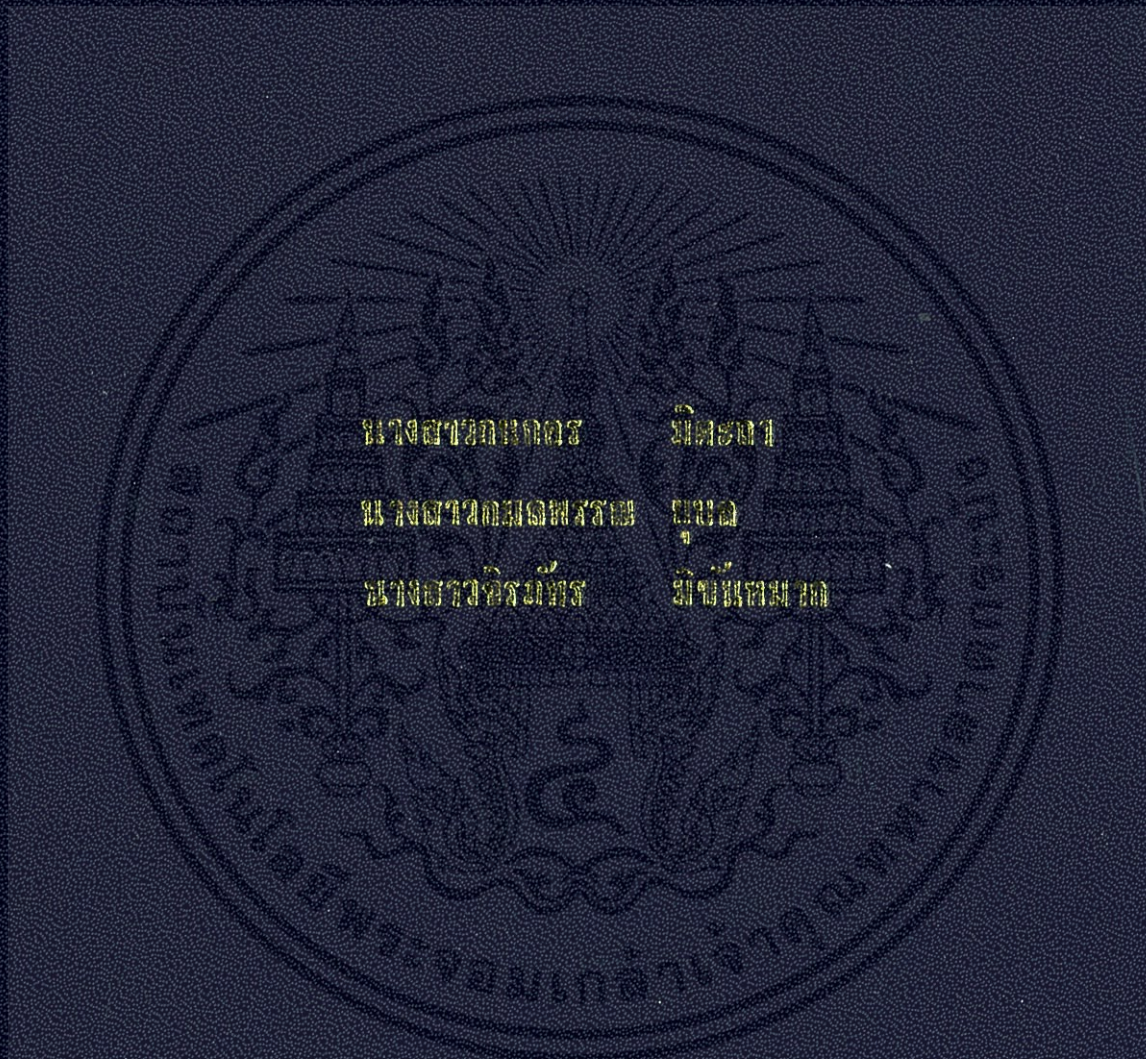


การจำลองการเจริญเติบโตของราบนพื้นผิวสามมิติ
SIMULATING MOLD GROWTH ON THREE-DIMENSIONAL



นางสาวกนกพร	นิเทศา
นางสาวกมลพร	บุญดี
นางสาวจิรฉัตร	อินทร์นอก

โครงการพัฒนาเป็นงานหนึ่งของภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การจำลองการเจริญเติบโตของราบนวัตถุสามมิติ
Simulating Mold Growth on Three-Dimensional



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คณะวิทยาศาสตร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

SIMULATING MOLD GROWTH ON THREE-DIMENSIONAL



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN COMPUTER SCIENCE**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADAMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การจำลองการเจริญเติบโตของราบนพื้นผิวสามมิติ
 Simulating Mold Growth on Three-Dimensional

นักศึกษา นางสาวกนกอร มิตะธา รหัสนักศึกษา 53050922
 นางสาวกมลพรรณ ขุบล รหัสนักศึกษา 53050923
 นางสาวจิรภัทร มิชันหมาก รหัสนักศึกษา 53050953

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. กรกช ประชุมรัมย์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล ประธานกรรมการ	
อ.วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ กรรมการ	
ผศ.ดร.กรกช ประชุมรัมย์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การจำลองการเจริญเติบโตของราบนพื้นผิวสามมิติ	
นักศึกษา	นางสาว กนกอร มิตะธา	รหัสนักศึกษา 53050922
	นางสาว กลมพรรณ ยูบล	รหัสนักศึกษา 53050923
	นางสาว จิรภัทร มิชันหมาก	รหัสนักศึกษา 53050953
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. กรกช ประชุมรัมย์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาการแสดงผลโมเดลสามมิติทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ด้วยวิธีใหม่คือการใช้เซลล์ลูลาร์ออโตมาตาแบบสามเหลี่ยม (Triangular Cellular Automata) มาแสดงการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของโมเดล แทนการใช้เซลล์แบบสี่เหลี่ยมที่ใช้กันโดยทั่วไป เนื่องจากโมเดลสามมิติที่ถูกพัฒนาสร้างขึ้นมาจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการสร้างโมเดลสามมิติ เช่น 3DS Max และอื่นๆ นั้น จะสร้างโมเดลสามมิติเป็นโครงรูปสามเหลี่ยม ดังนั้น ถ้าสามารถนำหลักการเซลล์ลูลาร์ออโตมาตาแบบสามเหลี่ยมมาใช้กับโมเดลพวกนี้ จะทำให้สามารถแสดงพื้นผิวสามมิติ การให้แสงเงา(rendering) แก่วัตถุซึ่งเคยใช้เวลามาก ให้เป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

โดยโครงการพิเศษนี้ นำเสนอทฤษฎี รวมทั้งตัวอย่างการนำไปใช้ เช่น การจำลองการขึ้นราบนเนื้อไม้ พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีนี้กับทฤษฎีอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Simulating Mold Growth on Three-Dimensional
Students	Miss Kanok-on Mithatha Miss Kamonpun Yubol Miss Jiraphat Mikhanmak
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Computer Science
Academic Year	2013
Advisor	Asst. Prof. Dr Korakot Prachumrak

ABSTRACT

Cellular automata is a group of square grid cells. Each cell has its own state which can be defined by rules and neighbourhood cells. This special project develops a new approach to simulate surface changes of 3D models by using Triangular Cellular Automata. This special project proposes Triangular Cellular Automata instead of normal Square Cellular Automata for surface changes because normal 3D models created from 3D application programs, such as 3DS Max, MAYA are in form of triangle meshes. As a normal 3D model is in form of triangles, when being applied by the triangular cellular automata rules, it is faster than applying normal square cellular automata to simulate.

This special project presents the triangular automata theory and its applications, for example simulation of mold on wood.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษการจำลองการเจริญเติบโตของรายนวัตถุสามมิตินี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากหลายๆฝ่าย ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กรกช ประชุมรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ รศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผลและอ.วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ ที่ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้มีประสิทธิภาพและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ นางสาวเจนจิรา ชัชวาลย์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการตอบปัญหาด้านซอฟต์แวร์โลบราตีโอเพ่นจีแอล(OpenGL) และปัญหาในด้านการเขียนโปรแกรม

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจให้ตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่สนับสนุนการศึกษา คอยอบรมสั่งสอน คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาคุณดูแลเรื่องค่าใช้จ่ายต่างๆระหว่างการศึกษา จนสามารถสำเร็จการศึกษาได้ตามที่หวังไว้

นางสาวกนกอร มิตะถา

นางสาวกมลพรรณ ยุบล

นางสาวจิรภัทร มิชันหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	X

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 เชื้อราทำลายไม้	4
2.1.2 การจำลองสภาพอากาศ	6
2.2 ทฤษฎีเซลล์ลูตาร้อโตมาตา	8
2.3 ธรรมชาติของเนื้อไม้	12

บทที่ 3 การจำลองวัตถุสามมิติ

3.1 การสร้างวัตถุสามมิติ	13
3.2 การนำเข้าข้อมูลของวัตถุสามมิติ	15

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 การคำนวณหาเซลล์เพื่อนบ้าน	23
3.4 ความน่าจะเป็นของจำนวนเพื่อนบ้านในเซลล์กริดแบบสามเหลี่ยม	39
3.5 การดำเนินการตามกฎในทฤษฎีเซลล์ลูลาร็อค โดมาตาแบบสามเหลี่ยม	40
3.6 ขั้นตอนการให้แสงสี	42
3.7 หลักการในการจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้	43
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	45
4.1.1 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์	45
4.1.2 ส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์	45
4.2 ลักษณะข้อมูลและวัตถุสามมิติที่นำมาใช้การทดลอง	45
4.3 ผลการทดลอง	46
4.3.1 ผลการทดลอง โดยใช้ฟังก์ชันเรนดอมในภาษาซี กำหนดจุดเริ่มต้นของการเจริญเติบโตของราขาว	46
4.3.2 ผลการเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราขาว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส	63
4.3.3 ผลการเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราขาว เมื่อเปรียบเทียบกับรูปต้นแบบ	91
บทที่ 5 สรุปผลและแนวการพัฒนา	
5.1 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	93
5.2 แนวทางการพัฒนา	93

เอกสารอ้างอิง 94
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เชื้อราที่ทำให้ไม้เสียสี[1]	5
2.2 เชื้อราผิวไม้[1]	5
2.3 จำลองการเกิดไลเคนสีเขียวบนหิน[2]	6
2.4 การจำลองการเจริญเติบโตของมอสอย่างละเอียดบนพื้นผิวที่แตก[2]	7
2.5 แสดงเซลล์รอบข้างแบบมัวร์	8
2.6 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์โดยใช้กฎ 23/3	10
2.7 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์โดยใช้กฎ 34/4	11
2.8 แสดงลักษณะการเกิดราบนเนื้อไม้[3]	12
3.1 โปรแกรม Autodesk 3ds Max	13
3.2 รูปทรงโมเดลสามมิติบนโปรแกรม Autodesk 3ds Max	13
3.3 วิธีการ export file	14
3.4 วิธีการ export file	14
3.5 โมเดลกล่องสี่เหลี่ยมแบบสามมิติ	15
3.6 แสดงตำแหน่งการกำหนดจุดใน โมเดลสามมิติ	15
3.7 คำสั่งเริ่มทำการวาดรูปสามเหลี่ยม	16
3.8 คำสั่งการนำจุดกำหนดจุดที่ $a(x,y,z)$	17
3.9 การนำจุดกำหนดจุดที่ $a(x,y,z)$	17
3.10 คำสั่งการนำจุดกำหนดจุดที่ $b(x,y,z)$	17
3.11 การนำจุดกำหนดจุดที่ $b(x,y,z)$	18
3.12 คำสั่งการนำจุดกำหนดจุดที่ $c(x,y,z)$	18
3.13 การนำจุดกำหนดจุดที่ $c(x,y,z)$	18
3.14 แสดงการวาดสามเหลี่ยมจากจุด abc	19
3.15 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 1,2	19
3.16 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 3,4	20
3.17 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 5,6	20
3.18 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 7,8	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีผู้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 9,10	21
3.20 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 11,12	22
3.21 แสดงผลลัพธ์ที่แสดงโดย OpenGL	22
3.22 แสดงตัวอย่างการสร้างโครงสร้างสามเหลี่ยมบนโมเดลข้าง	23
3.23 ตัวอย่างเซลล์กริดสามเหลี่ยม abc ที่มีสามเหลี่ยมสี่เหลี่ยมเป็นเซลล์เพื่อนบ้าน	24
3.24 ตัวอย่างที่นำมาแสดงการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1	24
3.25 แสดงรายละเอียดของแต่ละสามเหลี่ยมที่ทำการหาเพื่อนบ้าน	25
3.26 โค้ดแสดงเงื่อนไขในการหาเพื่อนบ้าน	26
3.27 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด a กับ จุด a	27
3.28 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด a กับ จุด b	28
3.29 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด a กับ จุด c	29
3.30 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด b กับ จุด a	30
3.31 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด b กับ จุด b	31
3.32 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด b กับ จุด c	32
3.33 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด c กับ จุด a	33
3.34 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด c กับ จุด b	34
3.35 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด c กับ จุด c	35
3.36 แสดงว่าสามเหลี่ยม S_1 และสามเหลี่ยม S_2 เป็นเพื่อนบ้านกัน	36
3.37 โมเดลที่จะทำการแสดงการนับเพื่อนบ้าน	36
3.38 ส่วนของสามเหลี่ยม abc ที่จะทำการนับเพื่อนบ้าน	37
3.39 แสดงเซลล์ที่เป็นเซลล์เพื่อนบ้านของสามเหลี่ยมสีแดง	37
3.40 แสดงจำนวนเพื่อนบ้านของแต่ละสามเหลี่ยม	38
3.41 แสดงจำนวนเพื่อนบ้านของแต่ละสามเหลี่ยม	38
3.42 แสดงจำนวนเพื่อนบ้านของเซลล์สี่เหลี่ยมทั้งหมด 15 เซลล์	40
3.43 แสดงการเปลี่ยนสถานะของเซลล์สีแดง ตามกฎ 123456789/12	40
3.44 แสดงการเปลี่ยนสถานะของเซลล์สี่เหลี่ยม ตามกฎ 123456789/12	41
3.45 แสดงการเปลี่ยนสถานะของเซลล์สี่เหลี่ยม ตามกฎ 123456789/12	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.46 ฟังก์ชันการให้แสงสีให้เกิดเป็นรูปทรงสามมิติ	43
3.47 แสดงหลักการในการจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้	44
4.1 แสดงรูปทรงของกระต่ายสแตนฟอร์ด บนโปรแกรม 3d Max	46
4.2 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของกระต่ายสแตนฟอร์ด	47
4.3 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของกระต่ายสแตนฟอร์ด	47
4.4 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนกระต่ายสแตนฟอร์ด	48
4.5 แสดงรูปทรงของศีรษะมนุษย์ บนโปรแกรม 3d Max	49
4.6 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของศีรษะมนุษย์	50
4.7 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของศีรษะมนุษย์	50
4.8 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนศีรษะมนุษย์	51
4.9 แสดงรูปทรงของช้าง บนโปรแกรม 3d Max	52
4.10 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของช้าง	53
4.11 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของช้าง	53
4.12 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนช้าง	54
4.13 แสดงรูปทรงของวัว บนโปรแกรม 3d Max	55
4.14 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของวัว	55
4.15 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของวัว	56
4.16 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนวัว	56
4.17 แสดงรูปทรงของชุดโต๊ะเก้าอี้ บนโปรแกรม 3d Max	57
4.18 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของชุดโต๊ะเก้าอี้	57
4.19 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนชุดโต๊ะเก้าอี้	58
4.20 แสดงรูปทรงของขอนไม้ บนโปรแกรม 3d Max	59
4.21 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของขอนไม้	59
4.22 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของขอนไม้	59
4.23 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนขอนไม้	60
4.24 แสดงรูปทรงของม้านั่ง บนโปรแกรม 3d Max	61
4.25 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของม้านั่ง	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของม้านั่ง	61
4.27 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของรabanม้านั่ง	62
4.28 ภาพถ่ายต้นแบบที่นำมาทำการจำลองเปรียบเทียบ	91
4.29 โมเดลสั้ม	91
4.30 แสดงผลการจำลองการเกิดรabanสั้ม	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อัตราความน่าจะเป็นของจำนวนเพื่อนบ้านเซลล์กริดแบบสามเหลี่ยม	39
4.1 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนกระดาษสแตนฟอร์ด	64
4.2 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนสิริษะมนุษย์	67
4.3 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนช้าง	70
4.4 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนวัว	73
4.5 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนชุดโต๊ะเก้าอี้	75
4.6 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนขอนไม้	77
4.7 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนม้านั่ง	79
4.8 เปรียบเทียบรายละเอียด โครงสร้างวัตถุสามมิติของการจำลอง การเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส	82
4.9 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสร้าง โครงสร้างวัตถุสามมิติ และระยะเวลา ในการจำลองของการเจริญเติบโตของราชว กับการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส	83
4.10 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราชวบนกระดาษสแตนฟอร์ด เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน	84
4.11 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราชวบนสิริษะมนุษย์ เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน	85
4.12 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราชวบนช้าง เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนร้าว เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน	87
4.14 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนชุดโต๊ะเก้าอี้ เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน	88
4.15 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนขอนไม้ เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน	89
4.16 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนม้านั่ง เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ทุกๆ สิ่งก่อสร้างล้วนได้รับผลกระทบจากสภาพดินฟ้าอากาศด้วยกันทั้งสิ้น เช่น การเกิดคราบน้ำ คราบเขม่าดำ ตะไคร้น้ำ แม้กระทั่งการกัดกร่อนเป็นเวลานาน การนำเสนอ ผลกระทบที่มีต่อสิ่งก่อสร้างในปัจจุบัน ทั้งในระยะยาวและระยะสั้น สามารถช่วยวางแผนปกป้องสถาปัตยกรรมไว้ได้ ในการศึกษาเป็นการใช้ประโยชน์จาก แบบจำลองวัตถุสามมิติ เพื่อจำลองวิวัฒนาการ ภายใต้ความแตกต่างของผลกระทบจากสภาพอากาศ

เนื่องจากปัจจุบันมีการจำลองวัตถุสามมิติในหลากหลายรูปแบบ โดยใช้ทฤษฎีหลายทฤษฎีในการจำลอง ในปัญหาพิเศษนี้ เราสนใจทฤษฎีเซลล์ลาร์ออตโตมาตา โดยได้นำทฤษฎีมาประยุกต์ใช้กับการเขียนโปรแกรมเพื่อจำลอง และสร้างภาพสามมิติที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับวัตถุอย่างต่อเนื่อง ณ เวลาต่างๆ เช่น การจำลองการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต โดยสภาพแวดล้อมตามเวลาที่ผ่านไป เป็นต้น ดังนั้น ในปัญหาพิเศษนี้จึงนำเสนอวิธีในการจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเนื้อไม้ โดยใช้ทฤษฎีเซลล์ลาร์ออตโตมาตา และหลักการจากทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบนวัตถุสามมิติด้วยเซลล์ลาร์ออตโตมาตาแบบสามเหลี่ยม โดยเป็นการพัฒนามาจากทฤษฎีเซลล์ลาร์ออตโตมาตาแบบสี่เหลี่ยม เพื่อการทำงานที่เร็วขึ้นของการจำลองจึงได้ทำการวิจัยแบบใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับทฤษฎีแบบสี่เหลี่ยม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีเซลล์ลาร์ออตโตมาตาแบบสามเหลี่ยม
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบนวัตถุสามมิติด้วยเซลล์ลาร์ออตโตมาตา
3. นำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้เพื่อนำมาเลียนแบบการเจริญเติบโตของราที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องบนเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

ทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกนำไปจำลองธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต ในปัญหาพิเศษนี้จึงเลือกทฤษฎีดังกล่าวมาใช้ เพราะมีลักษณะตรงกับธรรมชาติของรา ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่เจริญเติบโตบนเนื้อไม้อยู่ 2 ประการ คือ ประการที่หนึ่ง สิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบไปด้วยหน่วยที่เล็กที่สุด เรียกว่า เซลล์ ตรงกับเซลล์ลูลาร์อโตมาตาที่มีหน่วยย่อยที่สุด คือ เซลล์กริด ประการที่สอง เซลล์แต่ละเซลล์อาจเกิดขึ้นใหม่ได้ มีชีวิตหรือตายได้ ซึ่งตรงกับสถานะของเซลล์กริดที่สามารถกำหนดให้มีชีวิตหรือตาย ส่วนทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบนวัตถุสามมิติด้วยเซลล์ลูลาร์อโตมาตา เป็นทฤษฎีที่ทำให้สามารถนำเซลล์ลูลาร์อโตมาตามาใช้บนวัตถุสามมิติ ในปัญหาพิเศษนี้ได้นำทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตาแบบสามเหลี่ยม และทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบนวัตถุสามมิติด้วยเซลล์ลูลาร์อโตมาตามาใช้ โดยคาดว่าทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตาซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกับธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต 2 ประการ คือ เซลล์กริดและสถานะของเซลล์นั้น จะเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องบนเนื้อไม้จากการเจริญเติบโตของรา

1.4 ขอบเขตของโครงการ

ทำการศึกษาทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตา และทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบนวัตถุสามมิติด้วยเซลล์ลูลาร์อโตมาตาแบบสามเหลี่ยม และนำมาพัฒนาโดยใช้ภาษาซี (C Language) และซอฟต์แวร์ไลบรารีโอเพ่นจีแอล (OpenGL) ในการจำลองการเจริญเติบโตของรบบนเนื้อไม้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต้องการของโครงการ
2. วางแผนขั้นตอนการทำงาน
3. ศึกษาหลักการเขียน โปรแกรม เช่น ภาษาซี
4. ศึกษาไลบรารีของโอเพ่นจีแอล
5. ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ลูลาร์อโตมาตาแบบสามเหลี่ยม
6. ทำการป็น โมเดลที่จำลองในงานวิจัยนี้
7. นำไปประยุกต์ใช้กับ โปรแกรม และเปรียบเทียบกับ โปรแกรมที่ใช้ทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตาแบบสี่เหลี่ยม

8. สรุปผลและจัดทำเอกสาร รายงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เรียนรู้การเจริญเติบโตของรบบเนื้อไม้
2. สามารถนำทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตามาประยุกต์ใช้กับการเขียนโปรแกรม
3. ยืนยันว่าการจำลองแบบไหนให้ผลการเกิดที่เร็วกว่ากันระหว่างงานวิจัยที่ใช้ทฤษฎีอโตมาตาแบบสามเหลี่ยม กับทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตาแบบสี่เหลี่ยม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทความนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจะแบ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีเซลล์ลูตารอโตมาตา และธรรมชาติของเชื้อรา ซึ่งจะมีรายละเอียดในแต่ละส่วน ดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึง

- งานวิจัยเกี่ยวกับเชื้อราทำลายไม้
- การจำลองสภาพอากาศ

2.1.1 เชื้อราทำลายไม้ (Wood Destroying Fungi)

เชื้อราทำลายไม้เป็นศัตรูทำลายไม้ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้ไม้เสื่อมสภาพการทำลายของเชื้อราแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกันเนื่องจากความต้องการอาหารแตกต่างกัน

1. เชื้อราที่ทำให้ไม้เสียสี (Stain Fungi)

เชื้อราประเภทนี้ไม่ทำให้ไม้ผุ แต่ทำให้ไม้มีสีผิดปกติ ส่วนใหญ่เป็นสีที่ไม่ใช่สีธรรมชาติ เช่น น้ำเงิน เหลือง เขียว ดำ เป็นบริเวณกว้างหรือเป็นจุดกระจาย ซึ่งการเปลี่ยนสีของไม้เกิดขึ้น เพราะเม็ดสี (pigment) เชื้อรานี้จะเข้าทำลายไม้หลังจากที่โคนตัดฟัน โดยสปอร์ปลิวมาตกบนไม้แล้วจึงเจริญเติบโตเข้าไปในเนื้อไม้ ถ้าความชื้นในบรรยากาศสูง ความชื้นที่ทำให้หน้าไม้ยังไม้แห้งหรือมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา เชื้อราจะสร้างสปอร์และเส้นใยขึ้นที่ผิวหน้าไม้ ทำให้มองเห็นเป็นสีดำ ๆ แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศน้อย ซึ่งทำให้ผิวหน้าไม้แห้ง เส้นใยของเชื้อราจะเจริญเติบโตเข้าไปในเนื้อไม้เพียงอย่างเดียว จึงทำให้ลักษณะไม้ภายนอกไม่มีเชื้อราเข้าไปทำลาย เมื่อไม้เข้าสู่กระบวนการแปรรูปจึงจะเห็นเป็นสีของเชื้อราที่เข้าทำลายไม้ เชื้อราเหล่านี้ยังสามารถเข้าทำลายเนื้อไม้ได้ในระยะที่แปรรูป และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เชื้อราที่ทำให้ไม้เสียสี[1]

2. เชื้อราผิวน้ำ (Mold Fungi)

เชื้อราประเภทนี้จะเกิดบนผิวน้ำเท่านั้น ไม่เจริญเติบโตเข้าไปในเนื้อไม้ ทำให้เห็นเป็นสีต่างๆ ซึ่งเกิดจากสปอร์และเส้นใยของเชื้อรา ทำให้เสียสีเฉพาะผิวนอก มักเกิดกับไม้ที่ยังคงมีความชื้นอยู่ และไม้ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น



รูปที่ 2.2 เชื้อราผิวน้ำ[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การจำลองสภาพอากาศ

พืช

จากหัวข้อก่อนหน้า ทุกๆผลกระทบมีความสัมพันธ์กันกับพื้นผิวของตึก ในทางธรรมชาติ กระแสน้ำไหลก่อให้เกิดคราบดำ และการกัดกร่อน ในทางที่คล้ายกัน ความชื้นมีส่วนในการทำให้เกิดผลกระทบทางสภาพอากาศ คือ การเจริญเติบโตของพืช

เราระบุประเภทของพืชเป็น 2 รูปทรง

- พื้นผิวสามารถกำหนดค่าเปลี่ยนแปลงของตึกได้โดยตรง
- ปริมาณการแพร่พันธุ์ คือ การเกิดเซลล์ใหม่ที่มีความสอดคล้องกัน

พืช 2-D (เช่น ไลเคน)

ไลเคนมีขั้นตอนในการสร้าง 3 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างสปอร์บนพื้นผิวของวัตถุจากการลู่หรือการกำหนดของผู้ใช้ การแพร่กระจายของไลเคน และการสร้างไลเคนตามอายุ ไลเคนมีการแพร่กระจายบนพื้นผิว มีหลายประเภทโดยแบ่งแยกจากสีและพฤติกรรมของไลเคน

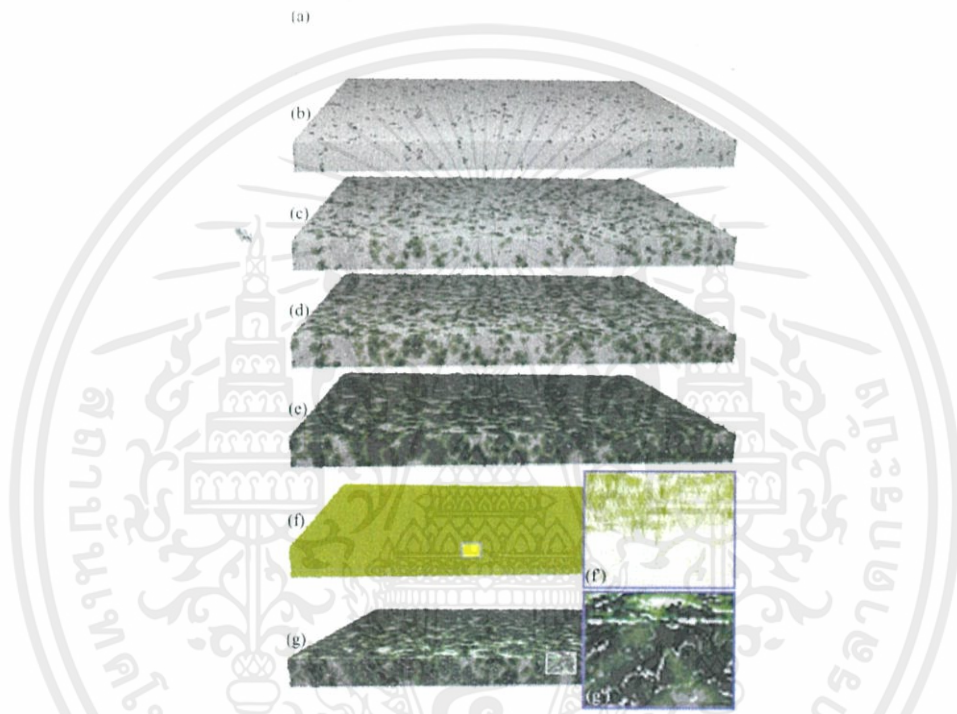


รูปที่ 2.3 จำลองการเกิดไลเคนสีเขียวบนหิน[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืช 3-D (เช่น มอส)

มอส ในการทำพื้นผิวของวัตถุ จะใช้เทคนิคการทำพื้นผิวหลายผิว เทคนิคการทำพื้นผิวสังเคราะห์ หรือ เทคนิคการแปะพื้นผิวโดยใช้การแทนที่ มอสสามารถถูกพบได้ทุกที่แต่อย่างไรก็ตามมันต้องการน้ำและแสงมากกว่าการเกิดไลเคน มอสจะเกิดได้ง่ายขึ้นในที่ที่มีน้ำขัง แม้ว่าสิ่งก่อสร้างนั้นจะมีพื้นที่ใหญ่โตแต่การแพร่กระจายของมอสก็เข้าถึง



รูปที่ 2.4 การจำลองการเจริญเติบโตของ มอสอย่างละเอียดบนพื้นผิวที่แตก[2]

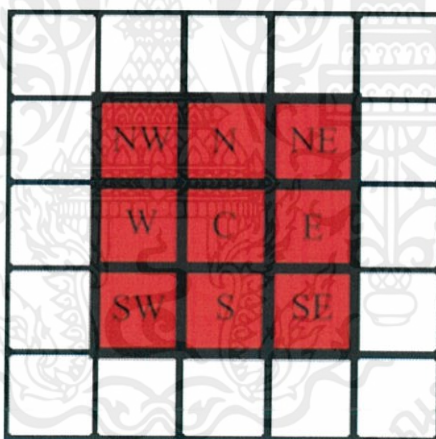
- (a) ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของระบบสามมิติ
- (b)-(e) การเกิดขึ้นของมอส
- (f) แสดงความซับซ้อนของโครงสร้างของมอสที่เกิดขึ้น
- (g) เป็นการพิสูจน์ว่าการแพร่พันธุ์ของมอสมักเกิดขึ้น ก่อนในพื้นที่ที่มีน้ำไปจนถึงพื้นที่ที่มีรอยแตกร้าว และรูเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีเซลล์ลูตารอโตมาตา

เซลล์ลูตารอโตมาตา คือ กลุ่มของเซลล์ที่อยู่บนกริด และเซลล์รอบข้าง (Neighborhood cell) จะเป็นข้อกำหนดสถานะของเซลล์ในแต่ละรอบเซลล์ลูตารอโตมาตามีส่วนประกอบ ดังนี้

- 1) เซลล์กริด คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของเซลล์ลูตารอโตมาตา ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หรือแปดเหลี่ยม เป็นต้น โดยแต่ละแบบจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน เมื่อใช้กฎและจำนวนรอบที่เท่ากัน
- 2) สถานะของเซลล์ในแต่ละรอบเซลล์จะมีสถานะได้ 1 สถานะ เช่น มีชีวิต/ตาย, เปิด/ปิด, 0/1 เป็นต้น
- 3) เซลล์รอบข้างของเซลล์ลูตารอโตมาตา ได้มีการกำหนดไว้หลายรูปแบบ ซึ่งในปัญหาพิเศษนี้ได้ใช้เซลล์รอบข้างแบบมัวร์ (Moore Neighborhood) โดยจะเป็นรูปแบบที่เซลล์มีเซลล์รอบข้างทั้งหมด 8 เซลล์ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงเซลล์รอบข้างแบบมัวร์

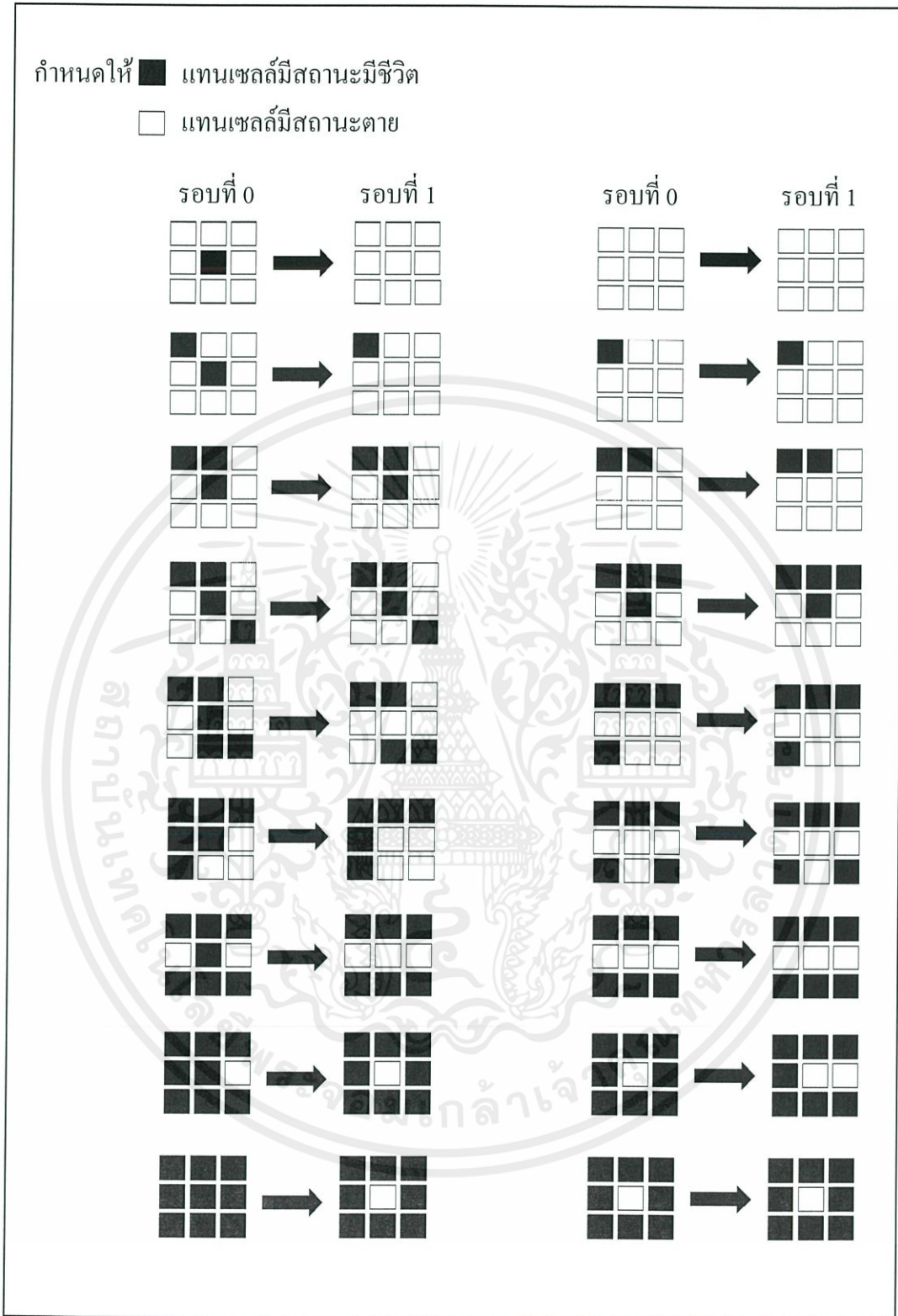
กำหนดให้ C คือ เซลล์ปัจจุบัน N คือ เซลล์ทางทิศเหนือ
 W คือ เซลล์ทางทิศตะวันตก S คือ เซลล์ทางทิศใต้
 E คือ เซลล์ทางทิศตะวันออก
 NW คือ เซลล์ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
 SW คือ เซลล์ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้
 SE คือ เซลล์ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้
 NE คือ เซลล์ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

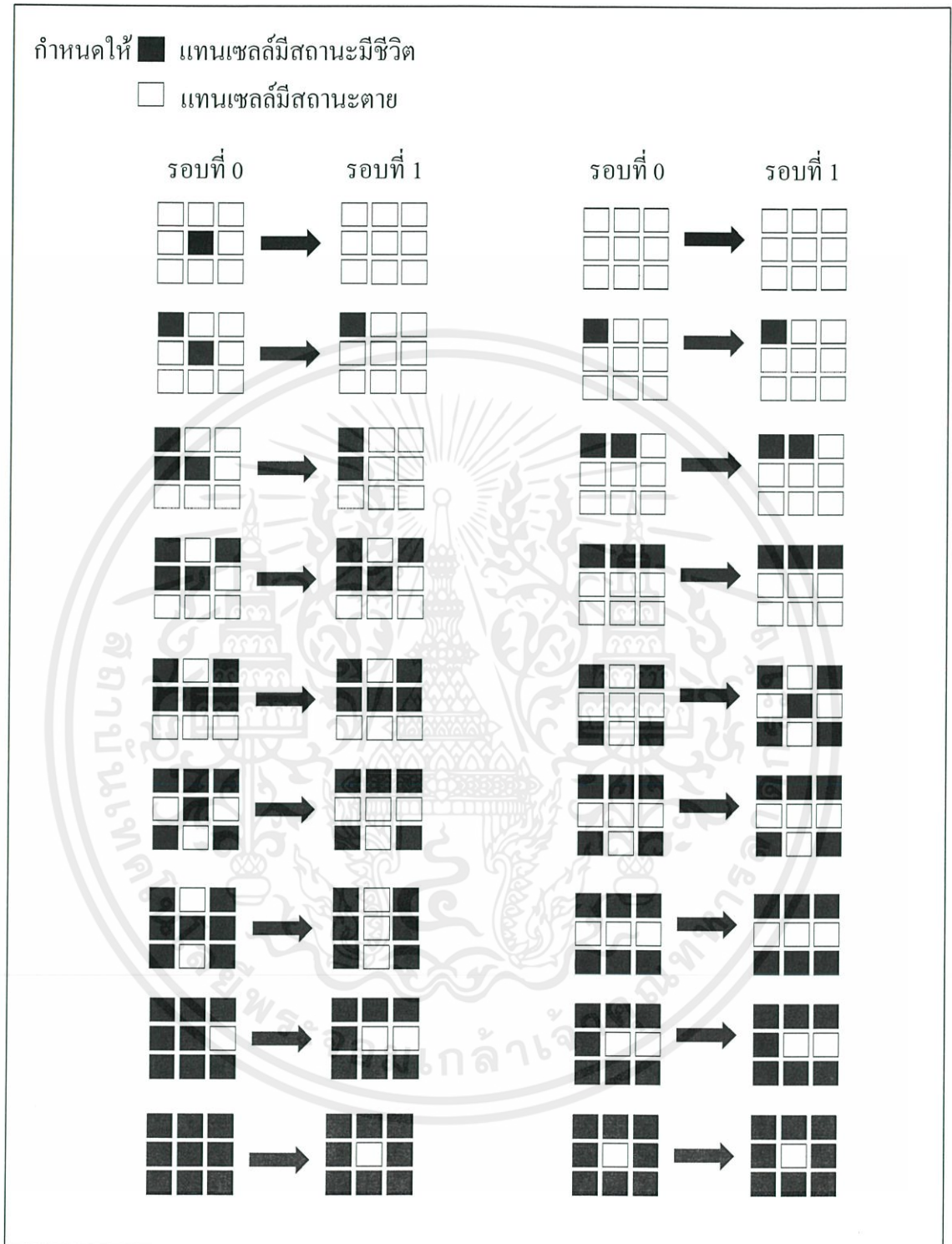
- 4) จำนวนรอบ เซลล์คู่หรือโคมิตาจะแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์ในแต่ละรอบ
- 5) กฎเป็นข้อกำหนดสถานะของเซลล์ในแต่ละรอบ โดยใน ค.ศ.1970 John Conway ได้นำเสนอ “Game of life” เป็นเซลล์คู่หรือโคมิตาบนกริดสองมิติ โดยแต่ละเซลล์มีเซลล์รอบข้างทั้งหมด 8 เซลล์ การเปลี่ยนแปลงสถานะจะขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์และเซลล์รอบข้างทั้ง 8 เซลล์ โดยมีกฎดังนี้
 - เซลล์จะมีสถานะตาย ก็ต่อเมื่อ เซลล์มีสถานะมีชีวิต และเซลล์รอบข้างมีสถานะมีชีวิตน้อยกว่า 2 หรือมากกว่า 3 เซลล์
 - เซลล์จะมีสถานะมีชีวิต ก็ต่อเมื่อ เซลล์มีสถานะมีชีวิต และมีเซลล์รอบข้างมีสถานะมีชีวิต 2 หรือ 3 เซลล์
 - เซลล์จะมีสถานะมีชีวิต ก็ต่อเมื่อเซลล์มีสถานะเป็นตาย และมีเซลล์รอบข้างมีสถานะมีชีวิต 3 เซลล์ เรียกว่า การเกิดใหม่

