดได้มากขึ้น ทำให้สามารถแทงทะลุเกราะเหล็กกล้าได้ ซึ่งบางใบมีดอาจจะมีใบเลื่อยอยู่ที่สันดาบเพื่อให้การดึง หลังจากการแทงสร้างความเสียหายให้กับศัตรูได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ที่บริเวณปลายของใบมีดก็จะมี ลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกันออกไป เช่น ปลายแหลม ปลายแหลมแบบสมมาตร ปลายโค้ง ปลายตัด เป็นต้น

ใบมีดบางชนิดมีการทำฟูลเลอร์ (Fuller) ซึ่งมีลักษณะรูปทรงคล้ายรางน้ำ โดย ปกติฟูลเลอร์จะอยู่ตรงบริเวณแกนกลางของใบมีดเพื่อทำให้ใบมีดดูสว่างมากขึ้น และเป็นการลด ปริมาตรของเหล็กที่ใช้สร้างตัวใบมีดโดยไม่ทำให้สูญเสียความแข็งแกร่งไปจากเดิม บางชนิดมีการทำ รีกัซโซ (Ricasso) การทำรีกัซโซคือการไม่ลับคมตรงบริเวณโคนดาบซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถใช้มือทั้ง สองข้างจับดาบฟันได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทำให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนจังหวะในการต่อสู้ได้อย่าง เหมาะสม และเป็นการประหยัดเวลาในการลับคมให้กับช่างตีเหล็กอีกด้วย

ใบมีดบางชนิดถูกออกแบบมาคล้ายกับตะขอ (Hook blade) ใช้สำหรับปีนข้าม สิ่งกีดขวาง หรือใช้ดึงคู่ต่อสู้จากด้านหลัง ซึ่งใบมีดประเภทนี้จะมีรูปทรงของปลายมีดเว้าเข้าหาด้านจับ ใบมีดบางชนิดถูกออกแบบมาคล้ายรูปคลื่น เช่น กริช (Kris) และฟลัมเบิร์จ (Flamberge) เมื่อใบมีด ชนิดนี้ปะทะกับอาวุธของศัตรู การเสียดสีของอาวุธรูปคลื่นจะทำให้อาวุธของศัตรูถูกผลักกระเด็น ออกไปเป็นผลให้คู่ต่อสู้เสียหลัก และยังใช้ในการฟันเพื่อทำลายชุดเกราะเหล็กกล้าได้มากกว่าดาบตรง แบบปกติ นอกจากนี้ใบมีดรูปคลื่นยังใช้สำหรับแทงคู่ต่อสู้เพื่อเปิดปากแผลได้อีกด้วย

#### 2.1.2 Rittik-Designs

Rittik (Rittik, 2016) เป็นนักออกแบบงานแนวแฟนตาซีอยู่บนเว็บไซต์เดเวียน อาร์ต (Deviantart) ผลงานของ Rittik เป็นรูป2มิติที่มีการลงสีอย่างสวยงามโดยมีการจัดหมวดหมู่ ตามประเภทของวัตถุซึ่งประเภทวัตถุที่ตรงกับผลงานของ Rittik ได้แก่ คทา ดาบ มีด ธนู พัด เคียว ดาวกระจาย ขวาน มงกุฎ และโพชัน เป็นต้น โดยตัวอย่างของมีดจะถูกแสดงดังภาพที่ 2.2 ผลงานอาวุธแนวแฟนตาซีจะมีความซับซ้อนกว่าอาวุธจริง เนื่องจากมีรายละเอียด

และส่วนเว้าของตัวใบมีดที่มากกว่า นอกจากนี้ใบมีดบางชนิดก็มีช่องว่างบนใบมีดอีกด้วย



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างวัตถุ2มิติประเภทมีดที่ Rittik ออกแบบ (Rittik, 2016)

## 2.2 ผลงานในอดีตที่ใช้กระบวนการวาดรูปในการสร้างวัตถุ3มิติ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีระบบที่ใช้การวาดรูปในการสร้างวัตถุ3มิติอยู่มากมายซึ่งก็มี จุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกันไป บางระบบใช้งานง่ายแต่สร้างวัตถุ3มิติได้น้อยชนิด บางระบบใช้งาน ยากมีข้อจำกัดเยอะแต่สามารถสร้างวัตถุ3มิติได้หลากหลายชนิด หรือบางระบบที่ทำมาเพื่อสร้างวัตถุ3 มิติชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งระบบที่ทางผู้วิจัยได้ศึกษามามีดังต่อไปนี้

#### 2.2.1 SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes

สเก็ต (Zeleznik et al., 1996) เป็นระบบที่ใช้การวาดรูปในการสร้างวัตถุ3มิติ โดยอิงตามไวยากรณ์ (Grammar) ที่ได้เตรียมไว้ เช่นวาดเส้นตรงที่ทำมุมฉากกัน 3 เส้นจะสร้าง ลูกบาศก์ขึ้นมา เป็นต้น ซึ่งวัตถุ3มิติที่ทำได้ส่วนใหญ่มีขอบเขตใกล้เคียงกับรูปทรงเรขาคณิตปฐมฐาน (Primitive Geometry) และระบบสเก็ตนี้มีความสามารถในการทำ CSG ได้อีกด้วย โดยตัวอย่างของ ไวยากรณ์จะถูกแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างไวยากรณ์ของระบบสเก็ต (Zeleznik et al., 1996)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่ใช้ระบบ CSG กับกลุ่มของเส้นโครงร่างในการสร้าง วัตถุ3มิติ (Rivers et al., 2010) แต่จะแตกต่างจากระบบสเก็ตตรงที่ผู้ใช้ไม่ต้องจำไวยากรณ์แต่ผู้ใช้ ต้องวาดเส้นโครงร่างในหลายๆมุมมองเพื่อให้ระบบรับรู้ตำแหน่งที่ชัดเจนของเส้นโครงร่างเพื่อที่จะ นำไปเข้ากระบวนการ CSG ต่อไปได้

### 2.2.1.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบสเก็ต

- 1) ระบบมีส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้แบบโต้ตอบทันที
- 2) ระบบสามารถแก้ไขวัตถุ3มิติด้วยวิธีการ CSG ได้

### 2.2.1.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบสเก็ต

- 1) ระบบมีขอบเขตการสร้างวัตถุ3มิติที่ถูกจำกัดไว้ในไวยากรณ์
- 2) ผู้ใช้ต้องจดจำไวยากรณ์เป็นจำนวนมาก

## 2.2.2 Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design

เท็ดดี้ (Igarashi et al., 1999) เป็นระบบที่ใช้การวาดรูปในการสร้างวัตถุ3มิติที่มี ลักษณะโค้งมนหรือเป็นทรงกลม ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปสร้างตุ๊กตา โดยเท็ดดี้ได้แบ่งระบบการ ทำงานออกเป็นหลายขั้นตอนวิธีได้แก่ ช่วงสร้าง (Creation) ช่วงตกแต่ง (Painting) และช่วงเอ็กซ์ทรู ชัน (Extrusion)

ในช่วงสร้างผู้ใช้จะทำการวาดโครงร่าง (Silhouette) เพื่อกำหนดขอบเขตของ วัตถุ จากนั้นระบบจะใช้วิธีการของ Chordal Axis Transform เพื่อสร้างกลุ่มเส้นโครงร่างภายในซึ่ง ผลลัพธ์ที่ได้จะได้กลุ่มเส้นโครงร่างภายในที่เหมาะกับการนำไปทำเอ็กซ์ทรูชันให้ออกมาเป็นวัตถุทรง กลม ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะเส้นโครงสร้างภายในของระบบเท็ดดี้ (Igarashi et al., 1999)

หลังจากที่ได้กลุ่มเส้นโครงร่างภายในแล้วระบบจะทำเอ็กซ์ทรูชันที่ด้านบนและ ด้านล่างของเส้นโครงร่างโดยเทียบตามระยะห่างของ Chordal Axis กับเส้นโครงร่างภายนอก ถ้า ระยะห่างอยู่ห่างกันมากส่วนนั้นก็จะถูกเอ็กซ์ทรูชันออกไปมาก ส่วนเส้นโครงร่างภายนอกจะค่อยๆลด ปริมาตรให้ลู่เข้าหาเส้น Chordal Axis ผ่านทางเส้นโครงร่างภายในจึงทำให้วัตถุ3มิติมีลักษณะเป็น ทรงกลม ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การทำเอ็กซ์ทรูชันของเท็ดดี้ (Igarashi et al., 1999)

นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถตกแต่งหรือแก้ไขวัตถุ3มิติหลังจากการทำเอ็กซ์ทรูชันได้ โดยผู้ใช้สามารถตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกไป เพิ่มส่วนที่ต้องการเข้าไป หรือเพิ่มลวดลายบนพื้นผิว3มิติ ดังภาพที่ 2.6 และตัวอย่างของวัตถุ3มิติที่ถูกสร้างจากระบบจะถูกแสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 ภาพรวมการดำเนินงานของระบบเท็ดดี้ (Igarashi et al., 1999)



ภาพที่ 2.7 ผลลัพธ์วัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบเท็ดดี้ หลังจากการแปะพื้นผิว (Igarashi et al., 1999)

นอกจากงานวิจัยของระบบเท็ดดี้แล้วยังมีงานวิจัยที่ชื่อว่า Plushie (Mori, & Igarashi, 2007) ซึ่งเป็นระบบสำหรับสร้างชิ้นส่วนประกอบของตุ๊กตาซึ่งผู้ใช้สามารถนำชิ้นส่วนนั้นมา ประกอบเป็นตุ๊กตาได้บนโลกแห่งความจริง โดยที่ระบบนี้จะต่างจากเท็ดดี้ตรงที่มีการจำลองการพอง ของตุ๊กตาด้วยเทคนิค Physical Simulation ทำให้ชิ้นส่วนที่สร้างมาสามารถนำมาประกอบเป็นตุ๊กตา ที่มีลักษณะอ้วนกลมได้

นอกจากงานวิจัยสำหรับสร้างตุ๊กตาแล้วยังมีงานวิจัยอื่นๆที่ใช้กระบวนการวาด รูปในการสร้างวัตถุทรงกลม เช่น การสร้างเมฆ (Wither et al., 2008) ซึ่งเมฆเป็นวัตถุ3มิติที่มี ลักษณะเป็นทรงกลมแบบหนึ่ง แต่จะต่างกับเท็ดดี้ตรงที่มีเส้นโครงร่างภายในที่วางอยู่ตรงกลางเส้น โครงร่างเพียงเส้นเดียวซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการพองของเมฆจากเส้นโครงร่างภายในได้อย่าง อิสระ

## 2.2.2.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบเท็ดดี้

1) ระบบมีการเตรียมกลุ่มเส้นโครงร่างภายในที่ทำให้การทำเอ็กซ์ทรูชัน

ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ผู้ใช้สามารถแก้ไขหรือเพิ่มชิ้นส่วนให้กับวัตถุ3มิติในมุมมอง3มิติได้

3) ระบบใช้งานง่ายเหมาะกับขอบเขตผู้ใช้ที่กว้างขวาง

4) ระบบมีส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้แบบโต้ตอบทันที

## 2.2.2.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบเท็ดดี้

1) ไม่สามารถทำวัตถุ3มิติที่มีด้านคมได้

#### 2.2.3 Sketch-based Modeling with Few Strokes

ระบบ Sketch-based Modeling with Few Strokes (Cherlin et al., 2005) เป็นระบบสำหรับสร้างวัตถุ3มิติที่นำเทคนิคการวาดรูปด้วยมือมาใช้ในการอ้างอิง เทคนิคการวาดรูปที่ นำมาใช้ได้แก่ Spiral Method, Scribble Method และ Bending Method ดังภาพที่ 2.8 Spiral Method เป็นเทคนิคร่างภาพที่ผู้วาดจะต้องวาดเส้นโครงร่างที่มีลักษณะ เส้นโครงร่างด้านในเป็นวงก้นหอยซึ่งเป็นแนวคิดที่เหมาะกับการนำมาใช้สร้างผลไม้ ผักหรือสัตว์ต่างๆ Scribble Method เป็นเทคนิคในการวาดเส้นที่ต่อเนื่องกันบนขอบของเส้นโครง ร่างซึ่งเป็นแนวคิดที่นำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุ3มิติที่มีรอยพับเช่น กระโปรง เป็นต้น Bending Method เป็นเทคนิคในการสร้างความแตกต่างให้กับรูปที่วาดโดยการ ทำให้รูปเดิมที่ถูกเรียงเป็นเส้นตรงถูกเรียงใหม่เป็นรูปที่มีความโค้งมนตามที่ผู้วาดกำหนดซึ่งเป็น แนวคิดที่นำไปประยุกต์ใช้กับใปไม้ที่มีความโค้งของใบแตกต่างกันได้



Bending (or distortion) method

ภาพที่ 2.8 เทคนิคการวาดรูปด้วยมือ (Cherlin et al., 2005)

ระบบนี้จะใช้เพียงเส้นโครงร่างภายนอก เพียงอย่างเดียวซึ่งจะต่างจากเท็ดดี้ ตรงที่ไม่มีการสร้างกลุ่มเส้นโครงร่างภายในก่อนการทำเอ็กซ์ทรูชันแต่จะใช้เทคนิค Rotational Blending Surface ดังภาพที่ 2.9 เพื่อสร้างส่วนของวงกลมบนเส้นโครงร่างซึ่งตรงตามแนวคิดของ Spiral Method



ภาพที่ 2.9 เทคนิค Rotational Blending (Cherlin et al., 2005)

นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถใช้เทคนิค Cross Sectional Blending Surface ดังภาพ ที่ 2.10 เพื่อที่จะเปลี่ยนส่วนของวงกลมเป็นรูปทรงตามที่ผู้ใช้วาดซึ่งตรงตามแนวคิดของ Scribble Method



ภาพที่ 2.10 เทคนิค Cross Sectional Blending Surface (Cherlin et al., 2005)

นอกจากวิธีการดังกล่าวผู้ใช้สามารถเพิ่มเส้นโพลีไลน์เพื่อที่จะนำไปใช้กับเทคนิค

Orthogonal Deformation Stroke โดยวัตถุ3มิติจะมีการโค้งตามเส้นโพลีไลน์ที่ผู้วาดได้วาดมา ดัง ภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 เทคนิค Orthogonal Deformation Stroke (Cherlin et al., 2005)

ตัวอย่างผลงานต่างๆที่ถูกสร้างจากระบบ Sketch-based Modeling with Few Strokes จะถูกแสดงดังภาพที่ 2.12 และภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างผลงานต่างๆบนระบบ 1 (Cherlin et al., 2005)





ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างผลงานต่างๆบนระบบ 2 (Cherlin et al., 2005)

### 2.2.3.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบ

- 1) ระบบมีขอบเขตการสร้างวัตถุ3มิติที่กว้างขวาง
- 2) ระบบมีส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้แบบโต้ตอบทันที
- 3) ระบบใช้งานง่ายและมีขั้นตอนการประสานงานอยู่ที่การวาดรูปเพียง

อย่างเดียว

### 2.2.3.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบ

- 1) ระบบไม่สามารถสร้างวัตถุ3มิติที่มีช่องว่างภายในวัตถุได้
- 2) ระบบไม่สามารถควบคุมขนาดของการทำเอ็กซ์ทรูชันระหว่างจุดต้น

ไปหาจุดปลายของเส้นโครงร่างได้

#### 2.2.4 3D Recononstruction from Drawings

ระบบ 3D Recononstruction from Drawings with Straight and Curved Edges (Fang, & Lee, 2013) เป็นระบบที่ใช้สร้างวัตถุ3มิติที่ทำมุมฉากระหว่างฐานกับเสา ซึ่งเหมาะ

กับการนำไปสร้างขึ้นส่วนต่างๆให้กับวัตถุ โดยระบบจะรับรูปวาดที่เป็นโครงร่างแบบ3มิติที่ประกอบไป ด้วยเส้นตรงและเส้นโค้ง จากนั้นระบบจะทำการสร้างวัตถุ3มิติโดยระบบนี้แบ่งขั้นตอนการสร้างวัตถุ3 มิติออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือการสร้างโครงร่างให้เป็นเส้นตรงจากภาพโครงร่างต้นฉบับ (Generation of the Straight Line Drawing from the Original Drawing)

ขั้นตอนที่ 2 คือการสร้างวัตถุ3มิติสำหรับส่วนที่เป็นเส้นตรง (Reconstruction of Transformed Line Drawings)

ขั้นตอนที่ 3 คือการสร้างวัตถุ3มิติสำหรับส่วนที่เป็นเส้นโค้ง (Reconstruction of Curved Edges in the Original Line Drawing)

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนในการแปลงรูปวาดที่เป็นโครงร่างแบบ3มิติที่ประกอบ ไปด้วยเส้นตรงและเส้นโค้ง ให้อยู่ในรูปแบบเส้นตรงเพียงอย่างเดียว ซึ่งถูกแสดงดังภาพที่ 2.14 โดยใน ขั้นตอนนี้ระบบจะเก็บโครงเส้นสำหรับควบคุมเส้นโค้งแบบ B-splines (กรอบสี่เหลี่ยมในรูป (b)) และ โครงของเส้นตรงที่อยู่ในวงกลมซึ่งหาได้จากจุดต้น จุดกึ่งกลางระหว่างจุดต้นกับจุดกลาง และจุดกลาง ของวงกลม (กรอบสี่เหลี่ยมในรูป (c)) จากนั้นระบบจะนำข้อมูลของเส้นสี่เหลี่ยมทั้ง 2 ไปสร้างเส้นโค้ง ในขั้นตอนที่ 3 ต่อไป



ภาพที่ 2.14 ขั้นตอนที่ 1 (Fang, & Lee, 2013)

หลังจากปรับรูปวาดให้เป็นเส้นตรงทั้งหมดแล้วระบบจะทำการสร้างวัตถุ3มิติ ขึ้นมาด้วยวิธีการ Reconstruction ซึ่งระบบจะแยกกระบวนการในการสร้างเส้นตรงและเส้นโค้งออก จากกัน

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนในการสร้างวัตถุ3มิติจากรูปที่ผู้ใช้วาด (ขั้นตอนนี้จะสร้าง แต่เส้นตรงเท่านั้น) โดยใช้ Hybrid Method ซึ่งเป็นการผสม Method ระหว่าง Cubic Corner Method กับ Optimization-Based Method การผสมกันของสองวิธีจะทำให้วัตถุ3มิติที่ได้ใกล้เคียง กับรูปที่วาด จากภาพที่ 2.15 (a) คือรูปที่ผู้ใช้วาด (b) คือระบบที่ใช้ Optimization-Based Method เพียงอย่างเดียวในการสร้างวัตถุ3มิติ และ (c) คือ ระบบที่ใช้ Hybrid Method ในการสร้างวัตถุ3มิติ



ภาพที่ 2.15 ขั้นตอนที่ 2 (Fang, & Lee, 2013)

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนในการสร้างวัตถุ3มิติจากรูปที่ผู้ใช้วาด (ขั้นตอนนี้จะ เปลี่ยนเส้นตรงของวัตถุ3มิติให้เป็นเส้นโค้งตรงบริเวณเส้นโค้งของรูปวาดที่ผู้ใช้เคยวาดมา) โดยระบบ จะ project จุดลงบนระนาบ2มิติเพื่อทำ 2D B-Spines ซึ่งจะใช้โครงเส้นสำหรับควบคุมเส้นโค้งแบบ B-splines และโครงของเส้นตรงที่อยู่ในวงกลม (โครงเส้นและโครงของเส้นตรงได้มาจากขั้นตอนที่ 1) ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.16 (a) จากนั้นระบบจะนำเส้นโค้งที่อยู่ในระนาบ2มิติกลับเข้าสู่3มิติ ดังภาพที่ 2.16 (b)



ภาพที่ 2.16 ขั้นตอนที่ 3 (Fang, F. & Lee, Y.T., 2013)

ตัวอย่างวัตถุ3มิติที่ถูกสร้างจากระบบ 3D Recononstruction from Drawings

with Straight and Curved Edges จะถูกแสดงดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างวัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบ (Fang, & Lee, 2013)

## 2.2.4.1 วิเคราะห์ข้อดีของระบบ

- 1) ระบบสามารถสร้างวัตถุ3มิติที่ตรงตามแบบของโครงร่างที่ผู้ใช้วาด
- 2) ระบบมีส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้แบบโต้ตอบทันที

## 2.2.4.2 วิเคราะห์ข้อเสียของระบบ

- 1) ผู้วาดต้องมีประสบการณ์ในการวาดโครงร่าง3มิติ
- 2) ระบบสร้างได้เพียงวัตถุ3มิติที่ต้องทำมุมตั้งฉากระหว่างฐานกับเสา

เท่านั้น
# 2.3 ผลงานการวิจัยในอดีตที่นำโครงร่างมาใช้ในการสร้างผลงานเฉพาะด้าน

นอกงานผลงานวิจัยทางด้านการสร้างวัตถุ3มิติแล้ว ก็ยังมีผลงานอื่นๆที่นำการวาดรูป หรือโครงร่างมาใช้ในการสร้างผลงานเฉพาะทาง ซึ่งระบบที่ทางผู้วิจัยได้ศึกษามามีดังต่อไปนี้

#### 2.3.1 PaleoSketch

ระบบปาลีโอสเก็ต (PaleoSketch: Accurate Primitive Sketch Recognition and Beautificatio) (Paulson, & Hammond, 2008) เป็นระบบที่เปลี่ยนกลุ่มเส้นที่ผู้ใช้วาดให้ กลายเป็นรูปเรขาคณิตปฐมฐานโดยในระบบจะมีตัวทดสอบที่ทำการตรวจสอบลักษณะของเส้น ถ้า เส้นที่วาดมาส่วนใหญ่มีลักษณะตรงกับที่กำหนดไว้ก็จะถือว่ารูปเรขาคณิตปฐมฐานตามชนิดของตัว ทดสอบนั้นซึ่งประเภทของรูปเรขาคณิตปฐมฐานที่ถูกสร้างจากระบบนี้มีหลากหลายประเภทเหมาะแก่ การนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆที่ต้องการความแม่นยำของเส้นโครงร่าง ซึ่งถูกแสดงดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การทำงานของระบบปาลีโอสเก็ต (Paulson, & Hammond, 2008)

นอกจากงานวิจัยของระบบปาลีโอสเก็ตแล้ว ยังมีระบบอื่นๆที่ใช้กระบวนการวาด รูปในการสร้างโครงร่าง ซึ่งโครงร่างเหล่านี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอื่นๆที่ถูกบันทึกไว้ใน ระบบเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์หาผลลัพธ์ต่างๆ เช่น ใช้สำหรับค้นหาเครื่องแต่งกาย (Kondo et al., 2014) ใช้สำหรับเปลี่ยนรูป (deformation) ของวัตถุ3มิติเพื่อนำไปใช้ในงานแอนิเมชัน (Hahn et al., 2015) ใช้สำหรับสร้างกราฟ (Arvo, & Novins, 2006) และใช้สำหรับสร้างสมการพร้อมกับคำนวณ คำตอบของสมการที่เขียน (Laviola, & Zeleznik, 2007; Li et al., 2008) เป็นต้น

#### 2.3.2 Mosaic

ระบบโมเซอิค (Mosaic: Sketch-Based Interface for Creating Digital Decorative Mosaics) (Abdrashitov et al., 2014) เป็นระบบที่ไว้ใช้สร้างภาพโมเซอิคซึ่งเป็นงาน ศิลปะที่นำแผ่นกระเบื้องเคลือบสีชิ้นเล็กๆมาประกอบกันจนกลายเป็นรูป โดยผู้ใช้จะสร้างเซต (set) ของแผ่นกระเบื้องโดยใช้กระบวนการวาดรูปจากนั้นผู้ใช้จะวาดเส้นโพลีไลน์เพื่อใช้เป็นเส้นชี้ทาง สำหรับวางแผ่นกระเบื้องตามแผ่นกระเบื้องที่ผู้ใช้เลือกมาจากเซต ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 ลำดับการทำงานของระบบโมเซอิค (Abdrashitov et al., 2014)

นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถควบคุมความหนาแน่นของระยะห่างในการวางแผ่น กระเบื้องได้ ดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 การวางแผ่นกระเบื้องที่มีค่าความหนาแน่นที่ต่างกัน (Abdrashitov et al., 2014)

ขั้นตอนวิธีสำหรับการวางแผ่นกระเบื้องโดยให้แผ่นกระเบื้องนั้นสามารถวางบน เส้นซี้ทางได้อย่างเหมาะสมจะใช้วิธีการลดขอบเขตของแผ่นกระเบื้องเข้าสู่จุดศูนย์กลาง จากนั้นจึง ค่อยๆขยายแผ่นกระเบื้องด้วยกระบวนการ Tile Growing Algorithm และจะหยุดขยายเมื่อแผ่น กระเบื้องทั้ง 2 ชนกัน ดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 ขั้นตอนการขยายแผ่นกระเบื้อง (Abdrashitov et al., 2014)

นอกจากงานวิจัยของระบบโมเซอิคก็ยังมีระบบอื่นๆที่ใช้กระบวนการวาดรูปใน การสร้างผลงานเฉพาะด้าน เช่น ผลงานแบบสมมาตร (Symmetric) (Oztireli et al., 2011) งาน สำหรับสร้างวัตถุโดยที่วัตถุนั้นจะถูกประกอบมาจากชิ้นส่วนประกอบของเลโก้ (Lego) โดยมีการ แนะนำชิ้นส่วนที่สามารถนำมาประกอบได้ในระบบ (Santos et al., 2008) เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังมีระบบที่นำเส้นโครงร่างจากกระบวนการวาดรูปหรือกระบวนการ สแกนมาใช้ในการสร้างสิ่งปลูกสร้างเช่น ใช้สำหรับจัดวางห้องภายในตัวอาคารแบบอัตโนมัติ (Camozzato et al., 2015) ใช้สำหรับตกแต่งภายนอกอาคารด้วยการใช้ไวยากรณ์ในการควบคุม (Wonka et al., 2003) ใช้สำหรับสร้างกลุ่มของตัวอาคารแบบอัตโนมัติจากข้อมูลแผนที่ (Sugihara, 2009) เป็นต้น

# 2.4 ข้อสรุปการพัฒนาระบบในลักษณะเดียวกัน

จากการศึกษาผลงานต่างๆที่กล่าวมา การจะสร้างอาวุธมีคมหรือวัตถุ3มิติที่มีขอบเขต รูปทรงที่กว้างขวางได้นั้นระบบควรจะมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

## 2.4.1 เส้นโครงร่างภายนอก

ระบบต้องสามารถกำหนดขอบเขตภายนอกให้กับวัตถุ3มิติได้ ดังนั้นการนำการ วาดรูปเส้นโค้ง และการใช้รูปเรขาคณิตปฐมฐานมาเป็นอินพุตจะสามารถกำหนดขอบเขตภายนอก ให้กับตัววัตถุได้

## 2.4.2 กลุ่มเส้นโครงร่างภายใน

ระบบต้องสามารถรองรับวัตถุ3มิติที่มีขอบเขตที่กว้างขวาง ดังนั้นการเพิ่มกลุ่ม เส้นโครงร่างภายในด้วยการวาดรูปและการใช้รูปเรขาคณิตปฐมฐานมาเป็นอินพุตก็จะสามารถขยาย ขอบเขตวัตถุ3มิติที่ระบบสร้างได้มากยิ่งขึ้น

## 2.4.3 การทำเอ็กซ์ทรูชัน

เส้นโครงร่างเป็นวัตถุ2มิติดังนั้นการจะทำให้เกิดมิติที่สามได้ต้องทำผ่านกระกวน การทำเอ็กซ์ทรูขัน ซึ่งกระบวนการทำเอ็กซ์ทรูขันเหมาะกับผู้ใช้งานเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยและ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ในระบบนี้ผู้ใช้สามารถปรับค่าต่างๆในการทำเอ็กซ์ทรูชัน ผ่านสไลเดอร์บาร์ (Slider Bar) ได้

### 2.4.4 การส่งออกข้อมูล

วัตถุ3มิติที่ถูกสร้างจากระบบจะต้องได้มาตรฐานสามารถนำไปใช้กับระบบอื่นๆ ได้ วัตถุ3มิติที่สร้างมาจากระบบนี้จะถูกเก็บไว้ในไฟล์สกุล .OBJ