จากกฎที่ได้กล่าวไว้สามารถเขียนอยู่ในรูป S/B ได้เป็น 23/3 ซึ่ง S คือ จำนวนของเซลล์รอบข้างหรือเซลล์เพื่อนบ้านที่มีสถานะมีชีวิต เมื่อตัวมันเองมีสถานะเป็นมีชีวิต และ B คือ จำนวนของเซลล์รอบข้างที่มีสถานะมีชีวิต เมื่อตัวมันเองมีสถานะตาย แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.6 และ กฎ 34/4 รูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์โดยใช้กฎ 23/3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ งานในเอกสารนี้เผยแพร่โดยไม่หวังประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

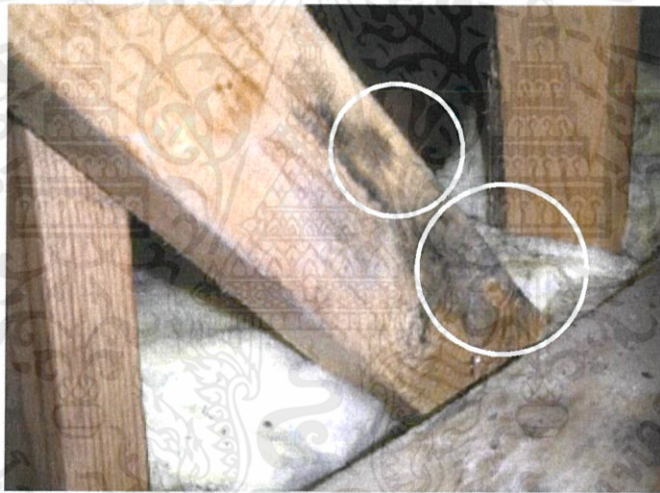


รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์โดยใช้กฎ 34/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ธรรมชาติของเนื้อไม้

เนื้อไม้เป็นวัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติถูกนำไปใช้ประโยชน์มากมายทั้งเป็นวัสดุในการก่อสร้าง เครื่องตกแต่ง และเครื่องใช้ทั้งภายในและภายนอกที่อยู่อาศัย เนื้อไม้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาเช่นเดียวกับวัสดุชนิดอื่นๆ โดยอาจเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น แสง ลม ความชื้น ซึ่งทำให้เนื้อไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนสี การเกิดรอยแตก การผุพัง หรือเกิดสิ่งมีชีวิตขึ้นบนเนื้อไม้ เช่น มอส ไส้เดือน และรา เป็นต้น และเนื่องจากปัญหาพิเศษนี้ได้ทำการจำลองการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเนื้อไม้ คือการจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้ โดยลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ราที่เกิดขึ้นบนเนื้อไม้มีลักษณะเป็นสีดำหรือสีขาว กระจายอยู่ทั่วไปบนเนื้อไม้ที่ยังคงมีความชื้นอยู่ จะอยู่บนผิวไม้ไม่เจริญเติบโตเข้าไปในเนื้อไม้ สามารถปัดหรือขัดออกได้



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเกิดราบนเนื้อไม้[3]

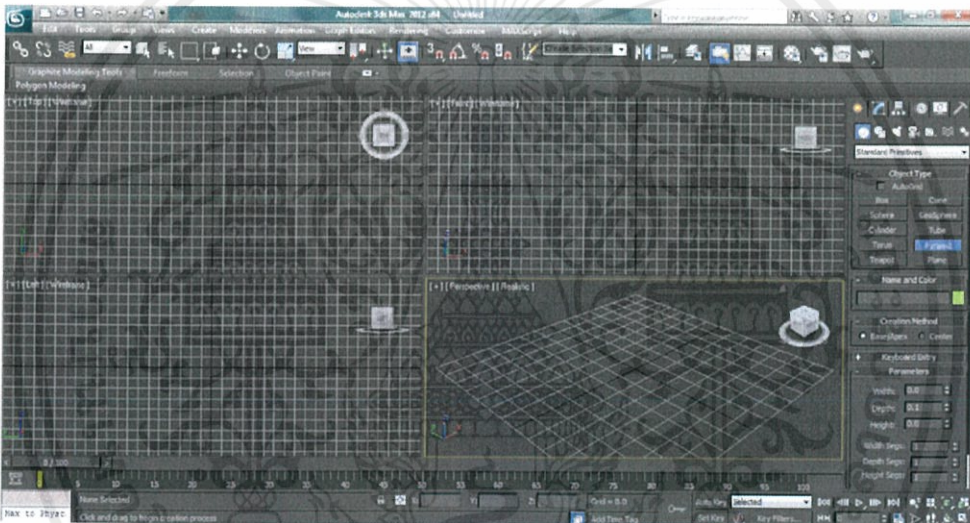
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

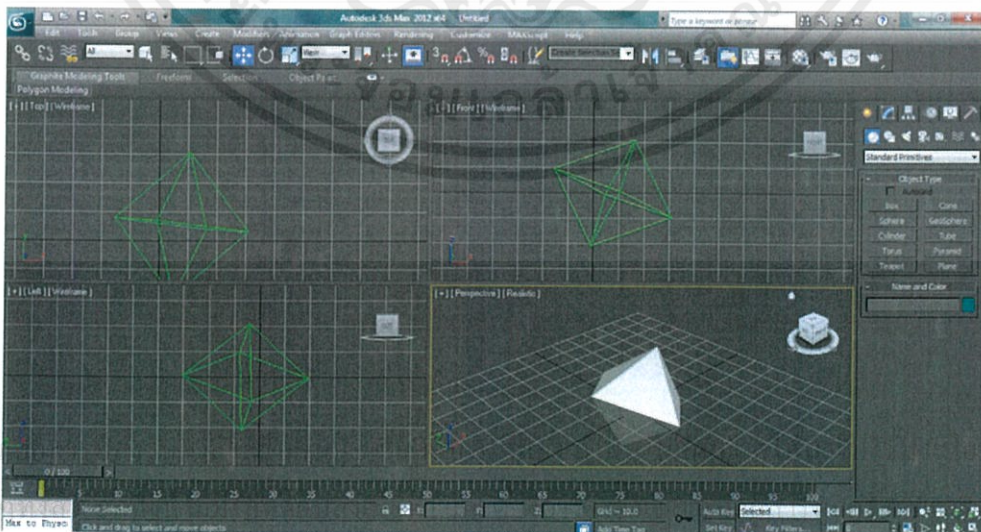
การจำลองวัตถุสามมิติ

3.1 การสร้างวัตถุสามมิติ

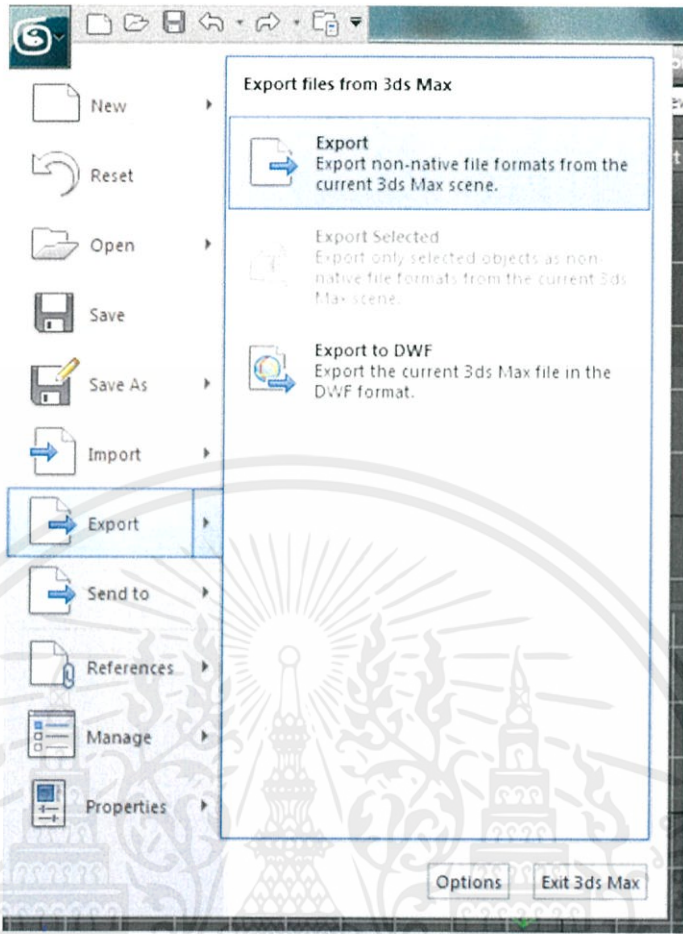
การสร้างวัตถุสามมิติ โดยใช้โปรแกรม Autodesk 3ds Max ข้อมูลวัตถุสามมิติที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมนั้น จะทำการบันทึกโดยเลือกประเภทไฟล์ 3DS มีขั้นตอนการทำดังรูปที่ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4



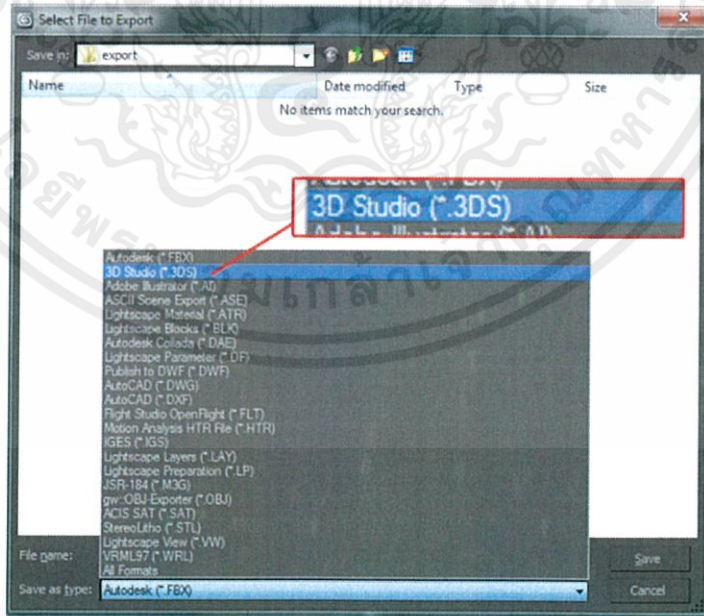
รูปที่ 3.1 โปรแกรม Autodesk 3ds Max



รูปที่ 3.2 รูปทรงโมเดลสามมิติบน โปรแกรม Autodesk 3ds Max



รูปที่ 3.3 วิธีการ export file

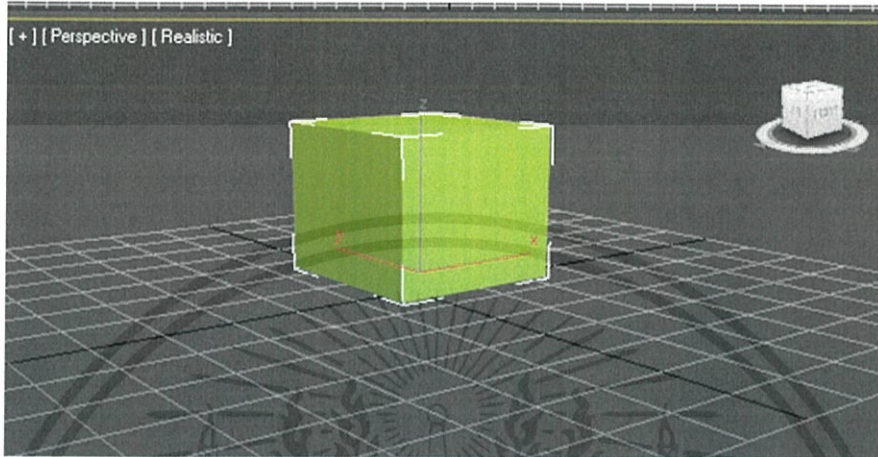


รูปที่ 3.4 วิธีการ export file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

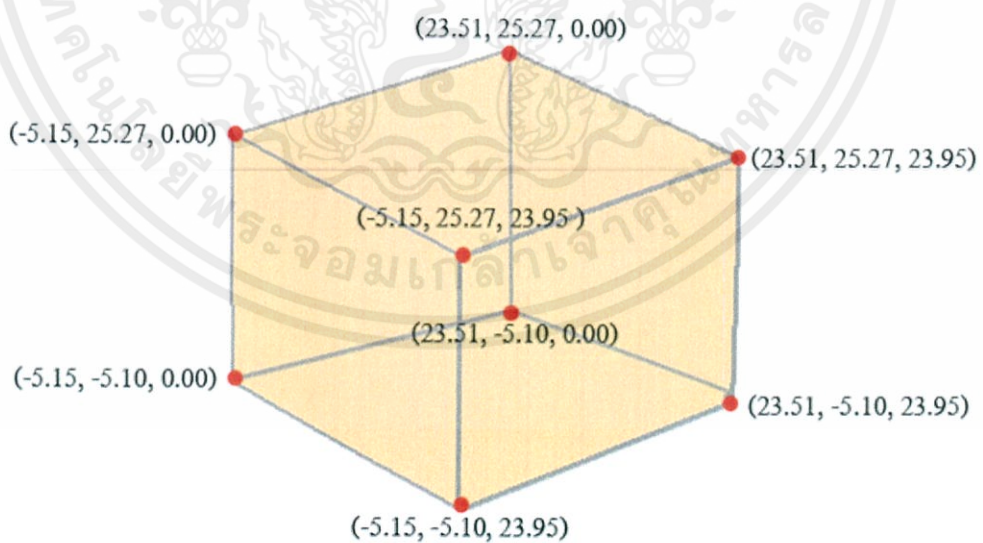
3.2 การนำเข้าข้อมูลของวัตถุสามมิติ

ในการกำหนดโครงสร้างของ Model ที่จะทำการ import เข้า OpenGL เราจะทำการบินทีกไฟล์สกุลเป็น 3DS ซึ่งจะมีการเก็บตำแหน่งของจุด บันทึกลงเข้าไปในตัวไฟล์



รูปที่ 3.5 โมเดลกล่องสี่เหลี่ยมแบบสามมิติ

การอิมพอร์ตไฟล์เข้าโอเพ่นจีแอล เป็นการเก็บตำแหน่งของแต่ละจุดไว้ โดยจะเก็บตำแหน่งแกน x , แกน y และแกน z ของจุดนั้นๆ นั่นก็คือจุดหนึ่งจุด จะเก็บตำแหน่งไว้ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง เช่น vertex 1 (-5.15, -5.10, 23.95) คือ vertex 1 ตำแหน่งแกน x อยู่ที่ -5.15, ตำแหน่งแกน y อยู่ที่ -5.10, ตำแหน่งแกน z อยู่ที่ 23.95 เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งการกำหนดจุดใน โมเดลสามมิติ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.3 เมื่ออิมพอร์ตไฟล์รูปเข้าโอเพ่นจีแอล จะมีการเก็บจุดทั้งหมด 8 จุด ซึ่งแต่ละจุด จะมีการเก็บตำแหน่งแกน x, y และ z ของจุดนั้นๆไว้ ดังนี้

แกน	X	Y	Z
vertex 1	-5.15	-5.10	23.95
vertex 2	23.51	25.27	0.00
vertex 3	23.51	25.27	23.95
vertex 4	-5.15	-5.10	0.00
vertex 5	23.51	-5.10	23.95
vertex 6	23.51	-5.10	0.00
vertex 7	5.15	-5.10	23.95
vertex 8	-5.15	23.27	23.95

จากนั้นเราก็จะทำการสร้างตัวแปรขึ้นมา 3 ตัว เพื่อใช้กำหนดจุดในการสร้างโครงสร้างสามเหลี่ยม คือ a, b และ c โดยตัวแปรแต่ละตัวจะทำหน้าที่ดึงตำแหน่งจุดมาเก็บไว้ใน array เช่น a จะเก็บตำแหน่งของ vertex 1 คือตำแหน่งแกน x (-5.15), ตำแหน่งแกน y (-5.10), ตำแหน่งแกน z (23.95) แล้ว b และ c ก็จะไปเก็บตำแหน่งของจุดถัดไปตามลำดับ ซึ่งจะให้เป็นโครงสร้างสามเหลี่ยม 1 อัน เราจะเก็บตำแหน่งของจุดไปเรื่อยๆ ให้ครบทุกจุดที่มี เพื่อให้ได้ภาพที่มีโครงสร้างเป็นสามเหลี่ยมทั้งหมด

```
glPolygonMode (GL_FRONT_AND_BACK, GL_LINE);
glColor3f(0.55,0.28,0.15);//brown color
glBegin(GL_TRIANGLES);
for (l_index = 0;l_index<object.polygons_qty;l_index++)
```

รูปที่ 3.7 คำสั่งเริ่มทำการวาดรูปสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 3.7 เราจะเริ่มทำการวาดสามเหลี่ยมโดยใช้คำสั่ง glBegin(GL_TRIANGLES) โดยจะออกมาเป็นรูปสามเหลี่ยมที่เป็นเส้นรอบรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

----- FIRST VERTEX -----

```
// Texture coordinates of the first vertex
glTexCoord2f( object.mapcoord[ object.polygon[l_index].a ].u,
             object.mapcoord[ object.polygon[l_index].a ].v);
// Coordinates of the first vertex
glVertex3f( object.vertex[ object.polygon[l_index].a ].x,
           object.vertex[ object.polygon[l_index].a ].y,
           object.vertex[ object.polygon[l_index].a ].z);
```

รูปที่ 3.8 คำสั่งการนำจุดกำหนดจุดที่ a(x,y,z)

รูปที่ 3.9 การนำจุดกำหนดจุดที่ a(x,y,z)

----- SECOND VERTEX -----

```
// Texture coordinates of the second vertex
glTexCoord2f( object.mapcoord[ object.polygon[l_index].b ].u,
             object.mapcoord[ object.polygon[l_index].b ].v);
// Coordinates of the second vertex
glVertex3f( object.vertex[ object.polygon[l_index].b ].x,
           object.vertex[ object.polygon[l_index].b ].y,
           object.vertex[ object.polygon[l_index].b ].z);
```

รูปที่ 3.10 คำสั่งการนำจุดกำหนดจุดที่ b(x,y,z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a •

b •

รูปที่ 3.11 การนำจุดกำหนดจุดที่ $b(x,y,z)$

```

----- THIRD VERTEX -----
// Texture coordinates of the third vertex
glTexCoord2f( object.mapcoord[ object.polygon[L_index].c ].u,
             object.mapcoord[ object.polygon[L_index].c ].v);
// Coordinates of the Third vertex
glVertex3f( object.vertex[ object.polygon[L_index].c ].x,
           object.vertex[ object.polygon[L_index].c ].y,
           object.vertex[ object.polygon[L_index].c ].z);
}
glEnd();