# 2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

ระบบการสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคมที่มี ช่องว่างจะใช้เครื่องมือในการพัฒนาดังต่อไปนี้

## 2.5.1 วิชวลสตูดิโอ2013อัลติเมท (Visual Studio 2013 Ultimate)

เป็นโปรแกรมพัฒนาแอพพลิเคชั่นที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟต์ (Microsoft, 2016) รองรับได้หลายภาษาซึ่งทางผู้วิจัยได้ใช้ภาษา C++ ในการพัฒนาระบบ

### 2.5.2 โอเพนจีแอล (OpenGL)

เป็นอินเตอร์เฟซการเขียนโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface) สำหรับติดต่อกับการ์ดจอเพื่อใช้ในการสร้างกราฟฟิก3มิติ เอพีไอนี้ได้รับการพัฒนาโดย ซิลิคอน กราฟฟิก เพื่อเป็นมาตรฐานเปิดสำหรับ ไลบรารี่กราฟิกโอเพนจีแอลมีคุณลักษณะคือเป็น คำสั่งระดับต่ำมีความใกล้เคียงกับการทำงานของฮาร์ดแวร์จึงมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง

### 2.5.3 ฟรีกรัท (freeglut)

เป็นไลบรารี่เครื่องมืออเนกประสงค์สำหรับโอเพนจีแอลพัฒนาโดย พาเวล ดับ บิว. ออสต้า (Pawel W. Olszta) เพื่อให้สามารถสร้างและจัดการหน้าต่างที่บรรจุสิ่งแวดล้อมของ โอเพนจีแอล สามารถใช้ได้ในหลายแพลตฟอร์ม

#### 2.5.4 มายา 2014 (Maya 2014)

มายาปี 2014 เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างวัตถุ3มิติพัฒนาโดยบริษัทออโต้เดสก์ (Maya, 2016) โดยเครื่องมือนี้มีความสามารถหลายอย่าง เช่น ใช้สร้างวัตถุ3มิติด้วยกระบวนการปั้น วัตถุ3มิติ ใช้แปะพื้นผิวให้กับวัตถุ3มิติ ใช้สร้างแอนิเมชัน3มิติ เป็นต้น

# บทที่ 3 แนวทางดำเนินงาน

การสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธมีคมที่มี ช่องว่างเป็นระบบที่ใช้การวาดรูปผสมกับรูปเรขาคณิตปฐมฐานเพื่อที่จะสร้างโครงร่าง และนำโครงร่าง ที่ได้ไปทำเอ็กซ์ทรูชันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นวัตถุ3มิติ ซึ่งจะถูกอธิบายด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของโครงร่าง
- 3.2 ภาพรวมของระบบ
- 3.3 โครงสร้างข้อมูล
- 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน
- 3.5 การออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

# 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของโครงร่าง

โครงร่างคือกลุ่มเส้นโครงร่างที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแหซึ่งวางอยู่บนระนาบ 2 มิติใช้เพื่อ กำหนดขอบเขตโครงร่างให้กับตัวของวัตถุ 3 มิติ เพื่อให้เข้าใจภาพรวมของโครงร่างที่นำมาใช้ในระบบ ในส่วนนี้จะอธิบายลักษณะเส้นโครงร่าง วิธีการสร้างเส้นโครงร่างภายนอก วิธีการเพิ่มกลุ่มเส้นโครง ร่างภายใน และการแบ่งประเภทของโครงร่าง ตามลำดับ

### 3.1.1 ลักษณะเส้นโครงร่าง

เพื่อให้เข้าใจลักษณะโดยรวมของเส้นโครงร่าง โครงร่างจะถูกจำแนกออกเป็นเส้น โครงร่างภายนอก และกลุ่มเส้นโครงร่างภายใน ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลักษณะของเส้นโครงร่าง

เส้นโครงร่างภายนอกจะถูกจำแนกลักษณะของเส้นออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เส้น กำหนดขอบเขตโครงร่างซ้าย เส้นกำหนดขอบเขตโครงร่างขวา และ (กลุ่ม) เส้นเชื่อมขอบเขตโครงร่าง ดังภาพที่ 3.2



เส้นโครงร่างภายในจะถูกจำแนกลักษณะของเส้นออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เส้น โครงร่างภายใน และ (กลุ่ม) เส้นเชื่อมระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเส้นเชื่อมระหว่างเส้นโครงร่างจะถูก เชื่อมตามสัดส่วนของช่วงความยาวที่เท่ากันบนเส้นโครงร่าง ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ลักษณะของกลุ่มเส้นโครงร่างภายใน

## 3.1.2 วิธีการสร้างเส้นโครงร่างภายนอก

เพื่อให้ระบบสร้างเส้นโครงร่างภายนอกที่สามารถรองรับขอบเขตที่กว้างขวาง ของอาวุธมีคมได้ ระบบจะต้องมีกระบวนการสร้างเส้นโครงร่างภายนอกแยกออกเป็นหลายวิธี ซึ่งเส้น โครงร่าง 1 เส้นจะประกอบไปด้วยส่วนของเส้นโครงร่าง ซึ่งในแต่ละส่วนก็สามารถใช้วิธีการสร้างที่ แตกต่างกันได้ โดยวิธีการสร้างในแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

## 3.1.2.1 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยการวาดรูป

การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยการวาดรูปเหมาะสำหรับนำมาใช้สร้าง ส่วนประกอบของวัตถุที่มีลักษณะเส้นโครงร่างที่หลากหลาย ตัวอย่างที่นำมาใช้ได้แก่ ส่วนโค้งใบมีด ของกริช ส่วนโค้งใบมีดของดาบฟลัมเบิร์จ ส่วนโค้งใบมีดของดาบตะขอ ปลายมีดแบบคลิปพอยท์ (Clip Point) ส่วนใบเลื่อยของดาบ ส่วนโค้งของโล่ เป็นต้น

อุปกรณ์จะใช้เมาส์ในการวาดรูป และถ้าต้องการความแม่นยำที่สูงขึ้นจะใช้เมาส์ ปากกาในการวาดรูปแทน การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยการวาดรูปมีจุดเด่นตรงที่สามารถสร้างเส้น โครงร่างได้อย่างรวดเร็วและหลากหลาย ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยการวาดรูป

## 3.1.2.2 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยสมการเส้นโค้ง

การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยการวาดรูปอาจจะทำให้เส้นขรุขระได้ ดังนั้นการที่จะทำให้เส้นโครงร่างภายนอกมีความสมจริงในส่วนที่ต้องการความแม่นยำสูงจะใช้สมการ เส้นโค้งในการวาด โดยสมการเส้นโค้งนี้จะนำมาใช้สร้างส่วนประกอบของวัตถุที่มีลักษณะเส้นโครงร่าง แบบคงที่



ภาพที่ 3.5 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยสมการเส้นโค้ง

# 3.1.2.3 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน

ใช้สำหรับสร้างวัตถุที่มีเส้นโครงร่างแบบสมมาตร และอาจนำมาใช้ใน การสร้างช่องว่างหลัก ดังภาพที่ 3.6 ยกตัวอย่างเช่น ดาวกระจาย กงจักร เป็นต้น นอกจากนี้ผู้ใช้ สามารถเพิ่มช่องว่างให้กับพื้นผิวบนโครงร่างด้วยการใช้เส้นโครงร่างภายในซึ่งจะถูกอธิบายต่อไปใน หัวข้อ 3.1.3



ภาพที่ 3.6 การสร้างเส้นโครงร่างภายนอกด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน

## 3.1.3 วิธีการเพิ่มกลุ่มเส้นโครงร่างภายใน

การเพิ่มกลุ่มเส้นโครงร่างภายในใช้สำหรับเพิ่มรายละเอียดให้กับเส้นโครงร่างทำ ให้ขอบเขตของวัตถุที่สร้างได้กว้างมากยิ่งขึ้น โดยปกติจะใช้สำหรับเน้นจุดเด่นของวัตถุ ใช้ในการ ควบคุมเส้นเชื่อมขอบเขตโครงร่าง และใช้ในการควบคุมเส้นเชื่อมระหว่างเส้นโครงร่าง (เพื่อควบคุม ไม่ให้เส้นเชื่อมระหว่างเส้นโครงร่างทับซ้อนเส้นโครงร่างมากกว่า 2 ครั้งขึ้นไปซึ่งเป็นผลให้วัตถุมี รูปทรงผิดเพี้ยนไปจากที่ต้องการ) จากที่กล่าวมาประโยชน์ของเส้นโครงร่างภายในจะถูกแสดงดังภาพ ที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การสร้างเส้นโครงร่างภายใน

## 3.1.3.1 การเพิ่มเส้นโครงร่างภายในด้วยการวาดรูป

เส้นโครงร่างภายในที่ใช้การวาดรูปจะเน้นที่ความหลากหลายและ ความเร็ว แต่เส้นอาจจะมีความขรุขระบ้าง

# 3.1.3.2 การเพิ่มเส้นโครงร่างภายในด้วยสมการเส้นโค้ง

เส้นโครงร่างภายในที่ใช้สมการเส้นโค้งจะมีความแม่นยำและคงที่ มากกว่าการวาดด้วยมือ นอกจากนี้สมการเส้นโค้งก็สามารถนำมาใช้สร้างช่องว่างให้กับวัตถุได้ซึ่งเส้น โค้งที่ใช้สร้างช่องว่างที่ถูกสร้างจากสมการจะต้องเป็นแบบปลายปิดหรือมีจุดรวมที่ปลายเปิดและ ปลายปิด ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การสร้างช่องว่างด้วยสมการเส้นโค้งแบบปลายปิดบนเส้นโครงร่างภายใน

## 3.1.3.3 การเพิ่มเส้นโครงร่างภายในด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐาน

ใช้สำหรับสร้างช่องว่างให้กับวัตถุ โดยช่องว่างจะมีลักษณะเช่นเดียวกับ รูปเรขาคณิตปฐมฐานที่วางอยู่บนเส้นโครงร่างภายใน โดยผู้ใช้จะต้องสร้างเส้นโครงร่างภายนอกก่อน ต่อมาให้ผู้ใช้สร้างส่วนของเส้นโครงร่างภายใน จากนั้นให้ผู้ใช้วางรูปเรขาคณิตปฐมฐานต่อจากส่วนของ เส้นโครงร่างภายในที่สร้างเสร็จเพื่อนำรูปเรขาคณิตปฐมฐานไปสร้างช่องว่างให้กับพื้นผิวของวัตถุ ดัง ภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การสร้างช่องว่างด้วยรูปเรขาคณิตปฐมฐานบนเส้นโครงร่างภายใน

### 3.1.4 การแบ่งประเภทของโครงร่าง

การแบ่งประเภทของโครงร่างใช้เพื่อควบคุมการวางของเส้นโครงร่าง (ภายนอก และภายใน) เพื่อจำแนกลักษณะโดยรวมของวัตถุ ซึ่งการแบ่งประเภทของโครงร่างจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

### 3.1.4.1 โครงร่างแบบรวม

โครงร่างแบบรวมใช้สำหรับทำวัตถุที่มีปลายแหลม โดยที่จุดปลาย (และ อาจรวมถึงจุดต้น) ของเส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะอยู่ที่พิกัดเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ดาบ มีด หอก ดาวกระจาย เป็นต้น โดยจะใช้วิธีนี้ได้ก็ต่อเมื่อผู้ใช้สร้างเส้นโครงร่างภายนอกที่มีขอบเขตครบรูปขึ้นมา 1 เส้น จากนั้นให้ผู้ใช้ทำการเลือกจุดรวมพิกัดปลายซึ่งเป็นจุดที่ใช้แบ่งเส้นโครงร่างภายนอกออกเป็น เส้นโครงร่างภายนอกซ้าย และเส้นโครงร่างภายนอกขวา โดยที่เส้นโครงร่างของฝั่งซ้ายและขวาจะมี จุดปลายที่มีพิกัดเดียวกัน ในกรณีที่ผู้ใช้อยากได้จุดต้นที่มีพิกัดเดียวกัน ผู้ใช้สามารถกดปุ่มสำหรับรวม พิกัดต้นได้

หลังจากเลือกจุดรวมพิกัดเสร็จแล้ว เมื่อผู้ใช้สร้างเส้นโครงร่างภายใน

จุดปลาย (และอาจรวมถึงจุดต้น) ของเส้นโครงร่างภายในก็จะถูกเชื่อมโยงกับจุดรวมพิกัดบนเส้นโครง ร่างภายนอกแบบอัตโนมัติ ดังภาพที่ 3.10



# ภาพที่ 3.10 โครงร่างแบบรวม

#### 3.1.4.2 โครงร่างแบบแยก

โครงร่างแบบแยกใช้สร้างวัตถุที่มีปลายทู่ หรือใช้สำหรับควบคุมเส้น เชื่อมขอบเขตโครงร่าง โดยที่จุดปลายของเส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะถูกแยกออกจากกัน ยกตัวอย่าง เช่น ดาบปลายตัด โล่ โพชัน คทา เป็นต้น โดยผู้ใช้จะใช้วิธีนี้ได้ก็ต่อเมื่อมีเส้นโครงร่างตั้งแต่ 2 เส้นขึ้น ไป นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเพิ่มเส้นโครงร่างภายในให้วัตถุที่มีปลายทู่กลายเป็นวัตถุที่มีปลายแหลมได้ ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 โครงร่างแบบแยก

กรณีที่ผู้ใช้ต้องการสร้างวัตถุที่มีช่องว่างหลักที่เคยปรากฏดังภาพที่ 3.6

ผู้ใช้สามารถใช้โครงร่างแบบแยกที่จุดต้นและจุดปลายได้ ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 โครงร่างแบบแยกที่จุดต้นและจุดปลายสำหรับใช้สร้างช่องว่างหลัก

#### 3.2 ภาพรวมของระบบ

เพื่อให้ระบบสร้างวัตถุ3มิติที่สามารถรองรับขอบเขตที่กว้างขวางของอาวุธมีคมได้ ทาง ผู้วิจัยจึงจำแนกขั้นตอนกระบวนการสร้างวัตถุ3มิติออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่