```

รูปที่ 3.12 คำสั่งการนำจุดกำหนดจุดที่ $c(x,y,z)$

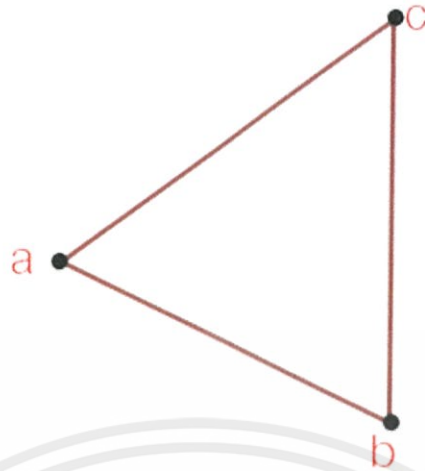
a •

c •

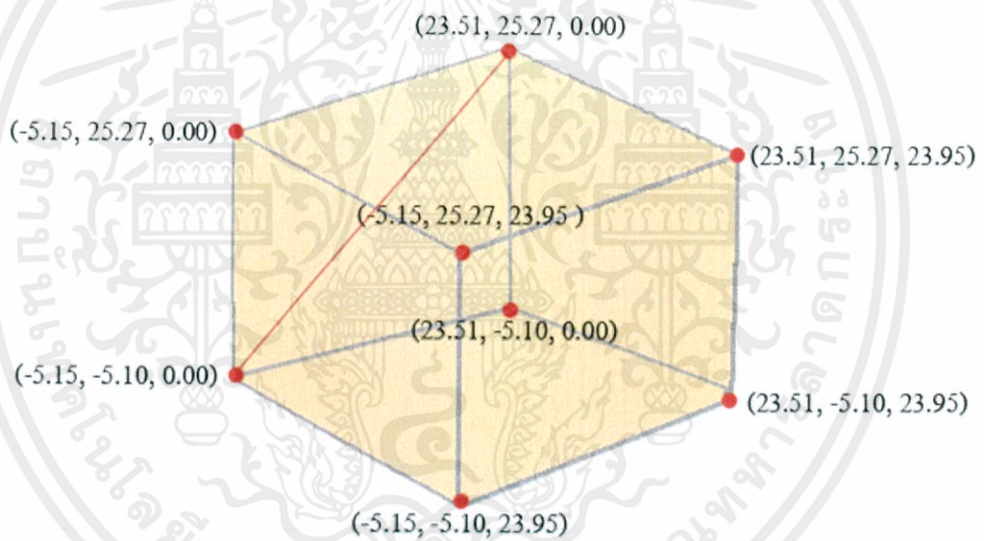
b •

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น บัณฑิตวิทยาลัยขอสงวนสิทธิ์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 การนำจุดกำหนดจุดที่ $c(x,y,z)$



รูปที่ 3.14 แสดงการวาดสามเหลี่ยมจากจุด abc



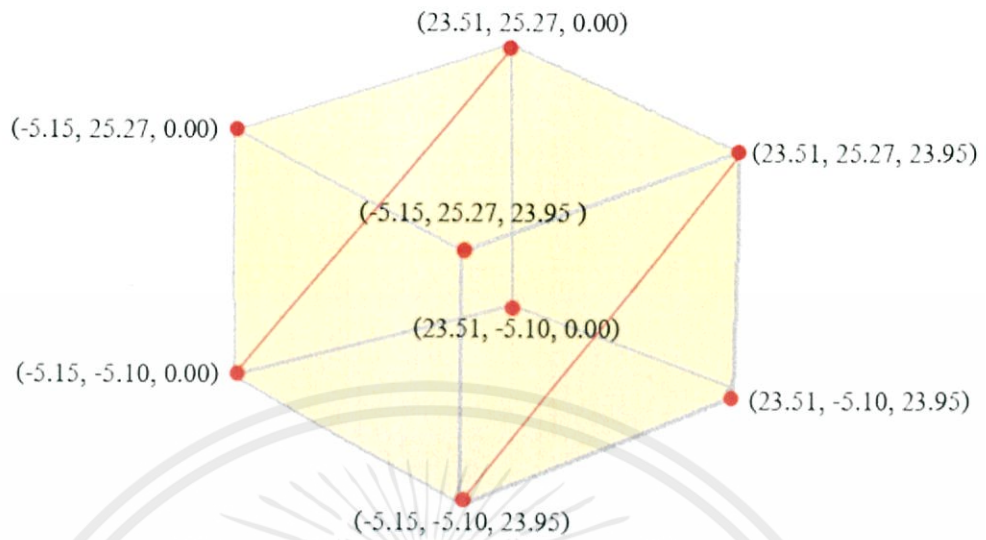
รูปที่ 3.15 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 1,2

จากรูปที่ 3.15 จะทำการวาดรูปทรงสามเหลี่ยมโดยใช้คำสั่ง `glBegin(GL_TRIANGLES);` โดยในการวาดจะใช้สามจุดในการวาด โดยเราเก็บจุดใน a b c

สามเหลี่ยมที่ 1 a (-5.15, -5.10, 0.00), b (23.51, -5.10, 0.00), c (23.51, 25.27, 0.00)

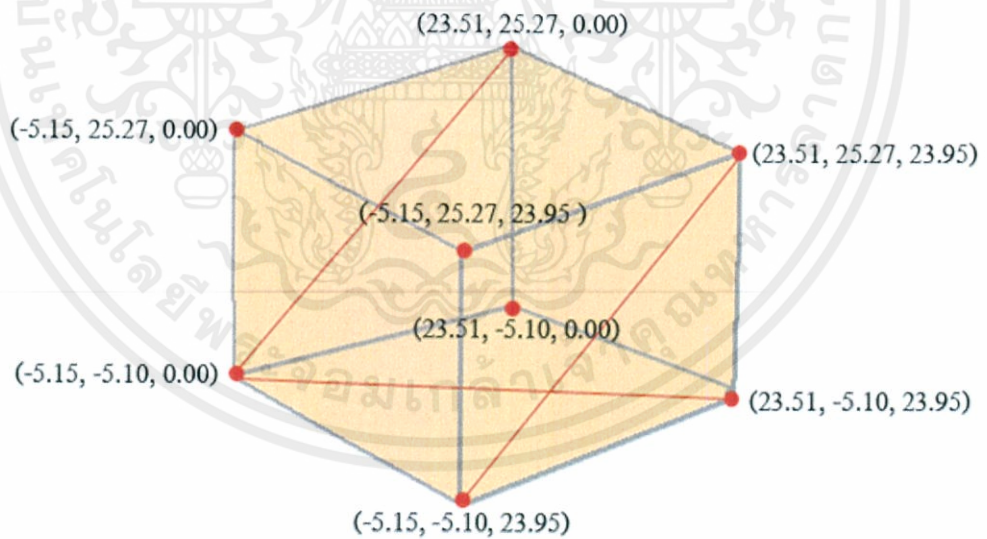
สามเหลี่ยมที่ 2 a (-5.15, -5.10, 0.00), b (-5.15, 25.27, 0.00), c (23.51, 25.27, 0.00)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 3,4

- สามเหลี่ยมที่ 3 a (-5.15, -5.10, 23.95), b (23.51, -5.10, 23.95), c (23.51, 25.27, 23.95)
 สามเหลี่ยมที่ 4 a (-5.15, -5.10, 23.95), b (-5.15, 25.27, 23.95), c (23.51, 25.27, 23.95)

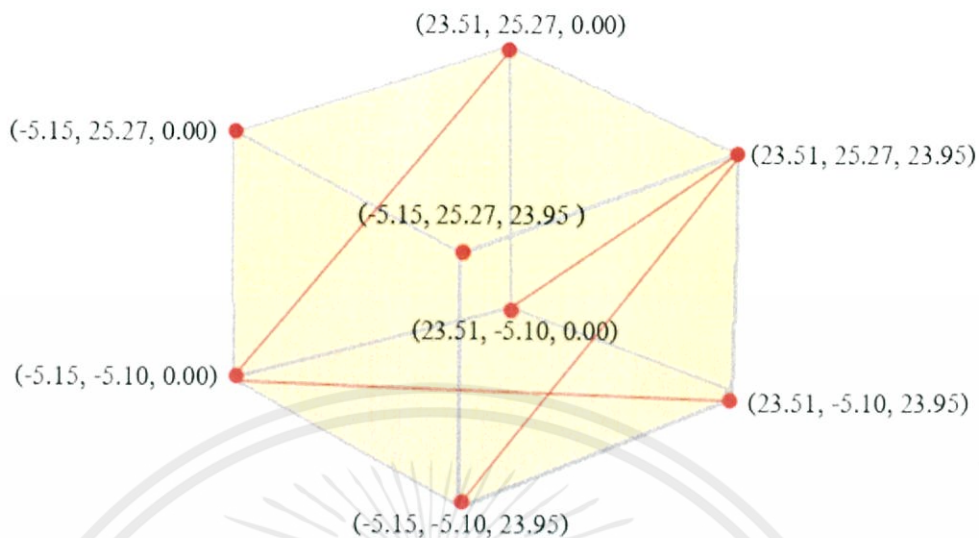


รูปที่ 3.17 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 5,6

- สามเหลี่ยมที่ 5 a (-5.15, -5.10, 0.00), b (-5.15, -5.10, 23.95), c (23.51, -5.10, 23.95)

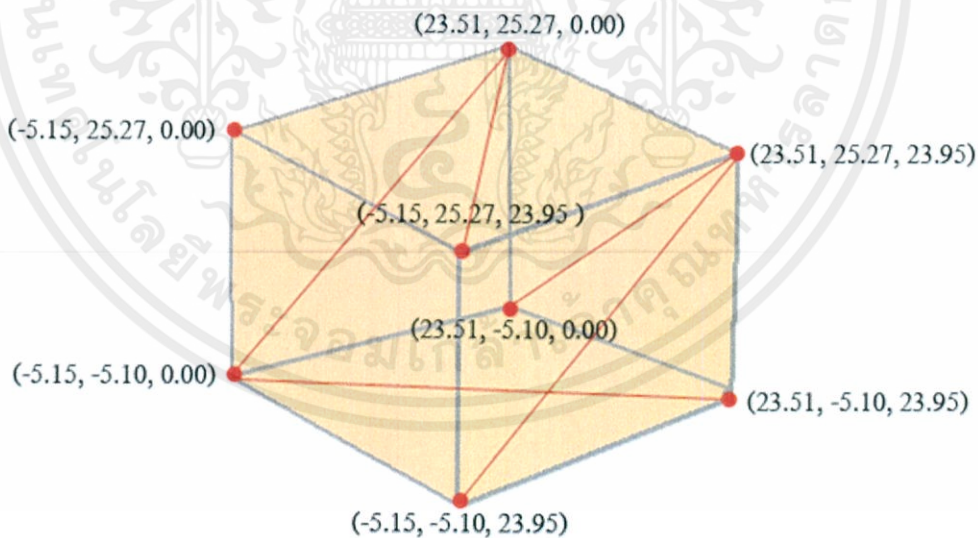
- สามเหลี่ยมที่ 6 a (-5.15, -5.10, 0.00), b (23.51, -5.10, 0.00), c (23.51, -5.10, 23.95)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



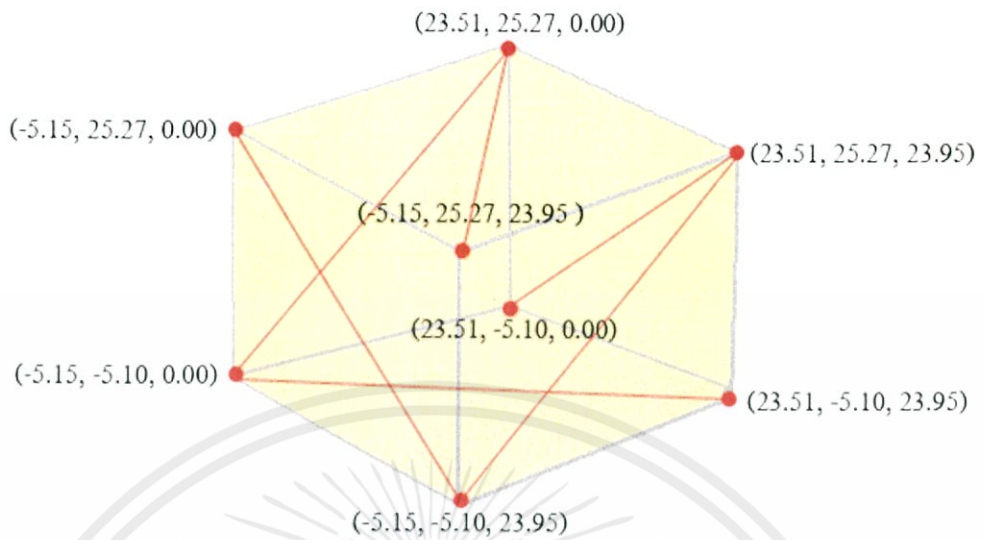
รูปที่ 3.18 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 7,8

- สามเหลี่ยมที่ 7 a (23.51, -25.27, 23.95), b (23.51, -5.10, 23.95), c (23.51, -5.10, 0.00)
- สามเหลี่ยมที่ 8 a (23.51, -5.10, 0.00), b (23.51, 25.27, 0.00), c (23.51, 25.27, 23.95)



รูปที่ 3.19 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 9,10

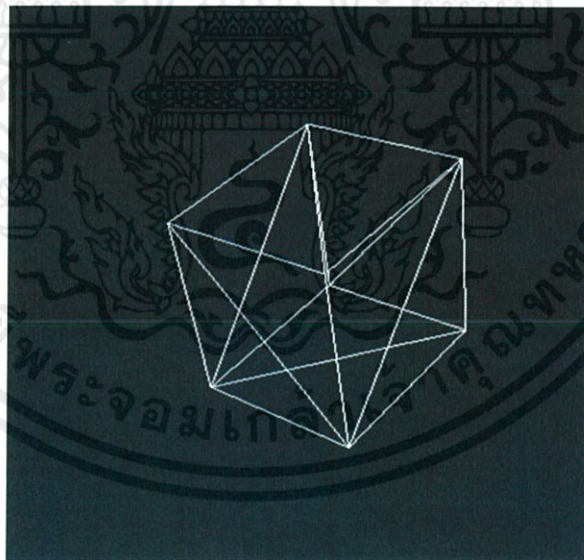
เอกสารนี้สามเหลี่ยมที่ 9 นไว้กับ a (-5.15, 25.27, 23.95), b (-5.15, 25.27, 0.00), c (23.51, 25.27, 0.00) นี้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีสามเหลี่ยมที่ 10 กำหนด a (23.51, 25.27, 0.00), b (23.51, 25.27, 23.95), c (-5.15, 25.27, 23.95) ไปใช้



รูปที่ 3.20 ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมที่ 11,12

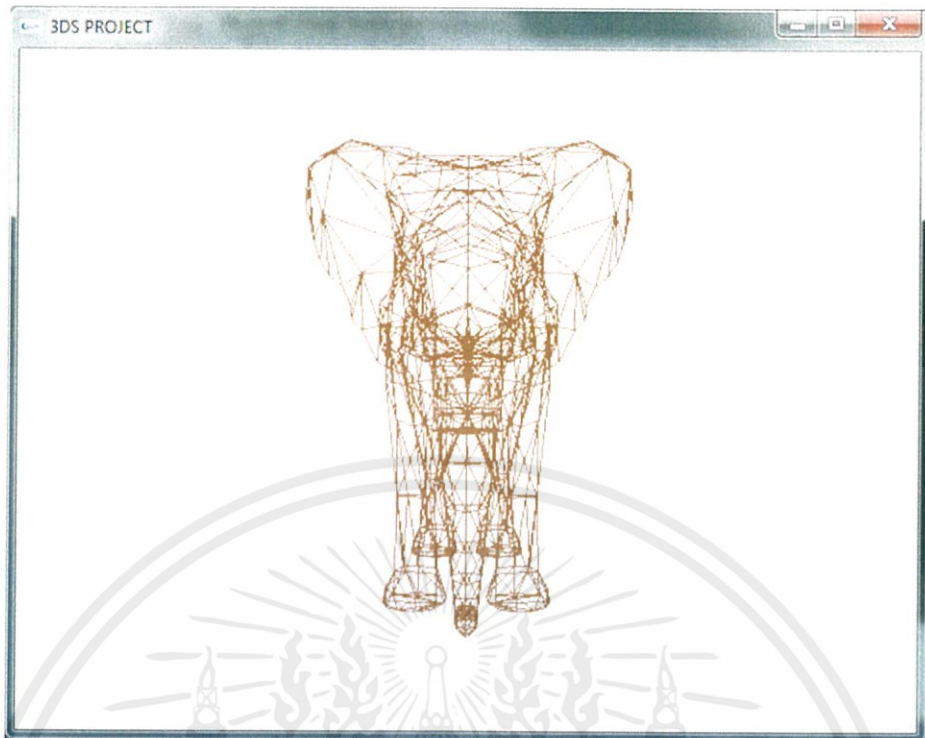
สามเหลี่ยมที่ 11 a (-5.15, 25.27, 0.00), b (-5.15, -5.10, 0.00), c (-5.15, -5.10, 23.95)

สามเหลี่ยมที่ 12 a (-5.15, 25.27, 0.00), b (-5.15, 25.27, 23.95), c (-5.15, -5.10, 23.95)



รูปที่ 3.21 แสดงผลลัพธ์ที่แสดงโดย OpenGL

จากรูปที่ 3.21 เราได้ทำการ import มาทำการแสดงผลบน OpenGL จะมีโครงสร้างแบบสามเหลี่ยมต่อกันโดยที่เราจำนำจุดทั้งหมดมากำหนดตามจุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

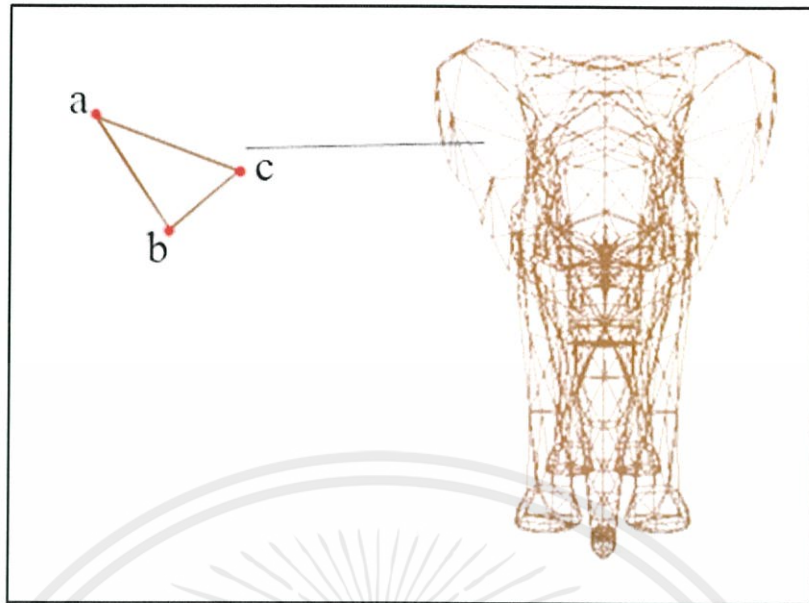


รูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างการสร้างโครงสร้างสามเหลี่ยมบน โมเดลช้าง

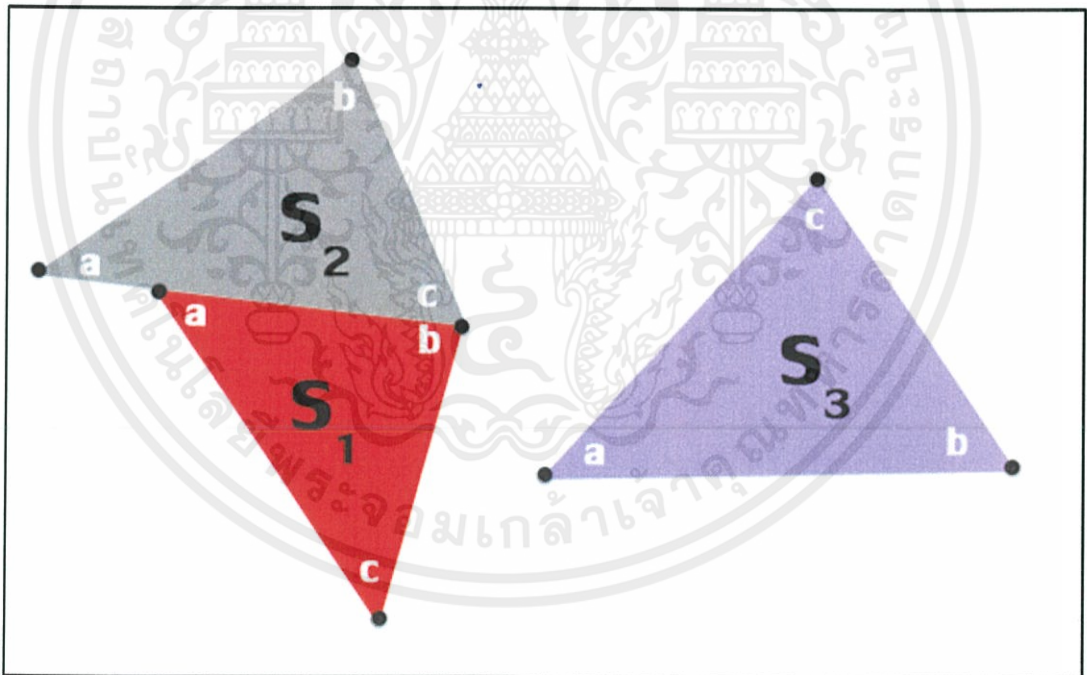
3.3 การหาเซลล์เพื่อนบ้าน

การหาเซลล์เพื่อนบ้าน ทำได้โดยการหาจุดร่วมที่ใช้ร่วมกันของสามเหลี่ยม เนื่องจากสามเหลี่ยมทุกอันจะประกอบไปด้วยจุด 3 จุด คือ a , b และ c จากโค้ดจะเห็นได้ว่าเราตั้งตัวแปรอาเรย์ขึ้นมาเพื่อเก็บจำนวนเพื่อนบ้านของเซลล์แต่ละจุด เริ่มแรกกำหนดให้ จำนวนเซลล์เพื่อนบ้านของทุกจุดเป็น 0 จากนั้นเราจะทำการเช็คดูว่า จุด a , จุด b และจุด c ของสามเหลี่ยมที่ 1 มีจุดร่วมร่วมกันกับสามเหลี่ยมอันอื่นๆอีกกี่อัน เพื่อที่จะนับจำนวนสามเหลี่ยมอันอื่นๆที่มีจุดร่วมร่วมกันเป็นเซลล์เพื่อนบ้าน แล้วเก็บจำนวนลงในอาเรย์ โคนจะมีการตรวจสอบว่านับตัวเองหรือไม่ ถ้าหากนับตัวเองจะถือว่าไม่เป็นเซลล์เพื่อนบ้าน จะไม่นับจำนวนเพิ่ม จำนวนในอาเรย์จะเท่าเดิม เราจะตรวจสอบแบบนี้กับทุกจุดของสามเหลี่ยมที่มีทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

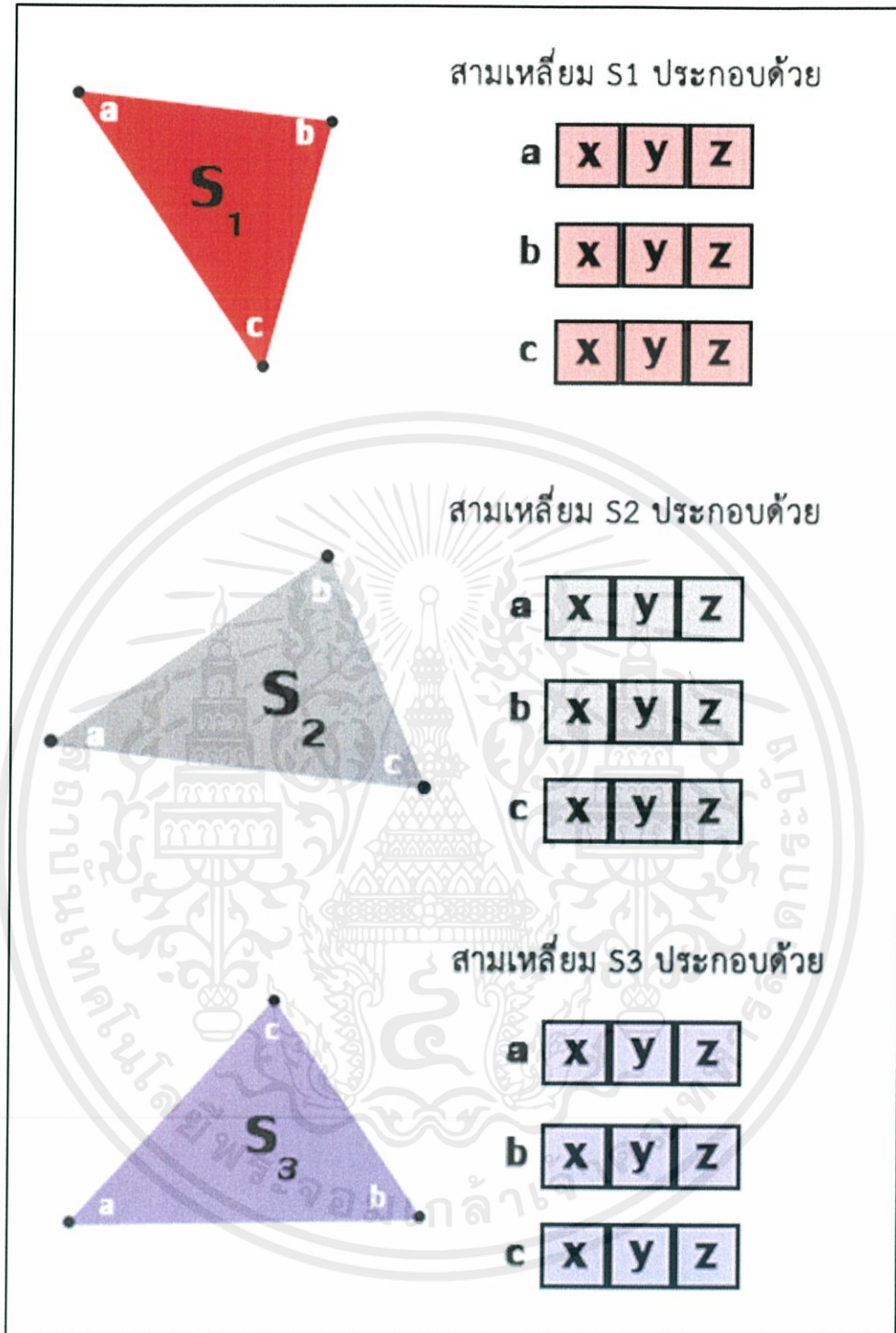


รูปที่ 3.23 ตัวอย่างเซลล์ทริคิตสามเหลี่ยม abc ที่มีสามเหลี่ยมสีเทาเป็นเซลล์เพื่อนบ้าน



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างที่นำมาแสดงการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงรายละเอียดของแต่ละสามเหลี่ยมที่มาทำการหาเพื่อนบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

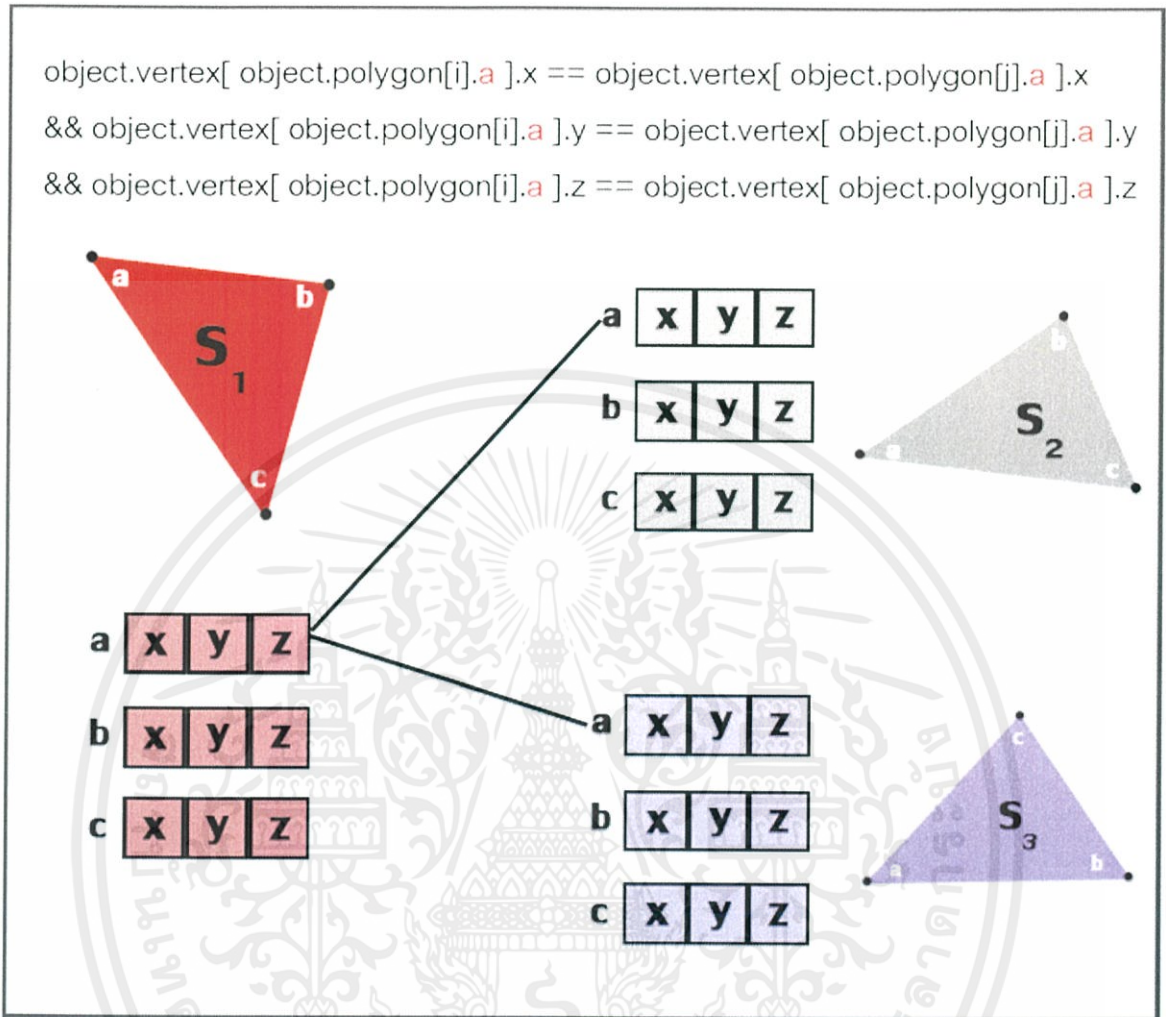
```

if( object.vertex[ object.polygon[i] a ] x == object.vertex[ object.polygon[j] a ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] a ] y == object.vertex[ object.polygon[j] a ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] a ] z == object.vertex[ object.polygon[j] a ] z
||object.vertex[ object.polygon[i] a ] x == object.vertex[ object.polygon[j] b ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] a ] y == object.vertex[ object.polygon[j] b ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] a ] z == object.vertex[ object.polygon[j] b ] z
||object.vertex[ object.polygon[i] a ] x == object.vertex[ object.polygon[j] c ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] a ] y == object.vertex[ object.polygon[j] c ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] a ] z == object.vertex[ object.polygon[j] c ] z
|| object.vertex[ object.polygon[i] b ] x == object.vertex[ object.polygon[j] a ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] b ] y == object.vertex[ object.polygon[j] a ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] b ] z == object.vertex[ object.polygon[j] a ] z
||object.vertex[ object.polygon[i] b ] x == object.vertex[ object.polygon[j] b ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] b ] y == object.vertex[ object.polygon[j] b ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] b ] z == object.vertex[ object.polygon[j] b ] z
||object.vertex[ object.polygon[i] b ] x == object.vertex[ object.polygon[j] c ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] b ] y == object.vertex[ object.polygon[j] c ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] b ] z == object.vertex[ object.polygon[j] c ] z
|| object.vertex[ object.polygon[i] c ] x == object.vertex[ object.polygon[j] a ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] c ] y == object.vertex[ object.polygon[j] a ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] c ] z == object.vertex[ object.polygon[j] a ] z
||object.vertex[ object.polygon[i] c ] x == object.vertex[ object.polygon[j] b ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] c ] y == object.vertex[ object.polygon[j] b ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] c ] z == object.vertex[ object.polygon[j] b ] z
||object.vertex[ object.polygon[i] c ] x == object.vertex[ object.polygon[j] c ] x
  && object.vertex[ object.polygon[i] c ] y == object.vertex[ object.polygon[j] c ] y
  && object.vertex[ object.polygon[i] c ] z == object.vertex[ object.polygon[j] c ] z )

```

รูปที่ 3.26 โค้ดแสดงเงื่อนไขในการหาเพื่อนบ้าน

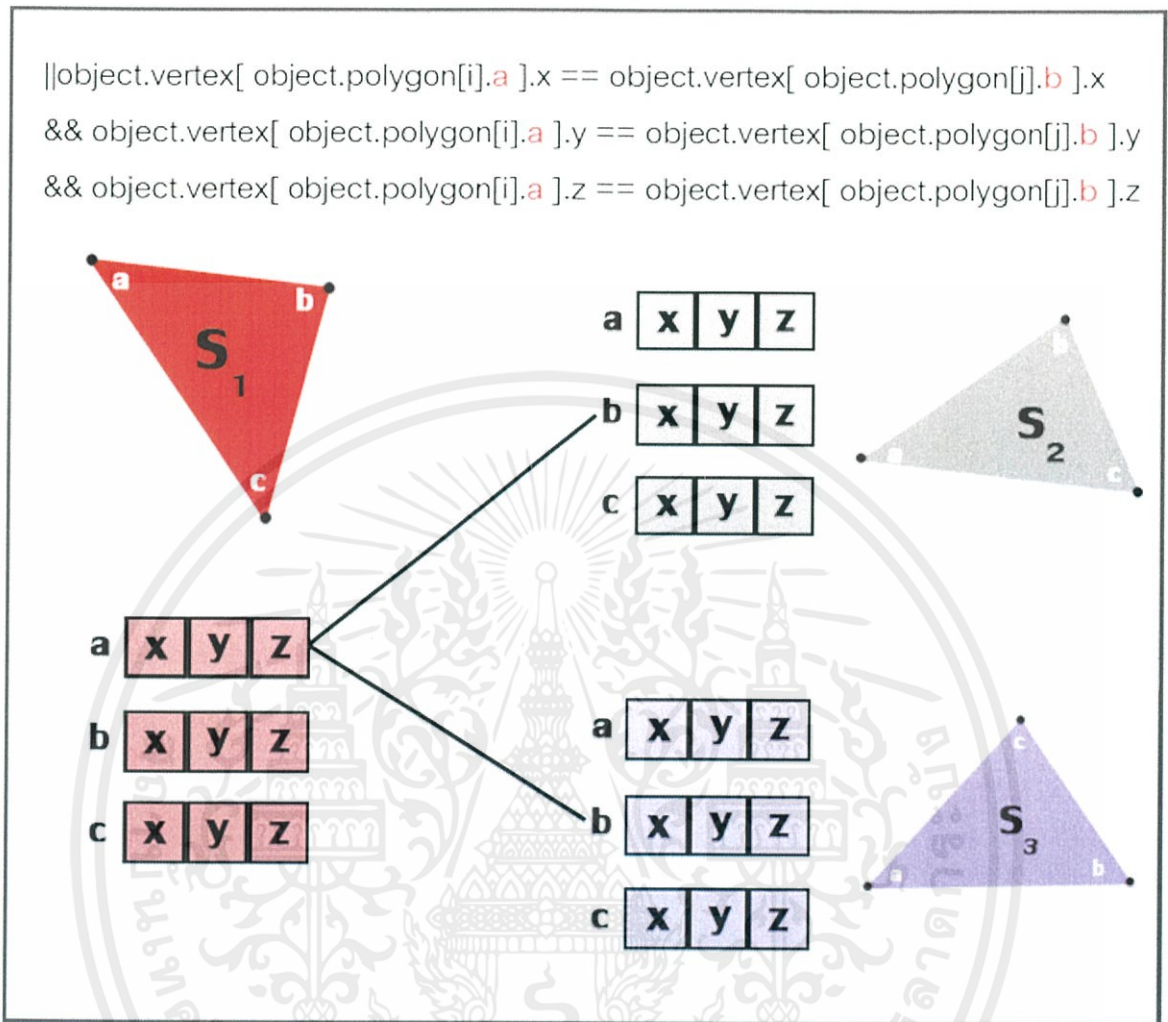
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 แสดงรายละเอียดการค้นหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด a กับ จุด a

จากรูปที่ 3.27 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นได้ว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $a(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $a(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $a(x, y, z)$ ว่าค่าจุด $a(x, y, z)$ ของทั้งสามเหลี่ยม 3 อัน มีค่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่าของจุด $a(x, y, z)$ ไม่มีค่าที่ตรงกัน ก็จะแสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน แสดงว่าไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

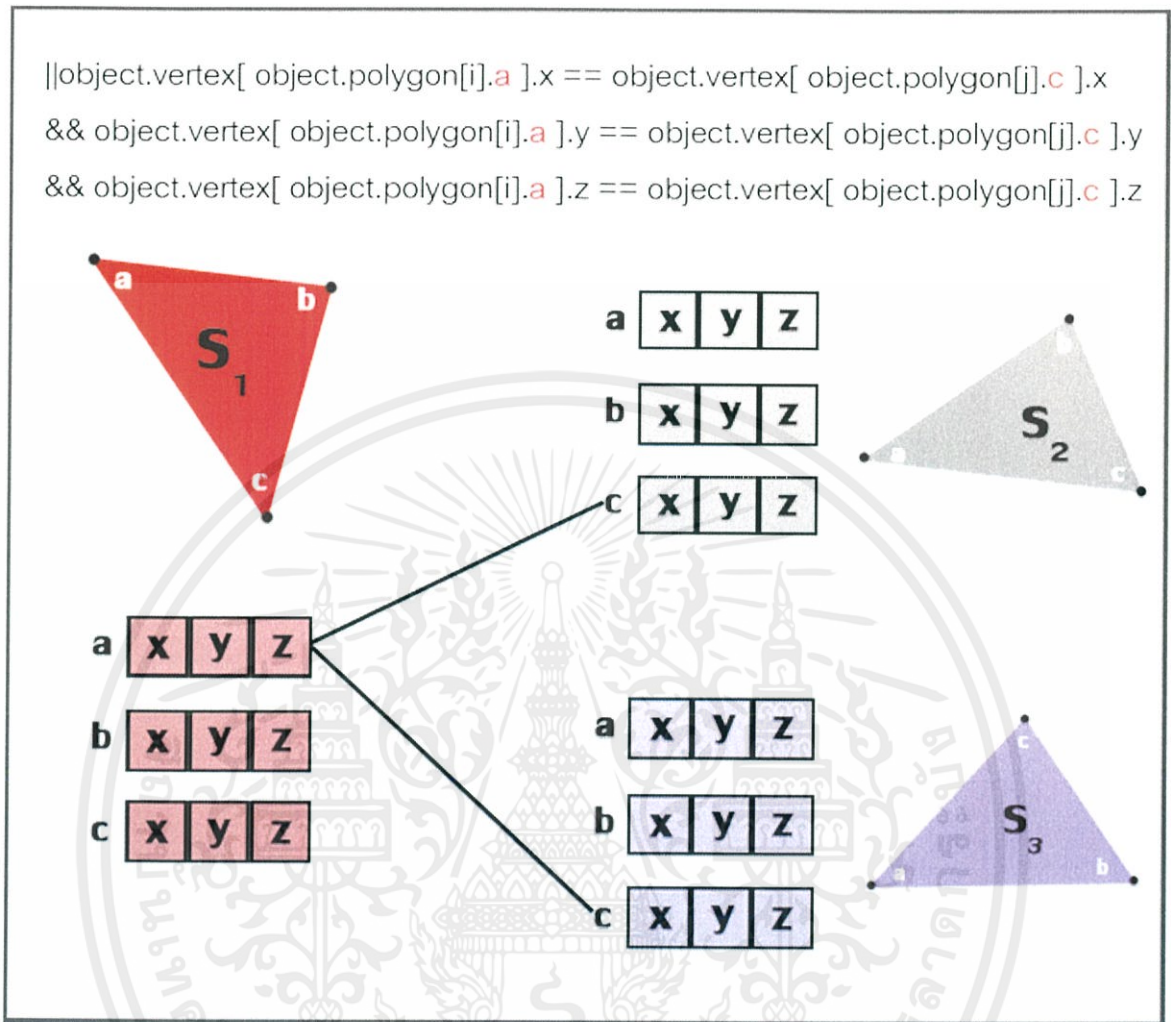
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงรายละเอียดการค้นหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด a กับ จุด b

จากรูปที่ 3.28 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $a(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $b(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $b(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือเปล่า ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