1) ขั้นตอนการสร้างโครงร่าง
 2) ขั้นตอนการทำเอ็กซ์ทรูชัน

เพื่อให้วัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบนี้สามารถนำไปใช้กับระบบอื่นๆได้ วัตถุ3มิติที่สร้างจาก ระบบนี้จะต้องเข้าสู่กระบวนการส่งออกวัตถุ3มิติ จากที่กล่าวมาการแบ่งส่วนการทำงานของระบบจะ ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3.13





ภาพที่ 3.13 ภาพรวมของระบบ

การทำงานของระบบโดยรวมจะแสดงตัวอย่างในการสร้างใบมีดของดาบที่มีช่องว่าง ขึ้นมา ซึ่งจะมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

# 3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การสร้างโครงร่าง

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการสร้างเส้นโครงร่างภายนอก ซึ่งผู้ใช้สามารถสร้างเส้น โครงร่างภายนอกได้ด้วยวิธีการวาดรูป สมการเส้นโค้ง และรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยที่ผู้ใช้สามารถ เลือกวิธีการสร้างผ่านทางไอคอนในระบบได้ ดังภาพที่ 3.14 หลังจากสร้างเส้นโครงร่างภายนอกเสร็จ เรียบร้อยแล้วผู้ใช้ต้องเลือกประเภทของโครงร่าง (ในตัวอย่างเป็นโครงร่างแบบรวมที่จุดปลาย เนื่องจากผู้ใช้สร้างเส้นโครงร่างภายนอกขึ้นมา 1 เส้น และได้ทำการกำหนดจุดรวมพิกัดปลายเพื่อแบ่ง เส้นโครงร่างภายนอกออกเป็น 2 เส้น) จากนั้นผู้ใช้สามารถเพิ่มกลุ่มเส้นโครงร่างภายในเพื่อเพิ่ม รายละเอียดให้กับโครงร่างวัตถุได้ ดังภาพที่ 3.15 โดยเส้นโครงร่างภายนอกใช้เพื่อกำหนดขอบเขต โครงร่างให้กับวัตถุ2มิติ มีทั้งหมด 2 เส้น ได้แก่ เส้นโครงร่างภายนอกซ้าย และเส้นโครงร่างภายนอก ขวา ส่วนเส้นโครงร่างภายในใช้เพื่อเน้นจุดเด่นของคมมีด ใช้เพื่อควบคุมขอบเขตโครงร่าง และใช้เพื่อ สร้างช่องว่างให้กับวัตถุ เป็นต้น โดยเส้นโครงร่างภายในนี้จะสร้างขึ้นมากี่เส้นก็ได้



ภาพที่ 3.14 เส้นโครงร่างภายนอกซ้าย และขวา



ภาพที่ 3.15 เส้นโครงร่างภายนอก และเส้นโครงร่างภายใน

หลังจากกำหนดเส้นโครงร่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการแบ่งจำนวนจุด และระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมจำนวนจุด ผ่านสไลเดอร์บาร์ได้ดังภาพที่ 3.16 โดยวิธีการแบ่งจำนวนจุดในแต่ละเส้นโครงร่างให้เท่ากันจะอธิบาย ต่อไปในหัวข้อที่ 3.4.1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะได้เส้นโครงร่างใหม่ที่มีจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้ เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น



ภาพที่ 3.16 การแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น

หลังจากการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ ละเส้น ข้อมูลตำแหน่งของจุดคู่ลำดับ (x, y) ในภาพที่ 3.16 จะถูกเก็บในรูปแบบ vector of Model3D\_Data ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.3 จากนั้นระบบสามารถลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อย ออกจากเส้นโครงร่างได้ และยังคงสภาพที่มีช่องว่างไว้เช่นเดิม โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมระดับของ การลดจุดได้ผ่านทางสไลเดอร์บาร์ ดังภาพที่ 3.17 โดยวิธีการลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจาก เส้นโครงร่างจะอธิบายต่อไปในหัวข้อที่ 3.4.2



Reduce Segments with Threshold	
	í í
Reduce Hole Segments with Three	shold
	01

ภาพที่ 3.17 การลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง

# 3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การทำเอ็กซ์ทรูชัน

การทำเอ็กซ์ทรูชันเป็นขั้นตอนในการเปลี่ยนโครงร่าง2มิติให้เป็นวัตถุ3มิติ โดย ผู้ใช้สามารถควบคุมความกว้างของวัตถุที่อยู่ระหว่างจุดต้นและจุดปลายของเส้นโครงร่างแต่ละเส้น ด้วยกลุ่มของสไลเดอร์บาร์ได้ ดังภาพที่ 3.18 โดยหน้าตากลุ่มของสไลเดอร์บาร์จะแตกต่างกันออกไป ตามประเภทของโครงร่าง ซึ่งจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.4.3



Assembly Vertice of D	estination +000
Outer Silhouette I	ine L
SI	+ 000
FI	01
Outer Silhouette I	ine R
S	+ 030
F	+ 05
Inner Silhouette I	ine 01
S	+ 030
Inner Silhouette I	ine 02

ภาพที่ 3.18 บัสเตอร์ซอร์ดหลังจากการทำเอ็กซ์ทรูชันในมุมมองแบบ Perspective

เมื่อผู้ใช้ต้องการที่จะนำวัตถุ3มิติที่สร้างเรียบร้อยแล้วไปใช้ในระบบอื่น ผู้ใช้ จะต้องทำการแปลงข้อมูลของวัตถุ3มิติที่อยู่ในระบบนี้ให้มาอยู่ในรูปไฟล์สกุล .OBJ ซึ่งจะกล่าวต่อไป ในหัวข้อ 3.4.4

# 3.3 โครงสร้างข้อมูล

โครงสร้างข้อมูลของระบบมีดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 vector of Model3D\_Data

vertor of Model3D\_Data ใช้สำหรับเก็บข้อมูลทั้งหมดของวัตถุ3มิติ โดยจะ เก็บข้อมูลดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.19

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D\_Data

ตัวแปร	วัตถุประสงค์ในการนำไปใช้
vector <model3d_line_data*> line</model3d_line_data*>	ใช้เก็บข้อมูลของเส้นโครงร่างแต่ละเส้น
int pointPerLine	จำนวนจุดที่มีบนเส้นโครงร่างแต่ละเส้น
int silhouetteType	ใช้สำหรับกำหนดว่าเป็นโครงร่างแบบแยก โครงร่าง
S.S.AT	แบบรวมที่จุดปลาย หรือโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและ
	จุดปลาย ซึ่งถูกกำหนดด้วยค่า 0, 1และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.19 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D\_Data

#### 3.3.2 vector of Model3D\_Line\_Data

vector of Model3D\_Line\_Data ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของเส้นโครงร่างในแต่ ละเส้น โดยจะเก็บข้อมูลดังตารางที่ 3.2 และภาพที่ 3.20

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D\_Line\_Data

ตัวแปร	วัตถุประสงค์ในการนำไปใช้	
vector <model3d_vertex_data*> vertex</model3d_vertex_data*>	ใช้เก็บข้อมูลของจุดแต่ละจุดที่อยู่บนเส้นโครงร่าง	
bool state	ใช้ตรวจสอบสถานะของการสร้างช่องว่างเพื่อ	
	กำหนดให้ทุกๆช่องว่างต้องมีปลายปิด จะเป็น	
	true ขณะที่ระบบกำลังสร้างช่องว่างให้กับเส้น	
	โครงร่าง	
double lineMag	ใช้เก็บค่าระยะห่าง (magnitude) ของแต่ละเส้น	
	โครงร่างโดยเริ่มเก็บตั้งแต่จุดต้นไปจนถึงจุดปลาย	



ภาพที่ 3.20 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D\_Line\_Data

#### 3.3.3 vector of Model3D\_Vertex\_Data

vector of Model3D\_Vertex\_Data ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของจุดแต่ละจุดที่อยู่ บนเส้นโครงร่าง โดยจะเก็บข้อมูลดังตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.21

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D\_Vertex\_Data

ตัวแปร	วัตถุประสงค์ในการนำไปใช้	
double x, y	พิกัดจุด	
double x2, y2	พิกัดจุดในส่วนของช่องว่างฝั่งขวา ถ้าจุดนี้ไม่ใช่ส่วนที่เป็นช่องว่างให้	
	กำหนดค่าเป็น null	
double u, v	พิกัดพื้นผิว	
double u2, v2	พิกัดพื้นผิวในส่วนของช่องว่างฝั่งขวา ถ้าจุดนี้ไม่ใช่ส่วนที่เป็นช่องว่าง	
	ให้กำหนดค่าเป็น null	

double mag,mag2	ค่าระยะห่างระหว่างจุดปัจจุบันกับจุดถัดไป โดยค่า mag2 ใช้เก็บค่า
	ระยะห่างของช่องว่างฝั่งขวา ถ้าจุดนี้ไม่ใช่ส่วนที่เป็นช่องว่างให้
	กำหนดค่าเป็น null
double angle, angle2	ค่ามุมของจุด โดยค่า angle2 ใช้เก็บค่ามุมของช่องว่างฝั่งขวา ถ้าจุดนี้
	ไม่ใช่ส่วนที่เป็นช่องว่างให้กำหนดค่าเป็น null
bool opened	เป็น true เมื่อจุดนี้เป็นจุดรวมปลายเปิดของช่องว่างบนเส้นโครงร่าง
	ใหม่ เช่น vertex3
bool closed	เป็น true เมื่อจุดนี้เป็นจุดรวมปลายปิดของช่องว่างบนเส้นโครงร่าง
	ใหม่ เช่น vertex7
double z, z2	ค่าความลึกของจุด



ภาพที่ 3.21 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บใน vector of Model3D\_Vertex\_Data

นอกจากนี้ใน vector of Model3D\_Vertex\_Data ยังเก็บค่าของตัวแปร int indexOpenedOld และ indexClosedOld ซึ่งเป็นตำแหน่งของจุดรวมปลายเปิดและปลายปิดของ ช่องว่างบนเส้นโครงร่างเก่า และ int countLeftSize ซึ่งเป็นจำนวนจุดที่ใช้บนช่องว่างฝั่งซ้ายของเส้น โครงร่างใหม่ โดยค่าข้อมูลเหล่านี้จะนำมาใช้ในการสร้างช่องว่างฝั่งขวาให้กับเส้นโครงร่างใหม่ ซึ่งจะ กล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.4.1

# 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบมีดังต่อไปนี้

## 3.4.1 การแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่าง

ขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการนำเส้นโครงร่างเก่า ดังภาพที่ 3.22 (ก) มาเปลี่ยนให้เป็น เส้นโครงร่างใหม่ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเท่ากัน ดังภาพที่ 3.22 (ค) โดยที่เส้นโครงร่างใหม่ทุกๆเส้นจะ มีจำนวนจุดที่เท่ากัน การทำให้มีจำนวนจุดเท่ากันจะเป็นการลดโอกาสที่จะเกิดการทับกันของเส้น เชื่อมระหว่างโครงร่างกับเส้นโครงร่าง และวัตถุ3มิติที่ได้จากระบบนี้ก็ง่ายต่อการต่อเติมและแก้ไข เนื่องจากเป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 3.22 ขั้นตอนการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน

โดยระบบจะหาพิกัดจุดบนแกน x และ y ของเส้นโครงร่างใหม่ได้จากสมการดังนี้

x = b x ((x2-x1) ÷ a)	(1)
$y = b \times ((y2-y1) \div a)$	(2)
b = (SSN - (SSO-a))	(3)

โดยที่

a คือระยะห่างของช่วงจุดเก่า

b คือระยะห่างที่จะวางตำแหน่งจุดบนเส้นใหม่

SN คือระยะห่างในแต่ละช่วงจุดเก่าที่มีการแบ่งระยะห่างเท่ากันในทุกๆช่วง ซึ่งมี สมการในการคำนวณดังนี้ SN = lineMag ÷ (pointPerLine - 1)

SSN คือผลรวมระยะห่างสะสมของ SN

```
SO คือระยะห่างในแต่ละช่วงจุดเก่าที่มีการแบ่งระยะห่างที่ไม่เท่ากันเนื่องจาก
ความเร็วในการวาดเส้นของผู้ใช้ในแต่ละช่วงมีความเร็วที่แตกต่างกัน
```

SSO คือผลรวมระยะทางสะสมของ SO

\*ในกรณีที่ค่า SSN มากกว่า SSO ระบบจะทำการเพิ่มค่า SSO ให้มีค่ามากกว่า

อยู่เสมอ

เนื่องจากระยะห่างโดยรวม (บนเส้นโครงร่างเดียวกัน)ที่นับเฉพาะส่วนที่เป็น ช่องว่างฝั่งซ้ายเทียบกับส่วนที่เป็นช่องว่างฝั่งขวาอาจมีระยะห่างที่ไม่เท่ากันเนื่องจากช่องว่างที่ไม่ สมมาตร ดังภาพที่ 3.23 ในกรณีนี้ระบบจะคำนวณหาจุดที่อยู่บนช่องว่างฝั่งขวาใหม่อีกครั้งโดยจำนวน จุดที่อยู่บนฝั่งซ้ายและฝั่งขวาบนเส้นโครงร่างใหม่ต้องเท่ากัน ระบบจะมีตัวแปรที่เก็บจำนวนจุดที่ใช้ใน ช่องว่างฝั่งซ้าย (countLeftSize) และตำแหน่งจุดที่เป็นปลายเปิด (indexOpenedOld) และปลาย ปิด (IndexClosedOld) จากเส้นโครงร่างเก่า เพื่อนำจุดทั้ง2มาใช้คำนวณหาตำแหน่งจุดฝั่งขวาใหม่ อีกครั้ง ดังภาพที่ 3.24 โดยภาพที่ 3.24 (ก) ใช้จุดปลายเปิดและปลายปิดใหม่ที่มีระยะห่างของจุดที่ เท่ากัน ส่วนภาพที่ 3.24 (ข) ใช้จุดปลายเปิด และปลายปิดเก่า



ภาพที่ 3.23 ช่องว่างที่ไม่สมมาตรจะมีระยะห่างไม่เท่ากัน



ภาพที่ 3.24 ช่องว่างที่ไม่สมมาตรหลังการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน

หลังจากแบ่งข้อมูลเสร็จแล้วข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บไว้ที่ vector of

Model3D\_Data โดยจะเก็บค่า pointPerLine, SilhouetteType และ line[] โดยในแต่ละ line จะ เก็บค่า lineMag และ vertex[] โดยในแต่ละ vertex จะเก็บค่า x, y, x2, y2 เท่านั้น ส่วนค่าอื่นๆใน vertex จะใช้ x, y, x2, y2 ในการคำนวณหาค่าเอา

หลังจากการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันบนเส้นโครงร่างแต่ ละเส้นเสร็จสิ้น ระบบจะทำการลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง ด้วยวิธีการใน หัวข้อ 3.4.2

## 3.4.2 การลดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง

ในขั้นตอนนี้ระบบจะนำข้อมูลของจุด x, y (และรวมถึง x2, y2 กรณีที่เป็น ช่องว่าง) ที่อยู่ติดกัน 3 จุดบนเส้นโครงร่างเดียวกัน ดังภาพที่ 3.25 (ก) มาคำนวณหามุมให้กับจุดที่อยู่ ตรงกลาง ดังภาพที่ 3.25 (ข) โดยจะทำการบันทึกข้อมูลลงในตัวแปร mag, mag2 และ angle, angle2 ที่อยู่ใน vector of Model3D\_Vertex\_Data



ภาพที่ 3.25 การคำนวณหามุมให้กับจุด

หลังจากคำนวณหามุมให้กับจุดทุกจุด (ยกเว้นจุดต้นกับจุดปลาย) บนเส้นโครง ร่างใหม่ทุกเส้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการตัดช่วงจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง โดยการตัดเส้นเชื่อมระหว่างโครงร่างที่ตรงกับช่วงจุดนั้นออกทั้งหมด การตัดจะทำได้ก็ต่อเมื่อจุดทุก จุดที่เชื่อมต่อกันระหว่างเส้นโครงร่างจะต้องทำมุมน้อยกว่าค่ามุมที่ผู้ใช้กำหนด ดังภาพที่ 3.26 ด้วย สมการดังนี้ โดย C<D

C = abs(180 - angle)	(4)
D = (threshold x threshold2)	(5)

โดยที่ threshold คือมุมที่ผู้ใช้กำหนด threshold2 คือค่าความสำคัญของช่องว่างมีค่าตั้งแต่ 0-1



ช่วงจุดที่เชื่อมระหว่างเส้นเชื่อมโครงร่าง

ขนาดของมุมในแต่ละช่วง

ช่วงจุด Aจะถูกลบออกจากเส้นโครงร่าง เนื่องจากทำมุมใกล้เคียงกับ 180 องศา

ภาพที่ 3.26 การช่วงลดจุดที่มีความสำคัญน้อยออกจากเส้นโครงร่าง

# 3.4.3 การทำเอ็กซ์ทรูชัน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการแปลงวัตถุ2มิติให้เป็นวัตถุ3มิติ โดยเส้นโครงร่างแต่ละ เส้นจะมีการกำหนดค่าความกว้างในเชิงลึกของจุดต้นและจุดปลาย และค่าแกมมาที่ใช้ในการควบคุม ความลึกของจุดทุกจุดที่อยู่ระหว่างจุดต้นกับจุดปลาย โดยขั้นตอนนี้ได้นำพาวเวอร์ลอว์ทรานส์ฟอร์เม ชัน (Power-Law Transformation) มาประยุกต์ใช้

ในกรณีที่จุดต้นมีการกำหนดค่าความกว้างในเชิงลึกน้อยกว่าจุดปลาย ระบบจะ คำนวณความกว้างของจุดที่อยู่ระหว่างจุดต้นกับจุดปลายด้วยสมการดังนี้

width = wos + $A^{\frac{1}{\gamma}}$	(6)
A = (B÷MOL) × AM	(7)
$B = abs(wos - wod)^{\gamma}$	(8)

โดยที่

wos คือความกว้างของจุดต้น

wod คือความกว้างของจุดปลาย

MOL คือระยะทั้งหมดของเส้นโครงร่าง

AM คือผลรวมระยะห่างสะสมของเส้นโครงร่าง ผลรวมสะสมที่ตำแหน่งจุด ท้ายสุดจะมีค่าเท่ากับMOL

γ คือค่าแกมมา

ในกรณีที่จุดต้นมีการกำหนดค่าความกว้างในเชิงลึกมากกว่าจุดปลายดังภาพที่ 3.27 จะมีการเปลี่ยนแปลงในสมการที่ 6 ดังนี้

width = wos -  $A^{\frac{1}{\gamma}}$ -----(9)

ถ้ากำหนดให้ค่าแกมมามีค่าเป็น 1 จุดที่อยู่ระหว่างจุดต้นและจุดปลายจะมีความ กว้างเป็นสมการเส้นตรง ดังภาพที่ 3.27 (ก) ถ้ากำหนดให้แกมมามีค่ามากกว่า 1 ระยะห่างช่วงต้นจะ ลดลงอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 3.27 (ข) และถ้ากำหนดให้ค่าแกมมามีค่าน้อยกว่า 1 ระยะห่างช่วงต้นจะ ลดลงอย่างช้าดังภาพที่ 3.27 (ค)



ภาพที่ 3.27 การกำหนดค่าแกมมาที่แตกต่างกัน

การทำเอ็กซ์ทรูชันจะกำหนดหน้าต่างที่แตกต่างกันตามการแบ่งประเภทโครงร่าง ถ้าเป็นโครงร่างแบบแยกจะมีจำนวนสไลเดอร์บาร์สำหรับควบคุมเท่ากับ ((2+x)\*3) ดังภาพที่ 3.28 โดยที่ x คือจำนวนเส้นโครงร่างภายใน 2 คือจำนวนเส้นโครงร่างภายนอก และ \*3 คือจำนวนรูปแบบ ของสไลเดอร์บาร์ที่ใช้ควบคุมในแต่ละเส้นได้แก่ ความกว้างที่จุดต้น ความกว้างที่จุดปลาย และค่า แกมมา (ใช้ควบคุมความกว้างของช่วงจุดที่อยู่ระหว่างจุดต้นกับจุดปลาย)



ภาพที่ 3.28 หน้าต่างเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบแยก

ถ้าเป็นโครงร่างแบบรวมที่จุดปลายจะมีจำนวนสไลเดอร์บาร์สำหรับควบคุม เท่ากับ 1+((2+x)\*2) ดังภาพที่ 3.29 โดยที่ x คือจำนวนเส้นโครงร่างภายใน 2 คือจำนวนเส้นโครงร่าง ภายนอก 1 คือจุดรวมของเส้นทุกๆเส้น (จะมีสไลเดอร์บาร์สำหรับควบคุมเพื่อใช้สำหรับปรับความ กว้างที่จุดปลาย) และ\*2 คือจำนวนรูปแบบของสไลเดอร์บาร์ที่ใช้ควบคุมในแต่ละเส้นได้แก่ ความ กว้างที่จุดต้นและแกมมา



ภาพที่ 3.29 หน้าต่างเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดปลาย

ถ้าเป็นโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลายจะมีจำนวนสไลเดอร์บาร์สำหรับ ควบคุมเท่ากับ 2+(2+x) ดังภาพที่ 3.30 โดยที่ 2 คือจุดรวมของเส้นทุกๆเส้น (จะมีสไลเดอร์บาร์ สำหรับควบคุมเพื่อใช้สำหรับปรับความกว้างที่จุดต้นและจุดปลาย) และ(2+x) คือจำนวนสไลเดอร์บาร์ สำหรับปรับค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายนอกและเส้นโครงร่างภายในตามลำดับ



ภาพที่ 3.30 หน้าต่างเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย

หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการทำเอ็กซ์ทรูชันถือว่าเป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนการสร้าง วัตถุ3มิติ ระบบจะนำวัตถุที่ได้เข้าสู่กระบวนการส่งออกวัตถุ3มิติซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายของระบบ

#### 3.4.4 การส่งออกวัตถุ3มิติ

ก่อนที่จะทำการส่งออกวัตถุ3มิติ ระบบจะต้องทำการหาค่า u, u2, v, v2 ที่อยู่ใน vector of Model3D\_Vertex\_Data ขึ้นมาก่อน โดยมีวิธีการหาค่าดังสมการต่อไปนี้

u = (x-minX) ÷ (maxX-minX)	(10)
v = (y-minY) ÷ (maxY-minY)	(11)
u2 = (x2-minX) ÷ (maxX-minX)	(12)
v2 = (y2-minY) ÷ (maxY-minY)	(13)

โดยที่ maxX คือค่าพิกัดที่มีค่า x มากที่สุด minX คือค่าพิกัดที่มีค่า x น้อยที่สุด maxY คือค่าพิกัดที่มีค่า y มากที่สุด minY คือค่าพิกัดที่ค่า y น้อยที่สุด

เนื่องจากระบบการสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการวาดเพื่อ สร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่างมีวิธีการเก็บข้อมูลอยู่ในรูปแบบ vector of Model3D\_Data ซึ่งรูปแบบ วิธีการเก็บข้อมูลนี้ไม่สามารถนำไปใช้กับระบบอื่นๆได้ ดังนั้นระบบนี้จะต้องทำการแปลงรูปแบบการ เก็บข้อมูลที่มีอยู่เดิมให้อยู่ในรูปแบบ OBJ ซึ่ง OBJ เป็นรูปแบบไฟล์ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน โดยการเก็บข้อมูลจะเริ่มเก็บจากพิกัดของจุด (vertices) ที่มีทั้งหมดในวัตถุ3มิติ และต่อด้วยค่าพิกัด ของพื้นผิว จากนั้นลำดับของจุดทั้งหมดที่ถูกเก็บมาจะถูกนำมาสร้างเป็นเฟสของวัตถุ (faces) ต่อไป

การเรียงลำดับของจุดจะเริ่มเก็บจากด้านหน้าของเส้นโครงร่างภายนอกฝั่งซ้าย โดยเริ่มจากจุดต้นไปหาจุดปลาย จากนั้นระบบจะทำการเก็บจุดที่เส้นโครงร่างภายในจากจุดต้นไปหา จุดปลาย และจะเก็บไปเรื่อยๆจนถึงเส้นโครงร่างฝั่งขวาที่จุดปลาย จากนั้นระบบจะทำการเก็บจุดที่ เป็นส่วนของช่องว่างฝั่งขวา เมื่อเก็บส่วนของด้านหน้าเสร็จแล้วระบบจะเริ่มเก็บจากจุดในส่วนของ ด้านหลังต่อไป ซึ่งที่กล่าวมาจะแสดงดังภาพที่ 3.31





ภาพที่ 3.31 การเรียงลำดับของจุดในไฟล์รูปแบบ OBJ

หลังจากเก็บค่าพิกัดของจุดและค่าพิกัดของพื้นผิวที่ทำการจัดเรียงลำดับเสร็จ เรียบร้อยแล้ว จากนั้นระบบจะนำข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นกลุ่มของเฟส (faces) โดยระบบจะเริ่ม สร้างจาก กลุ่มเฟสด้านหน้า กลุ่มเฟสด้านหลัง กลุ่มเฟสด้านซ้าย กลุ่มเฟสด้านขวา กลุ่มเฟสด้านบน กลุ่มเฟสด้านล่าง กลุ่มเฟสของช่องว่างฝั่งซ้าย และกลุ่มเฟสของช่องว่างฝั่งขวา
#### 3.4.4.1 กลุ่มเฟสด้านหน้า

เก็บจุดแบบทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้ามีทั้งหมด 4 กรณีได้แก่ กรณีปกติ

f 1 6 7 2

...

f 9 14 15 10

กรณีจุดปัจจุบันมีค่า opened เป็น true

f 6 11 12 16

กรณีจุดถัดไปมีค่า closed เป็น true

f 17 13 14 9

กรณีจุดปัจจุบันมีส่วนที่เป็นช่องว่าง (x2!=NULL)

f 16 12 13 17

#### 3.4.4.2 กลุ่มเฟสด้านหลัง

เก็บจุดแบบตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้ามีทั้งหมด 4 กรณีได้แก่ กรณีปกติ

f 18 19 24 23

f 26 27 32 31 กรณีจุดปัจจุบันมีค่า opened เป็น true f 23 33 29 28 กรณีจุดถัดไปมีค่า closed เป็น true f 34 26 31 30 กรณีจุดปัจจุบันมีส่วนที่เป็นช่องว่าง (x2!=NULL) f 33 34 30 29

# 3.4.4.3 กลุ่มเฟสด้านซ้าย

เก็บจุดแบบตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้า

f 1 2 19 18

••

#### 3.4.4.4 กลุ่มเฟสด้านขวา

เก็บจุดแบบตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้า

f 11 28 29 12

… f 14 31 32 15

#### 3.4.4.5 กลุ่มเฟสด้านบน

เก็บจุดแบบตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้า

f 5 10 27 22

f 10 15 32 27

#### 3.4.4.6 กลุ่มเฟสด้านล่าง

เก็บจุดแบบตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้า

f 1 18 23 6

f 6 23 28 11

## 3.4.4.7 กลุ่มเฟสของช่องว่างฝั่งซ้าย

เก็บจุดแบบทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้า

#### 3.4.4.8 กลุ่มเฟสของช่องว่างฝั่งขวา

เก็บจุดแบบทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านหน้ามีทั้งหมด 3 กรณี กรณีจุดปัจจุบันมีค่า opened เป็น true f 6 16 33 23

กรณีจุดถัดไปมีค่า closed เป็น true

f 17 9 26 34

กรณีจุดปัจจุบันมีส่วนที่เป็นช่องว่าง (x2!=NULL)

f 16 17 34 33

ในกรณีที่จุดมีพิกัดตรงกัน เช่น จุดรวมพิกัดที่จุดต้น จุดรวมพิกัดที่จุดปลาย และ กลุ่มของจุดที่เป็นส่วนของคมดาบ ระบบจะไม่ทำการรวมจุดเหล่านี้ให้เป็นจุดเดียวกันเพื่อให้วัตถุ3มิติ ที่สร้างออกมายังคงสภาพโครงร่างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมที่ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมรายละเอียดลงไปใน ระบบอื่นๆได้ เช่นโปรแกรมมายาที่ผู้ใช้สามารถใช้ฟังก์ชัน Insert Edge Loop ได้ครบวง เป็นต้น ดัง ภาพที่ 3.32 (ก) นอกจากนี้จุดที่มีพิกัดตรงกันสามารถรวมเป็นจุดเดียวกันได้ง่ายในระบบอื่นๆ เช่นใน โปรแกรมมายาจะมีฟังก์ชัน Merge ที่ใช้รวมจุดเป็นต้น