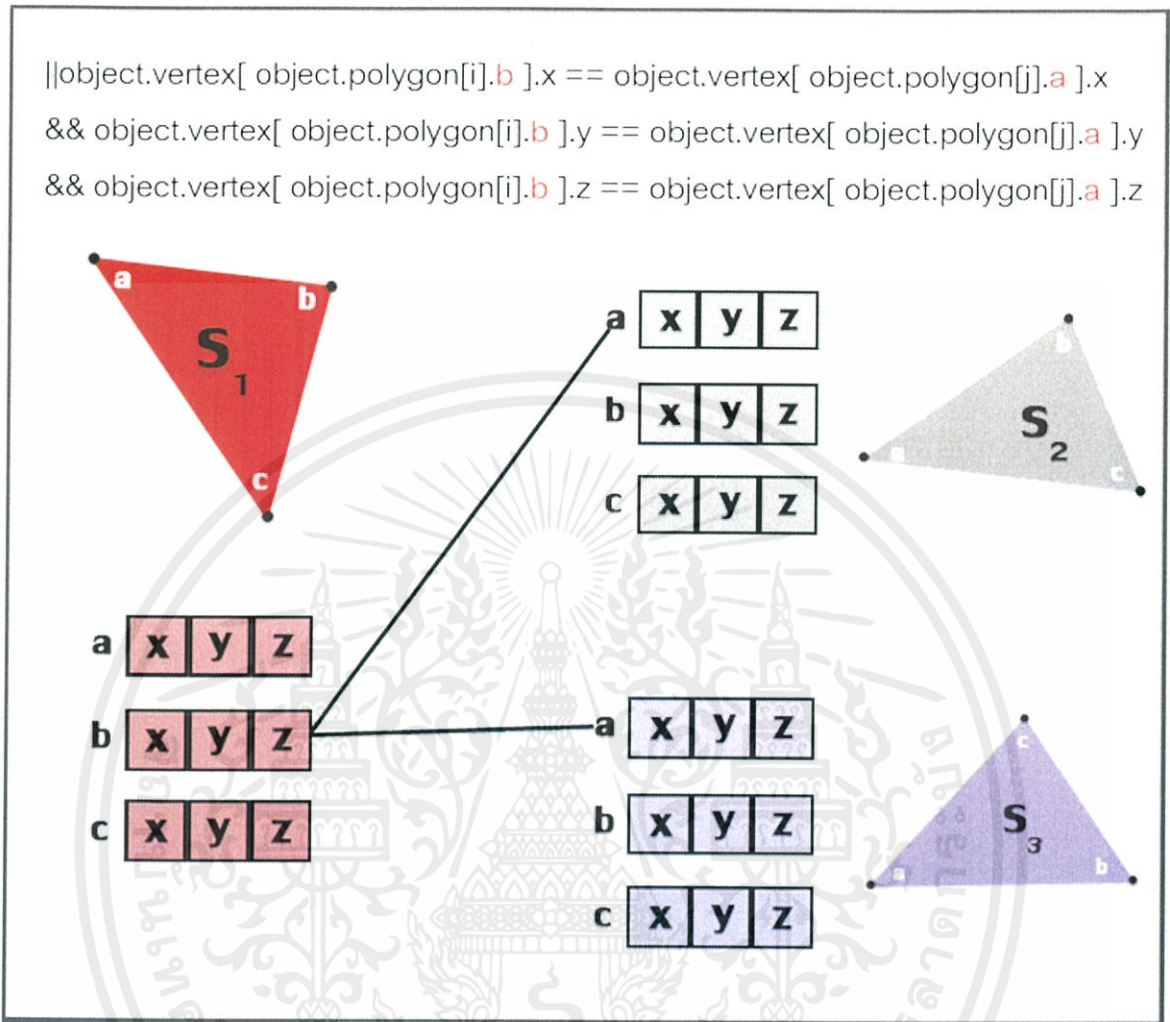
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงรายละเอียดการค้นหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด a กับ จุด c

จากรูปที่ 3.29 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $a(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $c(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $c(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

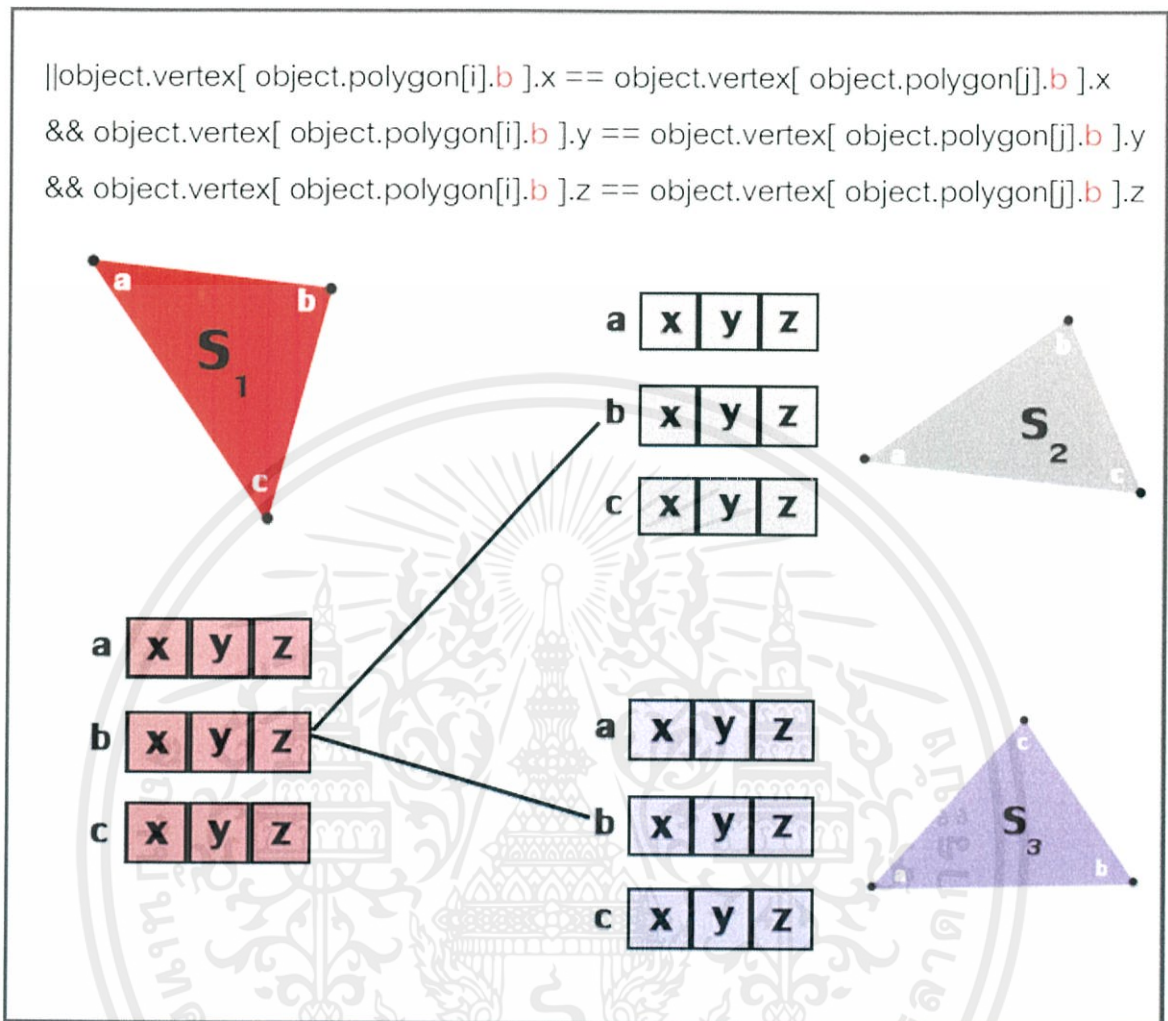
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด b กับ จุด a

จากรูปที่ 3.30 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นได้ว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $b(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $a(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $a(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือเปล่า ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

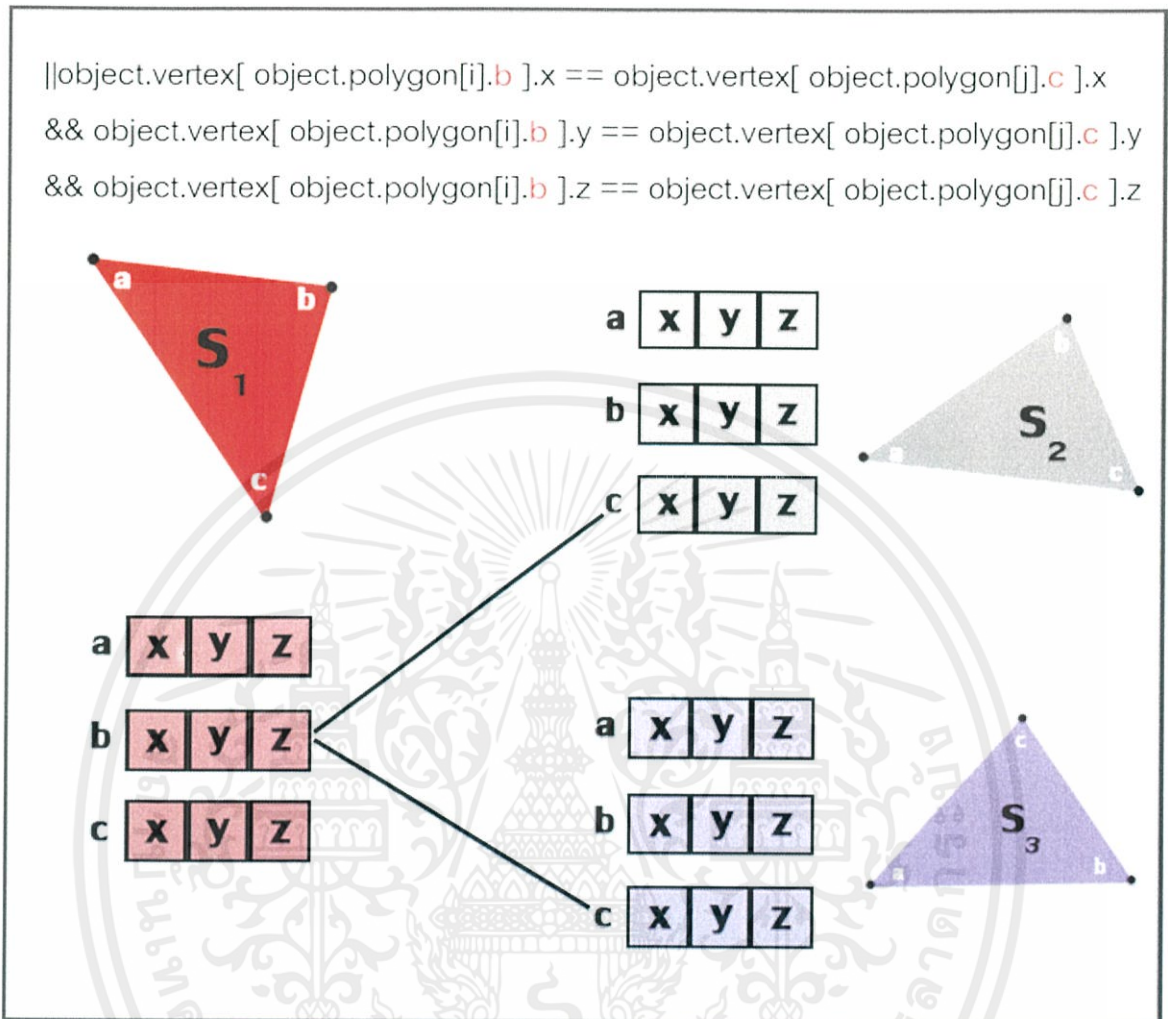
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 แสดงรายละเอียดการค้นหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด b กับ จุด b

จากรูปที่ 3.31 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นได้ว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $b(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $b(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $b(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือเปล่า ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

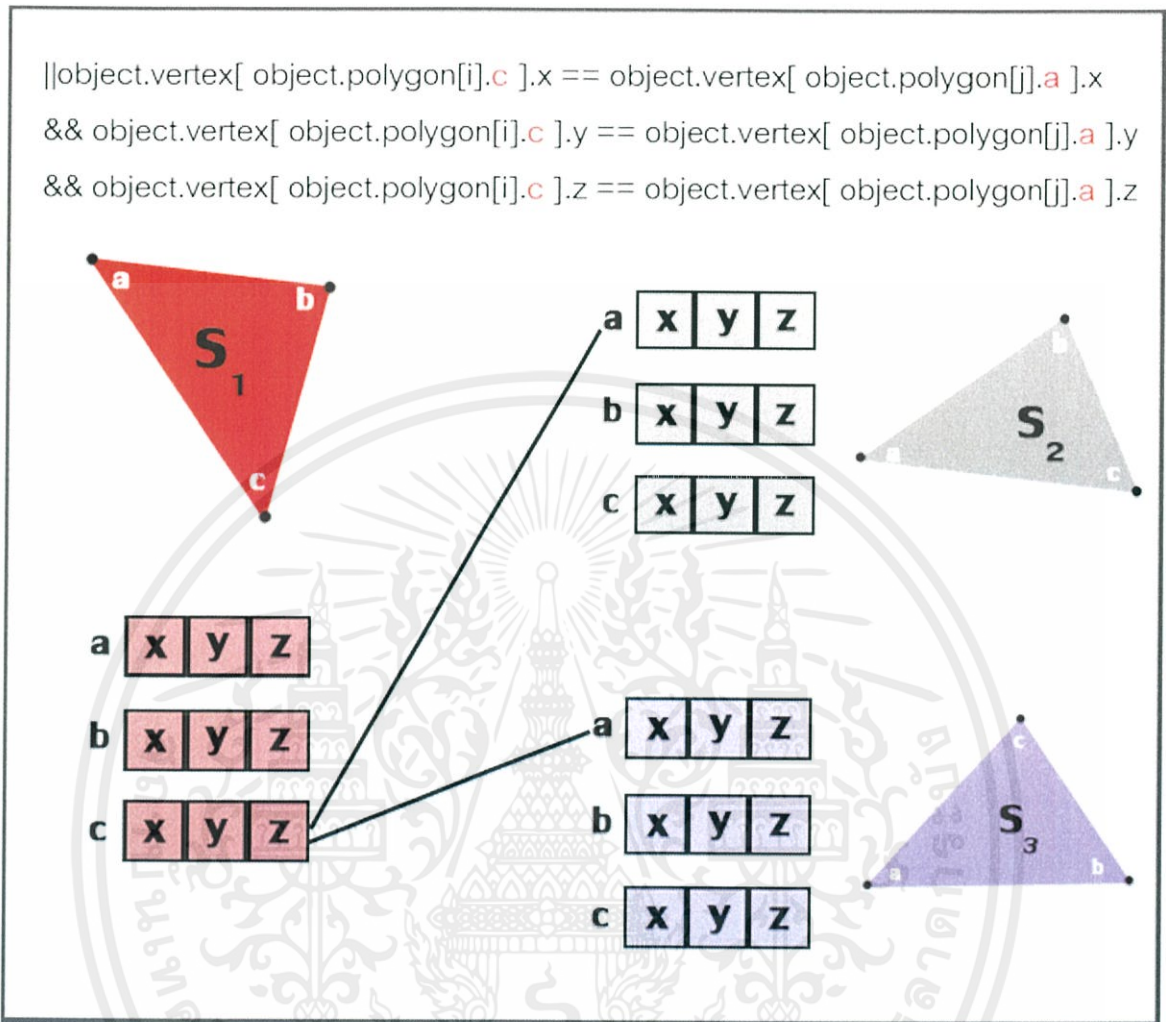
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด b กับ จุด c

จากรูปที่ 3.32 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นได้ว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $b(x, y, z)$ ไปเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $c(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $c(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือเปล่า ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

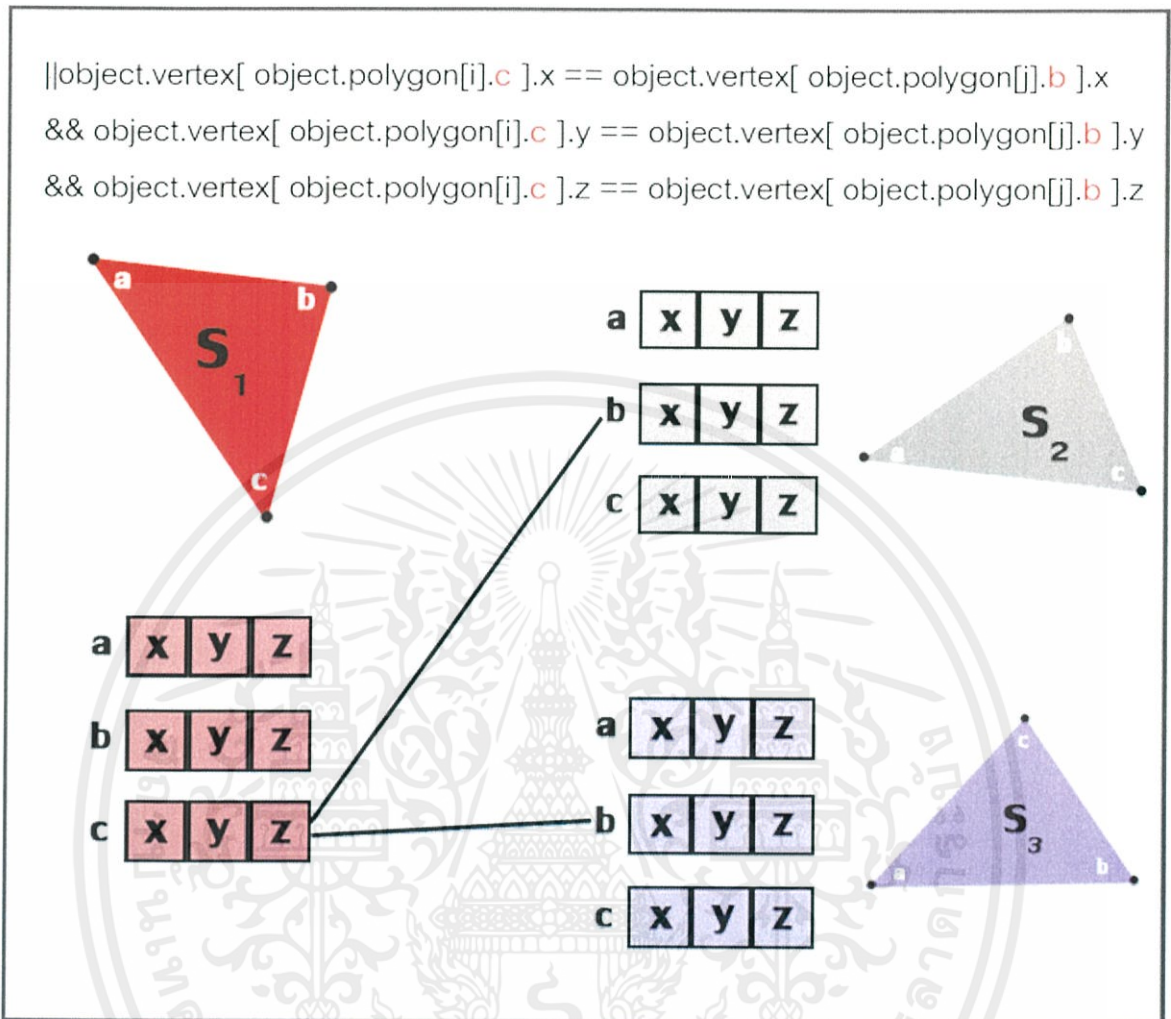
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 แสดงรายละเอียดการค้นหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด c กับ จุด a

จากรูปที่ 3.33 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $c(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $a(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $a(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

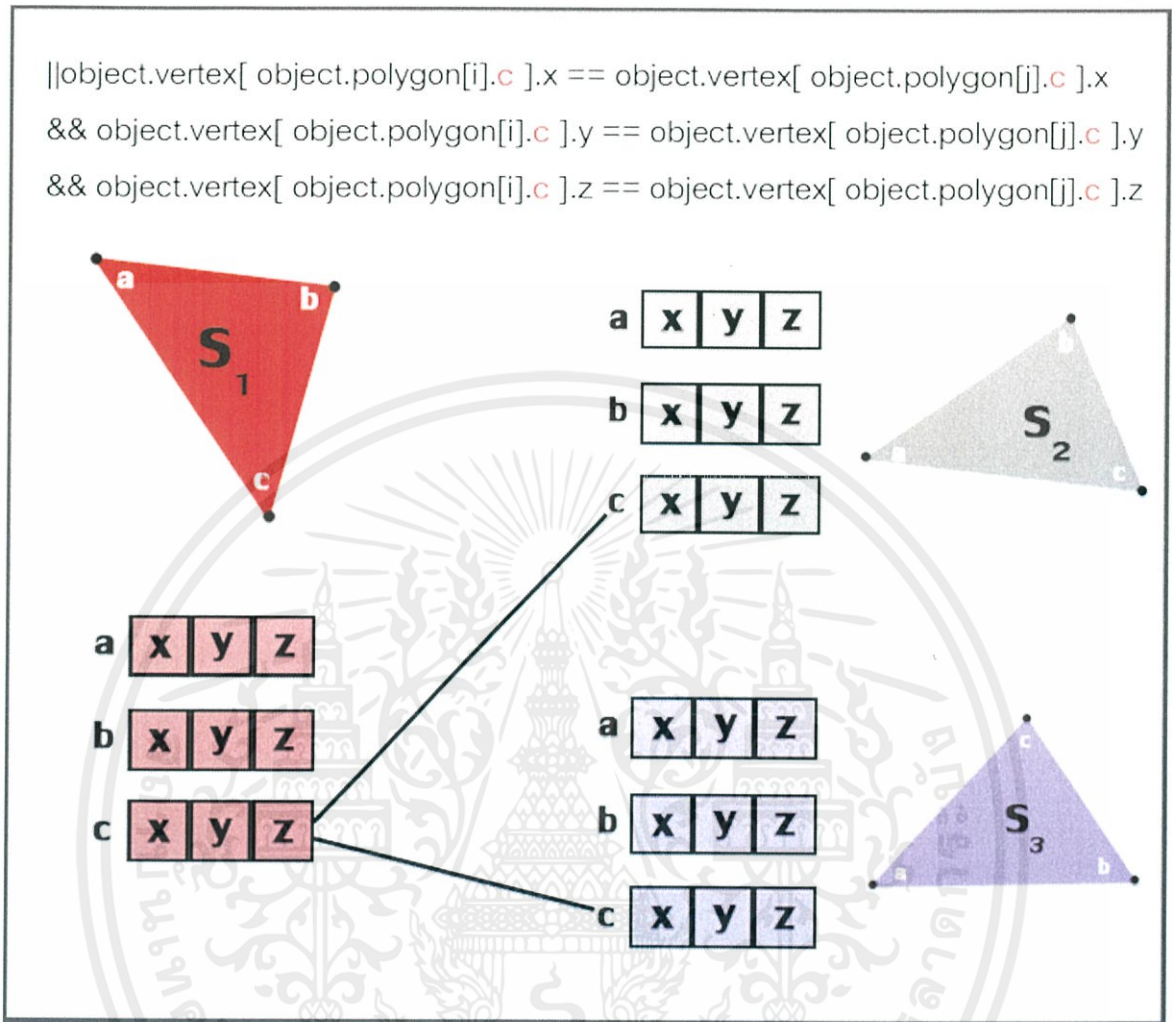
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงรายละเอียดการค้นหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด c กับ จุด b

จากรูปที่ 3.34 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นได้ว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $c(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับ S_2 จุด $b(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $b(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

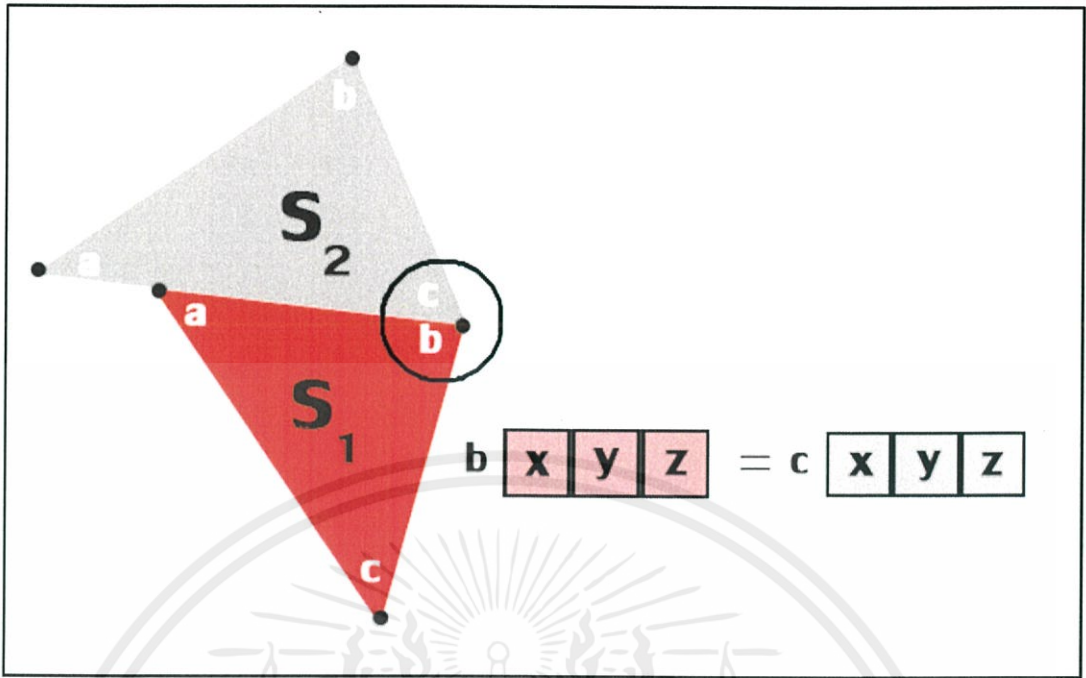
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 แสดงรายละเอียดการหาเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ที่จุด c กับ จุด c

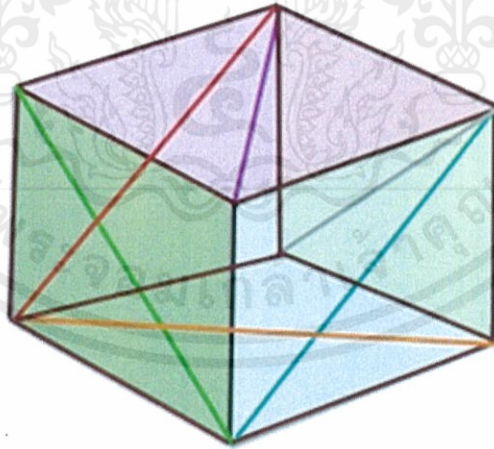
จากรูปที่ 3.35 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสามเหลี่ยม S_1 กับสามเหลี่ยม S_2 และสามเหลี่ยม S_3 จะเห็นได้ว่าสามเหลี่ยม S_1 จุด $c(x, y, z)$ เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยม S_2 จุด $c(x, y, z)$ และสามเหลี่ยม S_3 จุด $c(x, y, z)$ ว่าค่า (x, y, z) มีค่าเท่ากันหรือเปล่า ถ้าเท่ากันก็จะเป็นจุดร่วมกัน แสดงว่าเป็นเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยม S_1 ถ้าค่า (x, y, z) ไม่มีค่าที่ตรงกัน แสดงว่าไม่มีจุดร่วมกัน ไม่เป็นเพื่อนบ้านต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



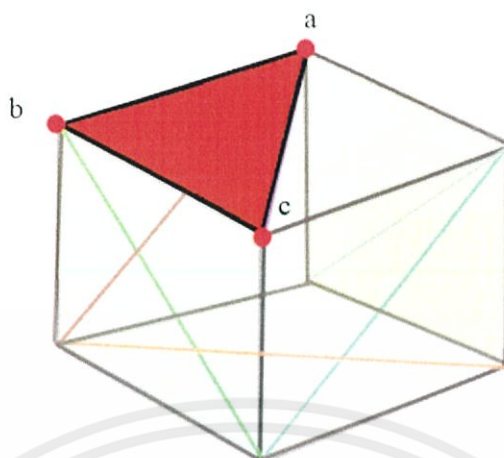
รูปที่ 3.36 แสดงว่าสามเหลี่ยม S_1 และสามเหลี่ยม S_2 เป็นเพื่อนบ้านกัน

จากรูปที่ 3.36 สามเหลี่ยม S_1 และสามเหลี่ยม S_2 เป็นเพื่อนบ้านกัน เพราะมีจุดร่วมกันที่จุด $b(x, y, z)$ ของสามเหลี่ยม S_1 กับจุด $c(x, y, z)$ ของสามเหลี่ยม S_2



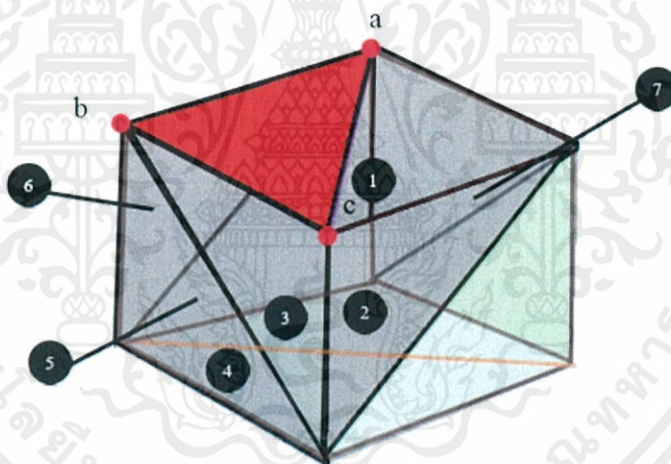
รูปที่ 3.37 โมเดลที่จะทำการแสดงการนับเพื่อนบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 ส่วนของสามเหลี่ยม abc ที่จะทำการนับเพื่อนบ้าน

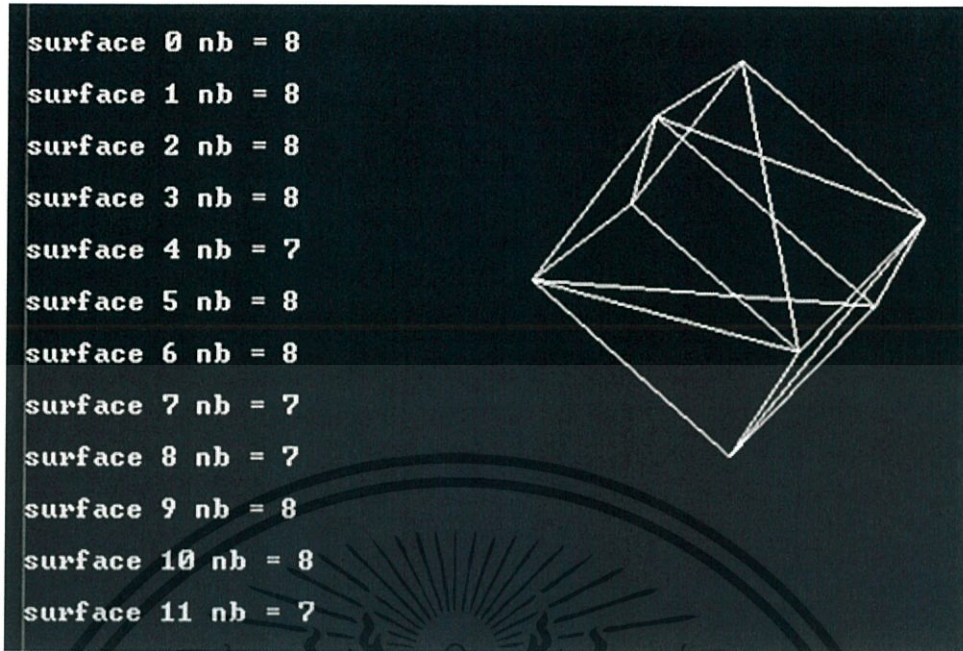
จากรูปที่ 3.38 มีสามเหลี่ยมทั้งหมด 12 อัน เราจะทำการนับเพื่อนบ้านของสามเหลี่ยมสีแดง



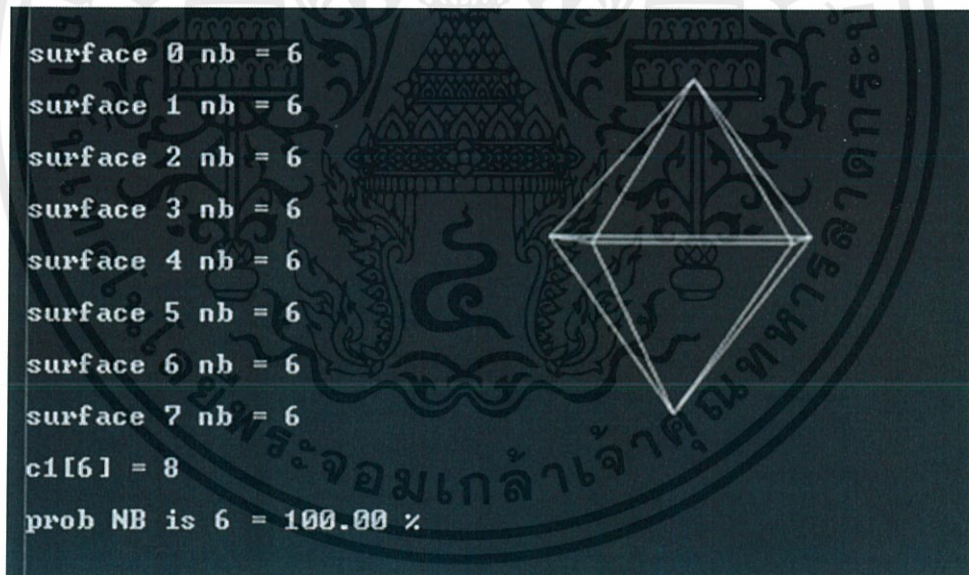
รูปที่ 3.39 แสดงเซลล์ที่เป็นเซลล์เพื่อนบ้านของสามเหลี่ยมสีแดง

จากรูปที่ 3.39 สามเหลี่ยมสีแดง abc จะมีเซลล์เพื่อนบ้านที่เป็นสามเหลี่ยมสีเทาโดยสามเหลี่ยมสีแดง abc นั้น จะมีจำนวนเพื่อนบ้านเท่ากับ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 แสดงจำนวนเพื่อนบ้านของแต่ละสามเหลี่ยม










รูปที่ 3.41 แสดงจำนวนเพื่อนบ้านของแต่ละสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ความน่าจะเป็นของจำนวนเพื่อนบ้านในเซลล์กริดแบบสามเหลี่ยม

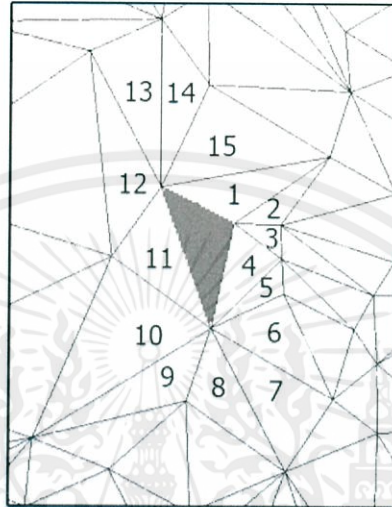
ตารางที่ 3.1 อัตราความน่าจะเป็นของจำนวนเพื่อนบ้านเซลล์กริดแบบสามเหลี่ยม

โมเดล	ค่าความเป็นไปได้ที่มีจำนวนเพื่อนบ้านของแต่ละโมเดล(%)														
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	0.01	0.12	1.48	6.57	15.77	23.12	22.09	15.49	8.78	3.96	1.71	0.68	0.15	0.07	0.01
	0.11	0.15	1.04	7.29	20.67	25.58	17.12	7.31	3.85	3.66	4.44	3.23	2.50	1.35	0.96
	0.00	0.21	0.94	4.37	16.53	40.53	24.31	9.25	3.05	0.94	0.27	0.06	0.02	0.01	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.22	4.86	85.61	8.13	1.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.01	0.50	8.60	74.86	14.18	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.35	7.21	75.84	14.58	1.93	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.13	0.23	0.96	6.24	19.21	31.15	20.39	8.10	3.12	8.19	2.23	1.83	1.02	0.71	0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าทุกแบบจำลองนั้นส่วนใหญ่มีค่าความน่าจะเป็นของเพื่อนบ้าน ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งหมด ลึกซึ้งทั้งหมด ให้คิดแปลงข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงตัวเองเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ จำนวน 12 เป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นเราจึงกำหนดโครงสร้างโมเดลพื้นฐานมีเพื่อนบ้านเป็น จำนวน 12 เซลล์

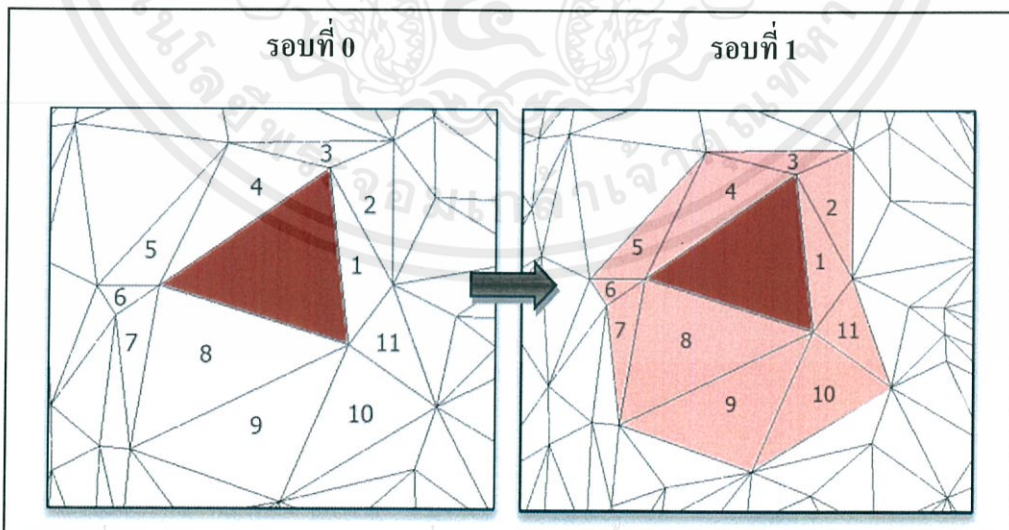
3.5 การดำเนินการตามกฎในทฤษฎีเซลล์ดูลาออร์โตมาตาแบบสามเหลี่ยม

จากทฤษฎีเซลล์ดูลาออร์โตมาตาที่อ้างในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2 จะมีกฎซึ่งเป็นข้อกำหนดสถานะของเซลล์ในแต่ละรอบ ในปัญหาพิเศษนี้ได้นำกฎ 123456789/12 มาใช้เป็นข้อกำหนดสถานะของแต่ละเซลล์กริดแบบสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.42 แสดงจำนวนเพื่อนบ้านของเซลล์สีเทาทั้งหมด 15 เซลล์