ภาพที่ 3.32 การใช้ฟังก์ชัน Insert Edge Loop ในโปรแกรมมายา

## 3.5 การออกแบบส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้

เพื่อให้ระบบสามารถดำเนินงานได้อย่างครบวงจร ระบบจะต้องมีส่วนต่อประสานงาน กับผู้ใช้ ดังภาพที่ 3.33 และ ภาพที่ 3.34



ภาพที่ 3.33 การออกแบบส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้ 1



ภาพที่ 3.34 การออกแบบส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้ 2

ส่วนต่อประสานงานของผู้ใช้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของหน้าต่างสำหรับ วาดรูป และส่วนของเมนู ดังภาพที่ 3.35 โดยที่ส่วนของหน้าต่างสำหรับวาดรูปจะใช้ในการลากเส้น ใช้ วางสมการเส้นโค้ง ใช้กำหนดจุดรวมที่พิกัดปลาย เป็นต้น



ภาพที่ 3.35 ส่วนต่อประสานงานของระบบ

ทางผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มของฟังก์ชันที่ระบบสามารถทำงานได้ผ่านไอคอน (Icon) (Flaticon, 2016) ตามหน้าต่างเมนูดังต่อไปนี้

## 3.5.1 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอก[M0.0]



ภาพที่ 3.36 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอก[M0.0]

ในหน้าต่างเมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่าน ไอคอน โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้วาดเส้นโครงร่างภายนอก โดยระยะห่างของจุดในเบื้องต้นจะมีระยะ ประมาณ 25pixels (Cohen et al., 1999)

2) ใช้สร้างรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[MP]

3) ใช้สร้างสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML]

4) เปลี่ยนการเรียงจุดบนเส้นโครงร่างภายนอกจากจุดต้นไปหาจุดปลายเป็นจุด

ปลายไปหาจุดต้น

5) ย้อนการดำเนินงาน

6) กู้คืนการดำเนินงาน

เมื่อกดปุ่ม NEXT ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูเลือกประเภทของเส้นโครงร่าง

[M1.0]

3.5.2 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐาน[MP]



ภาพที่ 3.37 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐาน[MP]

ในหน้าต่างเมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่าน ไอคอนโดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้สร้างรูปเรขาคณิตประเภทวงกลมและวงรี โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่

[MP1]



1	Density D L M H VH	
2	Radius R 10	
3	Width Wi	
4	Height Hill 1	
5	Starting Degree	
	5181075J	
	NUL TAX	
	SARAGAT N	
	BACK	

ภาพที่ 3.38 เมนูสร้างรูปเรขาคณิตประเภทวงกลม[MP1]

ในหน้าต่างเมนูสร้างรูปเรขาคณิตประเภทวงกลมระบบจะทำการสร้างวงกลมต่อ จากตำแหน่งจุดปลายของเส้นโครงร่างที่กำลังสร้างอยู่โดยจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านไอคอน และสไลเดอร์บาร์โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้กำหนดความหนาแน่นของจุด โดย L M H VH จะมีจำนวนจุดบนวงกลม

เท่ากับ 12, 18, 24 และ 36 ตามลำดับ

- 2) ใช้กำหนดขนาดให้กับวงกลม
- 3) ใช้ขยายความกว้างให้กับวงกลม
- 4) ใช้ขยายความสูงให้กับวงกลม
- 5) ใช้หมุนวงกลมจากตำแหน่งจุดปลายของเส้นโครงร่างที่กำลังสร้าง โดยจะหมุน

5 องศาต่อ 1 หน่วย



3.5.4 เมนูกำหนดจำนวนจุดที่ใช้ควบคุมการสร้างสมการเส้นโค้ง[ML]

ภาพที่ 3.39 เมนูกำหนดจำนวนจุดที่ใช้ควบคุมการสร้างสมการเส้นโค้ง[ML]

ในหน้าต่างเมนูกำหนดจำนวนจุดที่ใช้ควบคุมการสร้างสมการเส้นโค้งจะมีฟังก์ชัน ให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านไอคอนโดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้ 2 จุดสำหรับควบคุมสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML1]

2) ใช้ 3 จุดสำหรับควบคุมสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML2]

3) ใช้ 4 จุดสำหรับควบคุมสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML3]

4) ใช้ 5 จุดสำหรับควบคุมสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML4]

\*ในที่นี้จะแสดงเฉพาะหน้าต่าง[ML4]ที่มีจำนวนจุดที่ใช้ควบคุมมากที่สุด

# 3.5.5 เมนูสร้างสมการเส้นโค้งที่มีจุดควบคุม 4 จุด[ML4]



ภาพที่ 3.40 เมนูสร้างสมการเส้นโค้งที่มีจุดควบคุม 4 จุด[ML4]

ในหน้าต่างเมนูสร้างสมการเส้นโค้งที่มีจุดควบคุม 4 จุดระบบจะทำการสร้างเส้น โค้งต่อจากตำแหน่งจุดปลายของเส้นโครงร่างที่กำลังสร้างอยู่โดยจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่าน ไอคอนโดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดปลายของเส้นสมการเส้นโค้ง

2) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่2 (จะอยู่ใกล้จุดต้นของสมการเส้นโค้ง) ของเส้น

สมการเส้นโค้ง

3) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่3ของเส้นสมการเส้นโค้ง

4) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่4 (จะอยู่ใกล้จุดปลายของสมการเส้นโค้ง) ของ

เส้นสมการเส้นโค้ง

## 3.5.6 เมนูเลือกประเภทของเส้นโครงร่าง[M1.0]



ภาพที่ 3.41 เมนูเลือกประเภทของเส้นโครงร่าง[M1.0]

ในหน้าต่างเมนูเลือกประเภทของเส้นโครงร่างจะใช้ในการกำหนดประเภทของ เส้นโครงร่างโดยจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านไอคอนโดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้ 1) ใช้สำหรับแบ่งเส้นโครงร่างออกเป็น 2 เส้น โดยประเภทโครงร่างที่ได้จะเป็น โครงร่างแบบรวม จากนั้นระบบจะเปลี่ยนไปที่หน้าต่างเมนู[M4.0] 2) ใช้สำหรับสร้างเส้นโครงร่างเพิ่มอีก 1 เส้น โดยประเภทโครงร่างที่ได้จะเป็น โครงร่างแบบแยก จากนั้นระบบจะเปลี่ยนไปที่หน้าต่างเมนู[M2.0]

 3) ใช้เชื่อมตำแหน่งจากจุดปลายของเส้นโครงร่างมาที่จุดต้นของเส้นโครงร่าง กรณีที่เชื่อมด้วยไอคอนนี้และทำการแบ่งจุดด้วยหน้าต่างเมนู[M4.0]จะได้โครงร่างแบบรวมที่จุดต้น และจุดปลาย

#### 3.5.7 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกขวา[M2.0]



ภาพที่ 3.42 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกขวา[M2.0]

ในหน้าต่างเมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกขวาจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่าน ไอคอน โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้วาดเส้นโครงร่างภายนอกขวา

- 2) ใช้สร้างรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[MP]
- 3) ใช้สร้างสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML]
- 4) เปลี่ยนการเรียงจุดบนเส้นโครงร่างภายนอกขวาจากจุดต้นไปจุดปลายเป็นจุด

ปลายไปจุดต้น

- 5) ย้อนการดำเนินงาน
- 6) กู้คืนการดำเนินงาน
- 7) เปลี่ยนไปที่หน้าต่างเมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย[M3.0]
- 8) ใช้เชื่อมตำแหน่งจากจุดปลายของเส้นโครงร่างภายนอกขวามาที่จุดต้นของ

เส้นโครงร่างภายนอกขวา

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[M5.0]

## 3.5.8 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย[M3.0]



ภาพที่ 3.43 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายอนกซ้าย[M3.0]

ในหน้าต่างเมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกซ้ายจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่าน ไอคอน โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้วาดเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย

- 2) ใช้สร้างรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[MP]
- 3) ใช้สร้างสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML]
- 4) เปลี่ยนการเรียงจุดบนเส้นโครงร่างภายนอกซ้ายจากจุดต้นไปจุดปลายเป็นจุด

ปลายไปจุดต้น

5) ย้อนการดำเนินงาน

6) กู้คืนการดำเนินงาน

7) เปลี่ยนไปที่หน้าต่างเมนูสร้างเส้นโครงร่างภายนอกขวา[M2.0]

8) ใช้เชื่อมตำแหน่งจากจุดปลายของเส้นโครงร่างภายนอกซ้ายมาที่จุดต้นของ

เส้นโครงร่างภายนอกซ้าย

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[M5.0]

#### 3.5.9 เมนูแบ่งเส้นโครงร่างออกเป็น 2 เส้น[M4.0]

ในหน้าต่างเมนูแบ่งเส้นโครงร่างออกเป็น 2 เส้นจะใช้แบ่งเส้นโครงร่างภายนอก ออกเป็นเส้นโครงร่างภายนอกซ้ายและเส้นโครงร่างภายนอกขวา ซึ่งในหน้าต่างนี้จะไม่มีไอคอนแต่ผู้ใช้ สามารถเลือกจุดที่จะกำหนดให้เป็นจุดรวมที่พิกัดปลายเพื่อแบ่งเส้นโครงร่างออกเป็น 2 เส้นได้ (ใน กรณีที่ผู้ใช้ได้เชื่อมตำแหน่งจากจุดปลายของเส้นโครงร่างมาที่จุดต้นของเส้นโครงร่างที่หน้าต่าง M1.0 โครงร่างที่ได้จะเป็นโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย ถ้าไม่ได้ทำจะเป็นโครงร่างแบบรวมที่จุด ปลายแทน) และเมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[M5.0] จาก ที่กล่าวมาจะถูกแสดงดังภาพที่ 3.44



ภาพที่ 3.44 หน้าต่างเมนูแบ่งเส้นโครงร่างออกเป็น 2 เส้น และหน้าต่าง[M5.0]

## 3.5.10 เมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[5.0]

	<b>+</b>	2	>
64			
	EAR	Day	a

ภาพที่ 3.45 เมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[M5.0]

ในหน้าต่างเมนูจัดการเส้นโครงร่างภายในจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่าน ไอคอน โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้เพิ่มเส้นโครงร่างภายใน 1 เส้น โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[M6.0]

2) ใช้ลบเส้นโครงร่างภายใน 1 เส้น

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูแบ่งจำนวนจุดและระยะห่าง

ระหว่างจุดให้เท่ากัน[M7.0]

#### 3.5.11 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายใน[M6.0]

	(TR) 2	
3 Undo 4	Redo 5	
BACK	DONE	

ภาพที่ 3.46 เมนูสร้างเส้นโครงร่างภายใน[M6.0]

ในหน้าต่างเมนูสร้างเส้นโครงร่างภายในจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่าน ไอคอน โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

- 1) ใช้วาดเส้นโครงร่างภายใน
- 2) ใช้สร้างรูปเรขาคณิตปฐมฐาน โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[MPL]
- 3) ใช้สร้างสมการเส้นโค้ง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[ML]
- 4) ย้อนการดำเนินงาน

5) กู้คืนการดำเนินงาน

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูจัดการเส้นโครงร่างภายใน[M5.0]

# 3.5.12 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานสำหรับสร้างช่องว่าง[MPL]



ภาพที่ 3.47 เมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานสำหรับสร้างช่องว่าง[MPL]

ในหน้าต่างเมนูเลือกรูปเรขาคณิตปฐมฐานสำหรับสร้างช่องว่างจะมีฟังก์ชันให้ ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านไอคอนโดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้สร้างรูปเรขาคณิตประเภทวงกลมและวงรีที่เป็นส่วนของช่องว่าง โดยจะ เปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่[MP1]

2) ใช้สร้างสมการเส้นโค้งที่เป็นส่วนของช่องว่าง โดยจะเปลี่ยนหน้าต่างเมนูไปที่

[MPL1]

## 3.5.13 เมนูสร้างช่องว่างด้วยสมการเส้นโค้ง[MPL1]



ภาพที่ 3.48 เมนูสร้างช่องว่างด้วยสมการเส้นโค้ง[MPL1]

ในหน้าต่างเมนูสร้างช่องว่างด้วยสมการเส้นโค้ง ระบบจะทำการสร้างสมการเส้น โค้งที่เป็นรูปทรงแบบครบวง โดยจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านไอคอนโดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มี ดังต่อไปนี้

 1) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดปลายของเส้นสมการเส้นโค้ง ซึ่งเป็นพิกัดจุดรวม ของสมการเส้นโค้งฝั่งซ้ายและสมการเส้นโค้งฝั่งขวา

2) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่2ของเส้นสมการเส้นโค้งฝั่งซ้าย

3) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่2ของเส้นสมการเส้นโค้งฝั่งขวา

4) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่3ของเส้นสมการเส้นโค้งฝั่งซ้าย

5) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่3ของเส้นสมการเส้นโค้งฝั่งขวา

6) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่4ของเส้นสมการเส้นโค้งฝั่งซ้าย

7) ใช้วางพิกัดจุดควบคุมที่จุดที่4ของเส้นสมการเส้นโค้งฝั่งขวา

1	Number of Vertices in any Lines
2	• Get Terminal Hole
	BACK

## 3.5.14 เมนูแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน[M7.0]

ภาพที่ 3.49 เมนูแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน[M7.0]

ในหน้าต่างเมนูแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากันจะมีฟังก์ชันให้ ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านไอคอนและสไลเดอร์บาร์โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ใช้กำหนดจำนวนจุดที่อยู่บนเส้นโครงร่าง

2) ใช้เลือกเก็บพิกัดจุดปลายเปิดและปลายปิดของช่องว่างที่อยู่ในเส้นโครงร่าง ใหม่ ดังภาพที่ 3.50 (ข) หรือเส้นโครงร่างเดิม ดังภาพที่ 3.50 (ค)

ส่วนภาพที่ 3.50 (ก) จะประกอบไปด้วยเส้นโครงร่างภายนอก และเส้นโครงร่าง ภายใน โดยเส้นโครงร่างภายนอกนี้ได้ทำการกำหนดจุดรวมพิกัดปลายเพื่อแบ่งเส้นโครงร่างภายนอก ออกเป็น 2 เส้นเรียบร้อยแล้ว ส่วนเส้นโครงร่างภายในคือเส้นที่มีช่องว่างซึ่งช่องว่างนี้ถูกสร้างจาก สมการเส้นโค้งแบบปลายปิด

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่าง

[M8.0]



ภาพที่ 3.50 ตัวอย่างการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน

1	Reduce Segments with Threshold		
	TI	00	
2	Reduce Hole Segme	nts with Threshold	
	T	10	
		BK(	
	BACK	DONE	

3.5.15 เมนูลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่าง[M8.0]

ภาพที่ 3.51 เมนูลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่าง[M8.0]

ในหน้าต่างเมนูลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่างจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งาน ผ่านสไลเดอร์บาร์โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้

1) ค่า Reduce Segments with Threshold คือค่าความต่างของมุมที่จะ นำมาใช้ลดจำนวนช่วงจุด โดยจะมีค่าแปรผันตรงกับจำนวนช่วงจุดที่ลดลง

2) ค่า Reduce Hole Segments with Threshold คือค่าความสำคัญของช่วง จุดที่มีช่องว่าง เมื่อค่านี้มีค่าน้อยกว่า 10 ช่วงจุดที่มีช่องว่างจะมีค่าความสำคัญมากกว่าช่วงจุดที่ไม่มี ช่องว่าง (กรณีที่มุมเท่ากันระบบจะทำการลบช่วงจุดที่ไม่มีช่องว่างออกก่อน) เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะเข้าสู่หน้าต่างเมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันตามประเภทของ โครงร่างที่ได้กำหนดไว้



ภาพที่ 3.52 ตัวอย่างการลดจำนวนจุดบนเส้นโครงร่าง

1	Assembly Vertice of Destination + 000
2 3	Outer Silhouette Line L S + 000 F 01
4 5	Outer Silhouette Line R S + 000 F 01
6 7	Inner Silhouette Line 01 SI + 000 FI 01
	DONE

3.5.16 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้น[M9.0]

ภาพที่ 3.53 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้น[M9.0]

ในหน้าต่างเมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นจะมีฟังก์ชันให้ ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านสไลเดอร์บาร์โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้ (จากภาพที่ 3.53 เป็นตัวอย่างที่มี เส้นโครงร่างภายในเพียงเส้นเดียว ในกรณีที่มีน้อยกว่าหรือมากกว่าจำนวนสไลเดอร์บาร์ก็จะ เปลี่ยนแปลงไป ส่วนภาพที่ 3.54 เป็นผลลัพธ์หลังการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นใน มุมมองต่างๆ)

1) ค่าความกว้างที่จุดรวมพิกัดปลาย (จุดปลายของเส้นโครงร่างทุกๆเส้นจะมี

พิกัดเดียวกัน)

2) ค่าความกว้างที่จุดต้นของเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย

ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย (ค่าแกมมาสามารถปรับให้น้อยกว่า
 1 ได้ ด้วยปุ่มว่างที่อยู่หน้าตัวเลข 2 หลัก เมื่อกดแล้วระบบจะนำ 1 มาหารด้วยตัวเลข 2 หลัก)

4) ค่าความกว้างที่จุดต้นของเส้นโครงร่างภายนอกขวา

5) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายนอกขวา

6) ค่าความกว้างที่จุดต้นของเส้นโครงร่างภายในเส้นที่ 1

7) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายในเส้นที่ 1

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะทำการส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์สกุล OBJ เป็นอันเสร็จ

สิ้นการทำงาน

78



ภาพที่ 3.54 ตัวอย่างการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้น



3.5.17 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย[M10.0]

ภาพที่ 3.55 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย[M10.0]

ในหน้าต่างเมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลายจะมี ฟังก์ชันให้ผู้ใช้เลือกใช้งานผ่านสไลเดอร์บาร์โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้ (จากภาพที่ 3.55 เป็น ตัวอย่างที่มีเส้นโครงร่างภายในเพียงเส้นเดียว ในกรณีที่มีน้อยกว่าหรือมากกว่าจำนวนสไลเดอร์บาร์ก็ จะเปลี่ยนแปลงไป)

1) ค่าความกว้างที่จุดรวมพิกัดต้น

2) ค่าความกว้างที่จุดรวมพิกัดปลาย

3) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย

4) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายนอกขวา

5) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายในเส้นที่ 1

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะทำการส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์สกุล OBJ เป็นอันเสร็จ

สิ้นการทำงาน

1 2 3	Outer Silhouette Line LS+ 000D+ 000F01
4 5 6	Outer Silhouette Line R S + 000 D + 000 C 01
7 8 9	Inner Silhouette Line ()1 S + 000 D + 000 C 01 DONE

3.5.18 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบแยก[M11.0]

ภาพที่ 3.56 เมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบแยก[M11.0]

ในหน้าต่างเมนูการทำเอ็กซ์ทรูชันของโครงร่างแบบแยกจะมีฟังก์ชันให้ผู้ใช้ เลือกใช้งานผ่านสไลเดอร์บาร์โดยฟังก์ชันที่ใช้งานได้มีดังต่อไปนี้ (จากภาพที่ 3.56 เป็นตัวอย่างที่มีเส้น โครงร่างภายในเพียงเส้นเดียว ในกรณีที่มีน้อยกว่าหรือมากกว่าจำนวนสไลเดอร์บาร์ก็จะเปลี่ยนแปลง ไป)

1) ค่าความกว้างที่จุดต้นของเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย

2) ค่าความกว้างที่จุดปลายของเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย

3) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายนอกซ้าย

4) ค่าความกว้างที่จุดต้นของเส้นโครงร่างภายนอกขวา

5) ค่าความกว้างที่จุดปลายของเส้นโครงร่างภายนอกขวา

6) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายนอกขวา

7) ค่าความกว้างที่จุดต้นของเส้นโครงร่างภายในเส้นที่ 1

8) ค่าความกว้างที่จุดปลายของเส้นโครงร่างภายในเส้นที่ 1

9) ค่าแกมมาของเส้นโครงร่างภายในเส้นที่ 1

เมื่อกดปุ่ม DONE ระบบจะทำการส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์สกุล OBJ เป็นอันเสร็จ

สิ้นการทำงาน

# บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลของระบบจะเป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างวัตถุ3 มิติที่มีรูปแบบโครงสร้างที่แตกต่างกันกับผู้ใช้โปรแกรมมายาระดับมืออาชีพ โดยทางผู้วิจัยได้เชิญ อ. ธนัช จิรวารศิริกุล ซึ่งเป็นผู้ใช้โปรแกรมมายาระดับมืออาชีพที่มีประสบการณ์ใช้โปรแกรมมายามาแล้ว 17 ปี มาทดสอบระบบ

# 4.1 วัตถุ3มิติที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบทางผู้วิจัยได้เตรียมวัตถุ3มิติที่มีลักษณะแตกต่างกันทั้งหมด 6 รูปแบบ ดัง ภาพที่ 4.1 ซึ่งวัตถุ3มิติทั้ง 6 รูปแบบนี้มีประเภทของโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไปดังนี้ ภาพที่ 4.1 (ก) และภาพที่ 4.1 (ข) เป็นโครงร่างแบบรวมที่จุดปลาย ภาพที่ 4.1 (ค) และภาพที่ 4.1 (ง) เป็นโครงร่างแบบแยก ภาพที่ 4.1 (จ) และภาพที่ 4.1 (ฉ) เป็นโครงร่างแบบรวมที่จุดต้นและจุดปลาย



ภาพที่ 4.1 วัตถุ3มิติที่ใช้ทดสอบทั้ง 6 รูปแบบ

#### 4.2 กระบวนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

1) ผู้วิจัยได้อธิบายวิธีการใช้งานระบบให้กับผู้ทดสอบในเวลา 13 นาที

 ผู้ทดสอบทดลองใช้งานระบบก่อนที่จะเริ่มสร้างวัตถุตามแบบที่กำหนดให้ ซึ่งทางผู้ ทดสอบสามารถจดจำขั้นตอนการดำเนินงาน และฟังก์ชันต่างๆได้อย่างรวดเร็วแต่อาจมีสับสนบ้าง ในช่วงของการเลือกประเภทของโครงร่าง

3) ผู้ทดสอบสร้างวัตถุ3มิติทั้ง 6 รูปแบบด้วยโปรแกรมมายา จากนั้นผู้ทดสอบสร้างวัตถุ
 3มิติทั้ง 6 รูปแบบด้วยโปรแกรมทดสอบ โดยเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างในหน่วยวินาทีระหว่าง
 โปรแกรมมายากับโปรแกรมทดสอบ

## 4.3 ผลลัพธ์ที่ได้

ผลลัพธ์ที่ได้แสดงตามตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการสร้างวัตถุ3มิติทั้ง 6 รูปแบบ

ວັຫຄຸ3ນີຕີ	โปรแกรมมายา (วินาที)	โปรแกรมทดสอบ (วินาที)	เวลาที่ใช้ลดลง (วินาที)
รูปที่ 1	496	308	183
รูปที่ 2	325	152	173
รูปที่ 3	517	95	422
รูปที่ 4	608	177	431
รูปที่ 5	175	80	95
รูปที่ 6	279	190	89



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงข้อมูลจากตารางที่ 4.1

#### 4.4 วิเคราะห์ผลจากการทดลอง

1) ด้านความเร็วในการสร้างวัตถุ จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 วิเคราะห์ได้ว่าโปรแกรม ทดสอบใช้เวลาในการสร้างลดลงถึง 54.97% เมื่อเทียบกับโปรแกรมมายา

 การออกแบบส่วนต่อประสานงาน ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจ ไอคอนต่างๆสื่อความหมาย ได้ชัดเจนและไอคอนบนเมนูไม่มีมากจนเกินไป การควบคุมแถบสไลเดอร์บาร์สามารถเลื่อนไปยังค่าที่ ผู้ใช้ต้องการได้

 ส่วนเชื่อมต่อการทำงานของไอคอนต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง การย้อนกลับ การเลือกเมนูระดับต่อไป ทำได้ไม่ติดขัด

นอกจากนี้ยังมีความเห็นจากผู้ทดสอบในด้านการประยุกต์ใช้ ให้นำโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น มานี้ ไปใช้กับงานทางด้านฟาบริเคชัน (Fabrication)

# บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานบันเทิงไม่ว่าจะเป็น ละคร เกม หรือแอนิเมชัน อาวุธมีคมถือเป็นวัตถุ3มิติที่พบได้เป็น จำนวนมากและมีหลากหลายชนิด วิธีการสร้างวัตถุ3มิติแบบดั้งเดิมให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้มี ความซับซ้อนและใช้เวลาในการสร้างค่อนข้างมาก ดังนั้นการสร้างเครื่องมือที่ช่วยให้การสร้างอาวุธมี คมแบบวัตถุ3มิติทำได้ง่าย รวดเร็ว และตรงตามความต้องการของผู้ใช้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก จากที่กล่าวมาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับแรงบรรดาลใจมาจากผลงานต่างๆที่ใช้วิธีการวาดรูปใน การสร้างวัตถุ3มิติ โดยทางผู้วิจัยได้ปรับปรุงวิธีการวาดรูปให้สามารถนำไปใช้ในการสร้างวัตถุ3มิติที่มี โครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยมประเภทอาวุธมีคมที่มีช่องว่างได้อย่างเหมาะสม

#### 5.1 สรุปการศึกษาวิจัย

การสรุปผลการวิจัยจะถูกแบ่งออกเป็นการสรุปวัตถุประสงค์ และการสรุปขั้นตอนการ ดำเนินงาน

#### 5.1.1 สรุปวัตถุประสงค์

งานวิจัยฉบับนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดขึ้น 1) เพื่อให้การสร้างอาวุธมีคมที่มีช่องว่าง และมีโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมปริมาณโพลีกอนในวัตถุ3มิติได้

## 5.1.2 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน

ระบบนี้ใช้การวาดรูป รูปเรขาคณิตปฐมฐาน และสมการเส้นโค้ง ในการสร้างเส้น โครงร่างภายนอก และภายใน ตามลำดับ โดยรูปเรขาคณิตปฐมฐานจะนำไปใช้สร้างช่องว่าง จากนั้น ระบบจะทำการแบ่งจำนวนจุดและระยะห่างระหว่างจุดให้เท่ากัน และลดช่วงจุดที่ไม่ต้องการออกไป เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกจำนวนโพลีกอนที่จะใช้ในวัตถุ3มิติได้ตามแบบที่ต้องการและยังใช้ในการลบ เส้นเชื่อมระหว่างโครงร่างที่มีการทับซ้อนกันในบางส่วนได้ จากนั้นระบบจะเข้าสู่กระบวนการเอ็กซ์ทรู ชันเพื่อแปลงโครงร่าง2มิติให้เป็นวัตถุ3มิติต่อไป ในขั้นตอนสุดท้ายระบบจะแปลงข้อมูลของวัตถุ3มิติ เป็นไฟล์ข้อมูล OBJ เพื่อที่จะนำไปใช้ในระบบอื่นๆต่อไป

## 5.2 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบกับผู้ใช้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ ผู้ใช้มายาระดับมืออาชีพสามารถสร้างวัตถุ3มิติโดย ใช้เวลาในการสร้างลดลงถึง 54.97%

วัตถุ3มิติที่ได้จากระบบนี้มีการเรียงจุดแบบทวนเข็มนาฬิกาและรองรับการทำพื้นผิว (Texture) โดยสามารถส่งออกไฟล์วัตถุ3มิติเป็นไฟล์สกุล .OBJ เพื่อนำไปใช้กับระบบอื่นๆได้ ดังภาพที่ 5.1 ถึงภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.1 วัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบนี้และส่งออกไปที่โปรแกรมมายา



ภาพที่ 5.3 วัตถุ3มิติหลังจากใส่แสง และแปะพื้นผิว



ภาพที่ 5.4 ส่วนคมของวัตถุหลังแปะพื้นผิว

จากภาพที่ 5.5 ผู้วิจัยใช้เวลาในการสร้าง 137, 100, 89 และ 132 วินาที ตามลำดับ และภาพที่ 5.6 ผู้วิจัยใช้เวลาในการสร้าง 90, 131, 171, 169 และ 265 วินาที ตามลำดับ โดยภาพที่ 5.6 (จ) ผู้วิจัยได้นำภาพที่ 5.6 (ง) ไปพัฒนาต่อในโปรแกรมมายาโดยใช้เวลาเพียง 96 วินาที



ภาพที่ 5.5 ตัวอย่างอาวุธมีคมที่สร้างจากระบบ 1



ภาพที่ 5.6 ตัวอย่างอาวุธมีคมที่สร้างจากระบบ 2

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ทดสอบระบบโดยการสร้างดาบที่มี Rittik เป็นผู้ออกแบบ โดย ภาพที่ 5.7 ส่วนประกอบโครงร่างของดาบที่ถูกสร้างจากโปรแกรมทดสอบ และภาพที่ 5.8 เป็น ผลลัพธ์ที่นำส่วนประกอบจากภาพที่ 5.7 มาประกอบกันในโปรแกรมมายา



ภาพที่ 5.7 ส่วนประกอบโครงร่างของดาบ



ภาพที่ 5.8 ผลลัพธ์ของดาบหลังประกอบ
### 5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาและวิจัยต่อในอนาคต

ระบบนี้สามารถสร้างอาวุธมีคมได้หลากหลายรูปแบบ และรวมถึงอาวุธที่มีส่วนเว้า ดังภาพที่ 5.6 (ก) อย่างไรก็ตามวัตถุ3มิติที่สร้างจากระบบนี้อาจเกิดปัญหาการทับกันของเส้นเชื่อมระหว่างโครง ร่างซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ผู้ใช้ทำการวาดเส้นโครงร่างที่มีส่วนเว้าไปในทิศทางตรงกันข้าม ดังภาพที่ 5.9 เป็นผลให้รูปทรงของวัตถุ3มิติผิดเพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขเบื้องต้นได้โดยการวาด กลุ่มของเส้นโครงร่างภายในที่ค่อยๆมีการปรับเปลี่ยนรูปจากทางซ้ายไปทางขวา ดังภาพที่ 5.10 เพื่อ แก้ไขปัญหาดังกล่าว ในอนาคตทางผู้วิจัยมีแผนการนำมอร์ฟฟิงมาใช้ในการเพิ่มเส้นโครงร่างที่มีการ ปรับเปลี่ยนการลากเส้นตามเส้นที่อยู่ระหว่างเส้นซ้ายมือกับขวามือแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 5.9 การทับกันของเส้นระหว่างโครงร่าง



ภาพที่ 5.10 การใช้กลุ่มเส้นโครงร่างภายในเพื่อแก้ไขการทับกันระหว่างเส้นโครงร่าง



#### รายการอ้างอิง

#### หนังสือและบทความในหนังสือ

Withers, H.. (2011). THE ILLUSTRATED DIRECTORY OF SWORDS & SABRES. (1st ed). Wigston: Southwater.

#### บทความวารสาร

- Oztireli, A.C., Uyumaz, U., Popa, T., Sheffer, A. & Gross, M. (2011). 3D modeling with a symmetric sketch. In Proceedings of the 8th Eurographics Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBIM), 23-30.
- Paulson, B., & Hammond, T. (2008). PaleoSketch: Accurate Primitive Sketch Recognition
   & Beautification. In Proceedings of the 13th international conference on Intelligent user interfaces (IUI), 1-10.
- Li, C., Miller, T. S., Zeleznik, R.C. & Laviola, J.J. (2008). AlgoSketch: algorithm sketching and interactive computation. In Proceedings of the 5th Eurographics conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBM), 175-182.
- Camozzato, D., Dihi, L., Silveira, I., Marson, F. & Musse, S.R. (2015). Procedural floor plan generation from building sketches. In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2015 Posters, Article No. 51.
- Hahn, F., Mutzel, F., Coros, S., Thomaszewski, B., Nitti, M., Gross, M., & Sumner, R.W. (2015). Sketch abstractions for character posing. In Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA), 185-191.

Fang, F., & Lee, Y.T. (2013). 3D Reconstruction from Drawings with Straight and Curved

Edges. In Proceedings of SIGGRAPH Asia 2013 Technical Briefs (SA), Article No. 1.

- Igarashi, T., Matsuoka, S., & Tanaka, H. (1999). Teddy: A sketching interface for 3d freeform design. In Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH), 409–416.
- Arvo, J., & Novins, K., (2006). Fluid sketching of directed graphs. In Proceedings of the 7th Australasian User interface conference - Volume 50 (AUIC), 81-86.
- Wither, J., Bouthors, A. & Cani, M. (2008). Rapid sketch modeling of clouds. In Proceedings of the 5th Eurographics conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBM), 113-118.
- Laviola, J.J., & Zeleznik, R.C. (2007). MathPad2: a system for the creation and exploration of mathematical sketches. In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004 Papers, Article No. 46.
- Cherlin, J.J., Samavati, F., Sousa, M.C. & Jorge J.A. (2005). Sketch-based modeling with few strokes. In Proceedings of the 21st Spring Conference on Computer Graphics (SCCG), 137-415.
- Cohen, J.M., Markosian, L., Zeleznik, R.C., Hughes, J.F., & Barzel, R. (1999). An interface for sketching 3D curves. In Proceedings of the 1999 symposium on Interactive 3D graphics (I3D), 17-21.
- Sugihara, K. (2009). Automatic generation of 3-D building models with various shapes of roofs. In Proceedings of ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Sketches, Article No. 28.
- Mori, Y., & Igarashi, T. (2007). Plushie:an interactive design system for plush toys. In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2007, Article No. 45.

Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F. & Ribarsky, W. (2003). Instant architecture. In

Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003 Papers, 669-677.

- Zeleznik, R.C., Herndon, K.P., & Hughes, J.F. (1996). SKETCH: An interface for sketching 3D scenes. In Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 163-170.
- Abdrashitov, R., Guy, E., Yao, J., & Singh, K. (2014). Mosaic: sketch-based Interface for creating digital decorative mosaics. In Proceedings of the 4th Joint Symposium on Computational Aesthetics, Non-Photorealistic Animation and Rendering, and Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBIM), 5-10.
- Rivers, A., Durand, F., & Igarashi, T. (2010). 3D modeling with silhouettes. In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2010 papers, Article No. 109.
- Kondo, S., Toyoura, M., & Mao, X. (2014). Sketch based skirt image retrieval. In Proceedings of the 4th Joint Symposium on Computational Aesthetics, Non-Photorealistic Animation and Rendering, and Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBIM), 11-16.
- Santos ,T., Ferreira, A., Dias, F. & Fonseca, M.J. (2008). Using sketches and retrieval to create LEGO models. In Proceedings of the 5th Eurographics conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling (SBM), 89-96.

#### สื่ออิเล็กทรอนิกส์

Flaticon. (2013). Retrieved August 4, 2016, http://www.flaticon.com Maya. (1989). Retrieved August 4, 2016, http://www.autodesk.com/products/maya Microsoft. (1997). Retrieved August 4, 2016, https://www.visualstudio.com/ Rittik. (2000). Retrieved August 4, 2016, http://rittik-designs.deviantart.com/gallery/



ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

## ส่วนของโครงสร้างที่ใช้ในการเขียนในโปรแกรม

ไฟล์ .cpp และ .h ที่ใช้ในโปรแกรม

-	÷	] He	ader Files
	4	÷	GroupModel3D
		Þ	Model3D_Data.h
		Þ	Model3D_Line_Data.h
		Þ	Model3D_Vertex_Data.h
	4	÷	MenuScene
		Þ	ExtrudeData.h
		Þ	MenuScene.h
		Þ	PrimitiveCircle.h
	Þ	Б	InputInnerSilhouette.h
	Þ	Б	InputVertex.h
	⊳	в	MainScene.h
10	-	Re	source Files
4	÷	So	urce Files
	4	÷	GroupModel3D
		Þ	++ Model3D_Data.cpp
		Þ	++ Model3D_Line_Data.cpp
		Þ	++ Model3D_Vertex_Data.cpp
	4	<b>4</b>	MenuScene
		Þ	++ ExtrudeData.cpp
		Þ	++ MenuScene.cpp
		Þ	++ PrimitiveCircle.cpp
	Þ	++	InputInnerSilhouette.cpp
	Þ	++	InputVertex.cpp
	Þ	++	MainScene.cpp
		SO	IL.lib

รายละเอียดในส่วนของโครงสร้าง

Model3D_Data.h 🔁 🗙					
(Global Scope) -					
1 #pragma once					
3					
4 #include <vector></vector>					
5 #include "Model3D_Line_Data.h"					
7 using namespace std;					
9 戶class Model3D_Data{					
10 public:					
11 vector <model3d_line_data*> line;</model3d_line_data*>					
13 int pointPerLine;					
14 Model3D_Data(int pointPerLine, bool silhouetteType, bool extrusionType);					
15 };					



Model3D_Line_Data.h 🗢 🗙	
(Global Scope)	
1 #pragma once 2 ⊟#include <iostream> 3 #include <vector></vector></iostream>	
<pre>4 [#include "Model3D_Vertex_Data.h" 5 6 using namespace std; 7</pre>	
7 8 ⊟class Model3D_Line_Data{	
<pre>9 public: 10 vector<model3d_vertex_data*> vertex; 11 bool state; 12 double lineMag; 13 multiple state;</model3d_vertex_data*></pre>	
13 Model3D_Line_Data(); 14 15 private: 16 _}; 17	

```
1 ⊟#include "Model3D_Vertex_Data.h"
2 [#include <iostream>
              this->y2 = NULL;
this->z2 = NULL;
             this >u = NULL;
this >u2 = NULL;
this >v2 = NULL;
             this->mag = NULL;
this->mag2 = NULL;
              this->angle = NULL;
              this->angle2 = NULL;
              this->opened = false;
this->closed = false;
              this->indexOpenOld = 0;
              this->x2 = x2;
this->y2 = y2;
this->z2 = NULL;
             this->mag = NULL;
this->mag2 = NULL;
this->angle = NULL;
this->angle2 = NULL;
              this->opened = false;
this->closed = false;
              this->indexClosedOld = 0;
              this->countLeftSize = 0;
```

## ภาคผนวก ข ตัวอย่างไฟล์ OBJ ที่ถูกบันทึก

### ตัวอย่างไฟล์ OBJ

Name	Date modified	Туре	Size
a) export1	17/11/2559 21:21	OBJ File	16 KB
export2	17/11/2559 21:24	OBJ File	66 KB
export3	17/11/2559 21:28	OBJ File	16 KB
export4	17/11/2559 21:31	OBJ File	19 KB
export5	17/11/2559 21:45	OBJ File	18 KB

## ข้อมูลในไฟล์ OBJ

v	-152.250000	-212.000000 0.000000
٧	-153.250000	-168.292579 0.132475
v	-153.270551	-153.712283 0.176656
v	-154.250000	-139.166189 0.220833
۷	-154.250000	-124.585159 0.265016
v	-154.250000	-110.004129 0.309199
v	-154.291102	-95.424565 0.353377
۷	-155.250000	-80.877738 0.397552
۷	-155.250000	-66.296708 0.441735
٧	-155.335432	-51.718523 0.485910
v	-156.250000	-37.167945 0.530088
v	-156.250000	-8.005886 0.618453
۷	-156.354777	6.571656 0.662627
٧	-157.250000	21.122878 0.706803
v	-157.250000	35.703908 0.750986
۷	-157.176638	78.920024 0.881938
٧	-146.151153	88.461491 0.926120
۷	-135.627939	98.544303 0.970282
v	-5.250000 21	15.000000 1.500000
۷	-110.250000	-214.000000 17.000000
۷	-107.458187	-173.249122 17.000000
۷	-107.250000	-159.547490 17.000000
۷	-107.250000	-145.828629 17.000000
۷	-106.558417	-132.158916 17.000000
۷	-106.250000	-118.461973 17.000000
۷	-107.250000	-104.825874 17.000000
v	-110.203892	-91.615270 17.000000
v	-115.268639	-78.869525 17.000000
v	-115.409095	-65.272759 17.000000

```
v -74.250000 -22.017969 -16.500000
v -71.594142 -10.064852 -16.500000
v -58.150811 24.297567 -16.499977
v -56.162026 36.308773 -16.499921
vt 0.031250 0.004662 [0]
vt 0.025000 0.106544 [0]
vt 0.024872 0.140531 [0]
vt 0.018750 0.174438 [0]
vt 0.018750 0.208426 [0]
vt 0.018750 0.242415 [0]
vt 0.018493 0.276400 [0]
vt 0.012500 0.310308 [0]
vt 0.012500 0.344297 [0]
vt 0.011966 0.378279 [0]
vt 0.006250 0.412196 [0]
vt 0.006250 0.480173 [0]
```

```
vt 0.619370 0.555472 [0]
vt 0.631800 0.583470 [0]
f 40/40 129/129 130/130 41/41
f 41/41 130/130 131/131 42/42
f 42/42 131/131 132/132 43/43
f 43/43 132/132 133/133 44/44
f 44/44 133/133 134/134 45/45
f 45/45 134/134 135/135 46/46
f 47/47 136/136 137/137 48/48
f 48/48 137/137 138/138 49/49
f 49/49 138/138 139/139 50/50
f 50/50 139/139 140/140 51/51
f 51/51 140/140 141/141 52/52
f 52/52 141/141 142/142 53/53
f 53/53 142/142 143/143 54/54
f 54/54 143/143 144/144 55/55
```

### ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์
วันเดือนปีเกิด	26 กันยายน 2533
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2555: วิทยาศาสตรบัณฑิต
	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	2556 - 2557: ทุนการศึกษาเรียนดี ประเภท ข

ผลงานทางวิชาการ

ทรงวุฒิ เจียมศรีสุคนธ์. "การสร้างโครงสร้างตาข่ายแบบสี่เหลี่ยม 3มิติ จากการวาดเพื่อสร้างอาวุธ มีคมที่มีช่องว่าง" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.