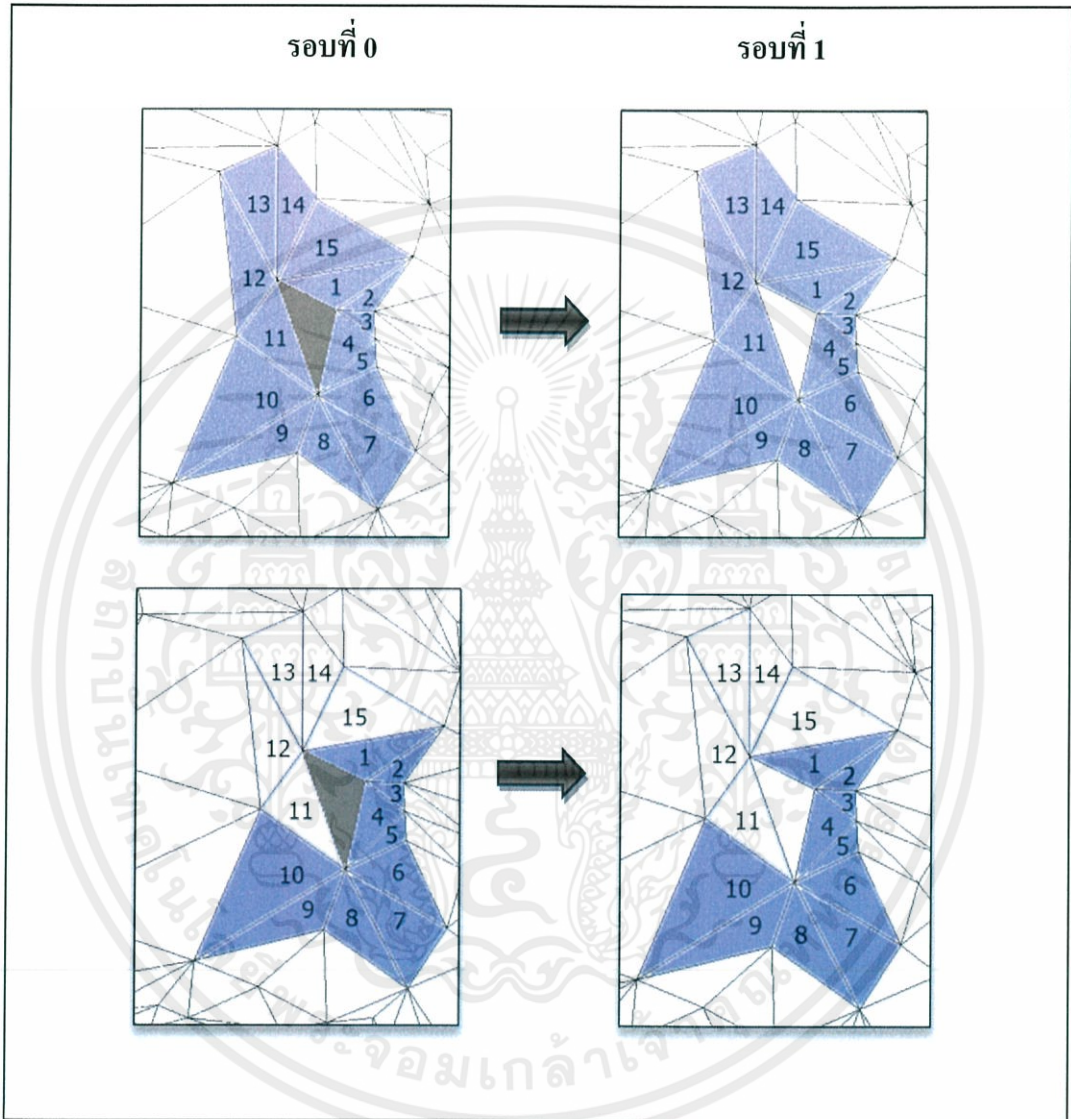
จากรูปที่ 3.42 พิจารณาเซลล์สีเทา จะเห็นว่าเซลล์สีเทามีเซลล์เพื่อนบ้าน หรือมีสามเหลี่ยมที่มีจุดร่วมร่วมกันกับเซลล์สีเทา อีกทั้งหมด 15 สามเหลี่ยม แสดงว่าเซลล์สีเทามีจำนวนเพื่อนบ้าน 15 เซลล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

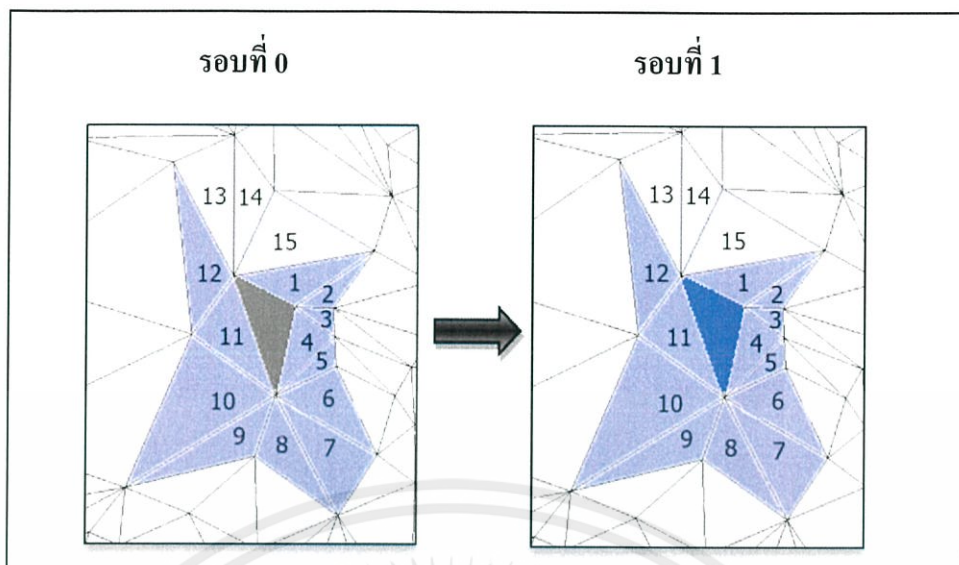
รูปที่ 3.43 แสดงการเปลี่ยนสถานะของเซลล์สีแดง ตามกฎ 123456789/12
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลดแหล่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.43 พิจารณาเซลล์สีแดง จะเห็นว่าเซลล์สีแดงมีเซลล์เพื่อนบ้านจำนวน 11 เซลล์ คือสามเหลี่ยมที่ 1-11 จากกฎ 123456789/12 เมื่อกำหนดให้เซลล์สีแดงมีสถานะมีชีวิต และมีจำนวนเซลล์เพื่อนบ้านจำนวน 1 หรือ 2,3,4,5,6,7,8 หรือ 9 เซลล์ ที่มีสถานะมีชีวิต (สามเหลี่ยมสีชมพู) ซึ่งตรงกับกฎการอยู่รอดที่ใช้ ดังนั้นในรอบถัดไป เซลล์สีแดง ยังคงสถานะมีชีวิต



รูปที่ 3.44 แสดงการเปลี่ยนสถานะของเซลล์สี่เหลี่ยม ตามกฎ 123456789/12

จากรูปที่ 3.44 เมื่อเซลล์สี่เหลี่ยมมีสถานะตาย และมีเซลล์เพื่อนบ้านจำนวน 15 เซลล์ที่มีสถานะมีชีวิต (รูปบน) จะเห็นว่าจำนวนเพื่อนบ้านที่มีสถานะมีชีวิตมากกว่า 12 เซลล์ ไม่เป็นไปตามกฎการเกิดใหม่ ดังนั้นในรอบต่อไปเซลล์สี่เหลี่ยม จะยังคงเป็นสถานะตาย และเมื่อเซลล์สี่เหลี่ยมมีสถานะตาย มีเซลล์เพื่อนบ้านที่มีสถานะมีชีวิตจำนวน 10 เซลล์ (รูปล่าง) น้อยกว่า 12 เซลล์ ดังนั้นไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกหนึ่งขั้นถัดไปจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.45 แสดงการเปลี่ยนสถานะของเซลล์สี่เหลี่ยม ตามกฎ 123456789/12

จากรูปที่ 3.45 กำหนดให้เซลล์สี่เหลี่ยมมีสถานะตาย เมื่อพิจารณาเซลล์เพื่อนบ้านของเซลล์สี่เหลี่ยม จะเห็นว่าจำนวนเซลล์เพื่อนบ้านที่มีสถานะมีชีวิตเท่ากับ 12 เซลล์ (สามเหลี่ยมสีฟ้า) จากกฎ 123456789/12 เซลล์สถานะตายจะเกิดใหม่ก็ต่อเมื่อ มีเซลล์เพื่อนบ้านมีสถานะมีชีวิตเท่ากับ 12 เซลล์ จึงทำให้รอบต่อไปสถานะของเซลล์สี่เหลี่ยม เปลี่ยนไปเป็นสถานะมีชีวิต

3.4 ขั้นตอนการให้แสงสี

การให้แสงสีซึ่งทำให้เกิดเป็นรูปทรงสามมิติ การจำลองการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับวัตถุสามมิติ ในปัญหาพิเศษนี้ได้ใช้หลักการทฤษฎีการลงสีบนพื้นผิววัตถุสามมิติ ตามหลักการ OpenGL โดยจะมีการให้สีที่ตกกระทบกับวัตถุ การให้สีของวัตถุ และสีของแสงที่เข้ามากระทบกับวัตถุ จึงทำให้วัตถุมีมิติ มีความเงา ดังฟังก์ชันการทำงานของรูปที่ 3.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดคุณสมบัติการสะท้อนสี {R,G,B} และความทึบ/ใส ของวัตถุ (A)

```
GLfloat mat_ambientW2[] = {R,G,B,A}; // สีของวัตถุที่ตกกระทบ
```

```
GLfloat mat_diffuseW2[] = {R,G,B,A}; // สีของวัตถุ
```

```
GLfloat mat_specularW2[] = {R,G,B,A}; // แสงที่ตกกระทบวัตถุ
```

```
GLfloat mat_shininessW2[] = {100.0f}; // ความมันวาวของวัตถุ ค่ามากยิ่งมีการสะท้อนของ specular มาก มีค่า 0-128
```

เรียกใช้ฟังก์ชันของวัตถุ ตามคุณสมบัติที่กำหนด

```
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_AMBIENT, mat_ambientW2);
```

```
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_DIFFUSE, mat_diffuseW2);
```

```
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SPECULAR, mat_specularW2);
```

```
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SHININESS, mat_shininessW2);
```

การกำหนดคุณสมบัติของแสงและที่ตั้ง

```
GLfloat lightIntensity[] = {2.7f, 2.7f, 2.7f, 1.0f}; // ความเข้มของแสง ค่ามากยิ่งสว่างมาก
```

```
GLfloat light_position[] = {X, Y, Z, W};
```

//ที่ตั้งแสง W = 1 แสงอยู่ใกล้มีทิศเข้าหาวัตถุตามแนวแกน X, Y, Z เช่นแสงจากดวงอาทิตย์

W = 0 แสงอยู่ใกล้ ตั้งอยู่ที่ตำแหน่ง X, Y, Z แสงกระจายทั่วไม่มีทิศทางโดยเฉพาะ ถ้าอยากให้มีทิศทาง

เรียกใช้ฟังก์ชันของวัตถุ ตามคุณสมบัติที่กำหนด

```
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, light_position);
```

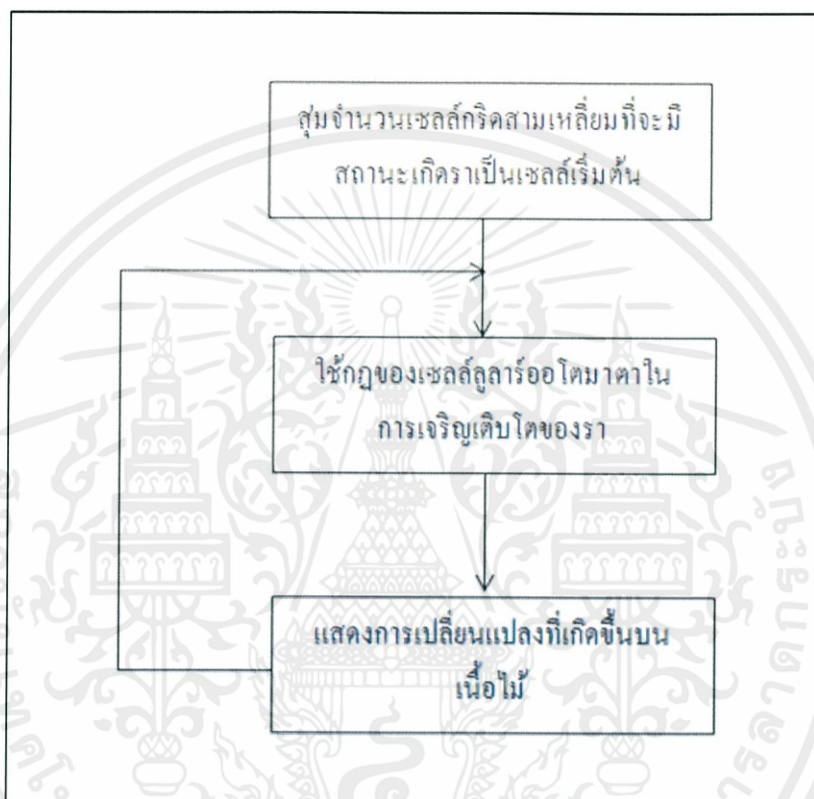
```
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE, lightIntensity);
```

รูปที่ 3.46 ฟังก์ชันการให้แสงสีให้เกิดเป็นรูปทรงสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 หลักการในการจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้

กระบวนการจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้เป็นกระบวนการทำซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.47 โดยมีหลักการดังนี้ ขั้นตอนแรกสุ่มจำนวนเซลล์กิริตสามเหลี่ยมเพื่อจะมีสถานะมีชีวิตเป็นเซลล์เริ่ม จากนั้นดำเนินการตามกฎของเซลล์สตาร์หรือโตะมาตาในการเจริญเติบโตของรา แล้วทำการแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น สุดท้ายทำการวนรอบ



รูปที่ 3.47 แสดงหลักการในการจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ปัญหาพิเศษได้นำเสนอการจำลองการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นบนเนื้อไม้ ได้แก่ การเจริญเติบโตของรา ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลอง

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทำการทดลองเป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแบบพกพา ยี่ห้อ apple รุ่น Macbook Pro มีองค์ประกอบดังนี้

- 1) จอภาพ LED-backlit ไลท์สกรีนขนาด 13 นิ้ว
- 2) หน่วยประมวลผล (CPU) Intel Core i5 Dual-Core 2.5GHz
- 3) หน่วยความจำหลัก (RAM) DDR3 1600 MHz ขนาด 4 GB
- 4) พื้นที่จัดเก็บข้อมูล ฮาร์ดไดรฟ์ 5400 rpm ขนาด 500 GB
- 5) การรองรับกราฟฟิก Intel HD Graphics 4000

4.2.2 ส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์

- 1) ระบบปฏิบัติการ Window 7 Ultimate 64 bit
- 2) โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010
- 3) โปรแกรม Autodesk 3ds Max 2014
- 4) โคลราลีโอเพ่นจีแอล

4.2 ลักษณะข้อมูลและวัสดุสามมิติที่นำมาใช้ในการทดลอง

ข้อมูลที่ได้มาใช้ในการจำลอง จะเป็นการนำจุดมาสร้างเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุสามมิติที่สร้างจากโปรแกรม Autodesk 3ds Max วัสดุสามมิติที่ได้นำมาทดลองในปัญหาพิเศษนี้ ได้แก่ แบบจำลองมาตรฐานกระต่ายสแตนด์ฟอร์ด สี่เหลี่ยมมุมฉาก ข้าง รั้ว ชุดโต๊ะเก้าอี้ ขอนไม้ และมันฝรั่ง

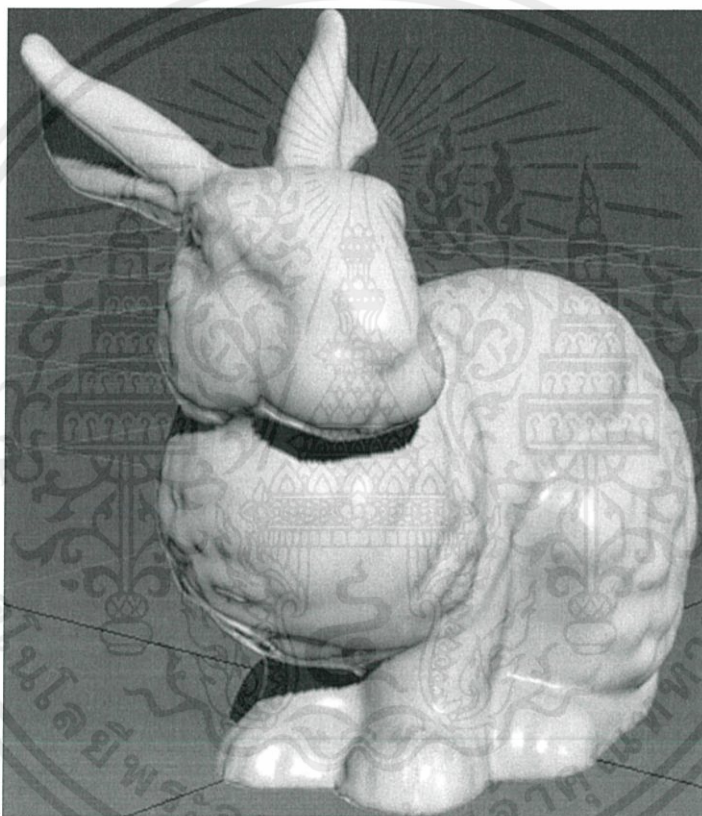
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อผู้ใช้ได้เห็นว่าเอกสารนี้เป็นการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ผลการทดลองโดยใช้ฟังก์ชันแรนดอม ในภาษาซีกำหนดจุดเริ่มต้นของการเจริญเติบโตของราชว

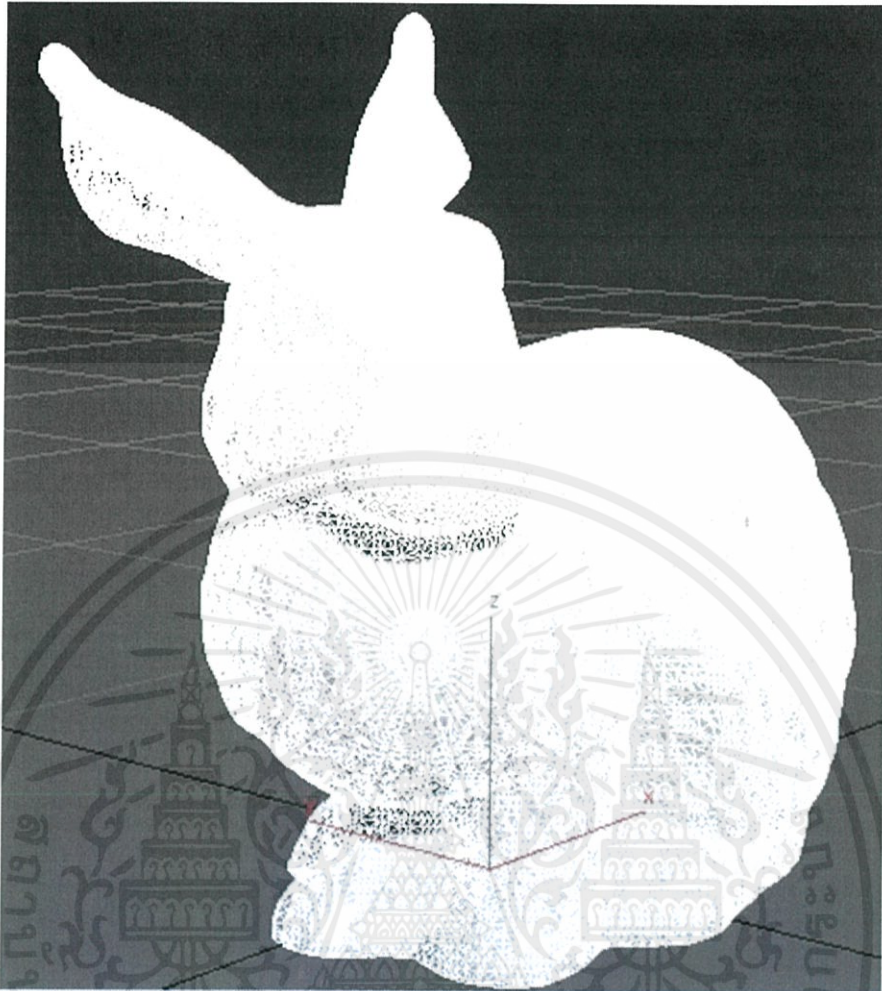
4.3.1.1 กระจ่ายสแตนฟอร์ด

กระจ่ายสแตนฟอร์ด มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 63,118 หน้า ซึ่งได้แสดงรูปทรงดังรูปที่ 4.1 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.2 และแสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.3

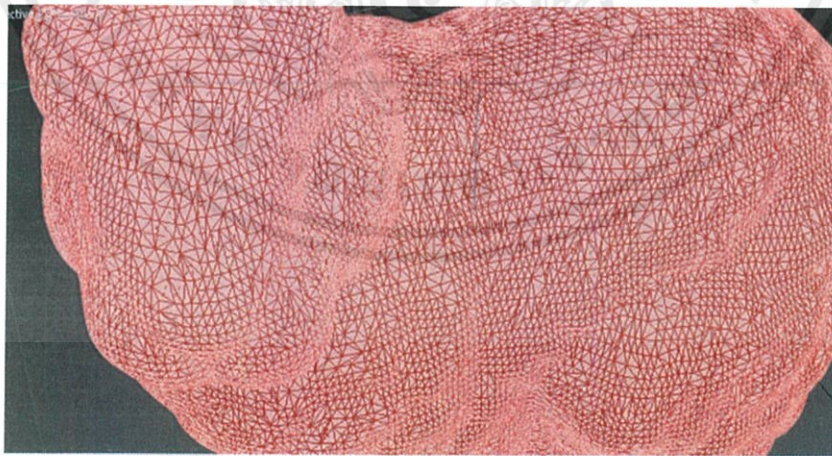


รูปที่ 4.1 แสดงรูปทรงของกระจ่ายสแตนฟอร์ด บนโปรแกรม 3d Max

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของกระต่ายสแตนฟอร์ด

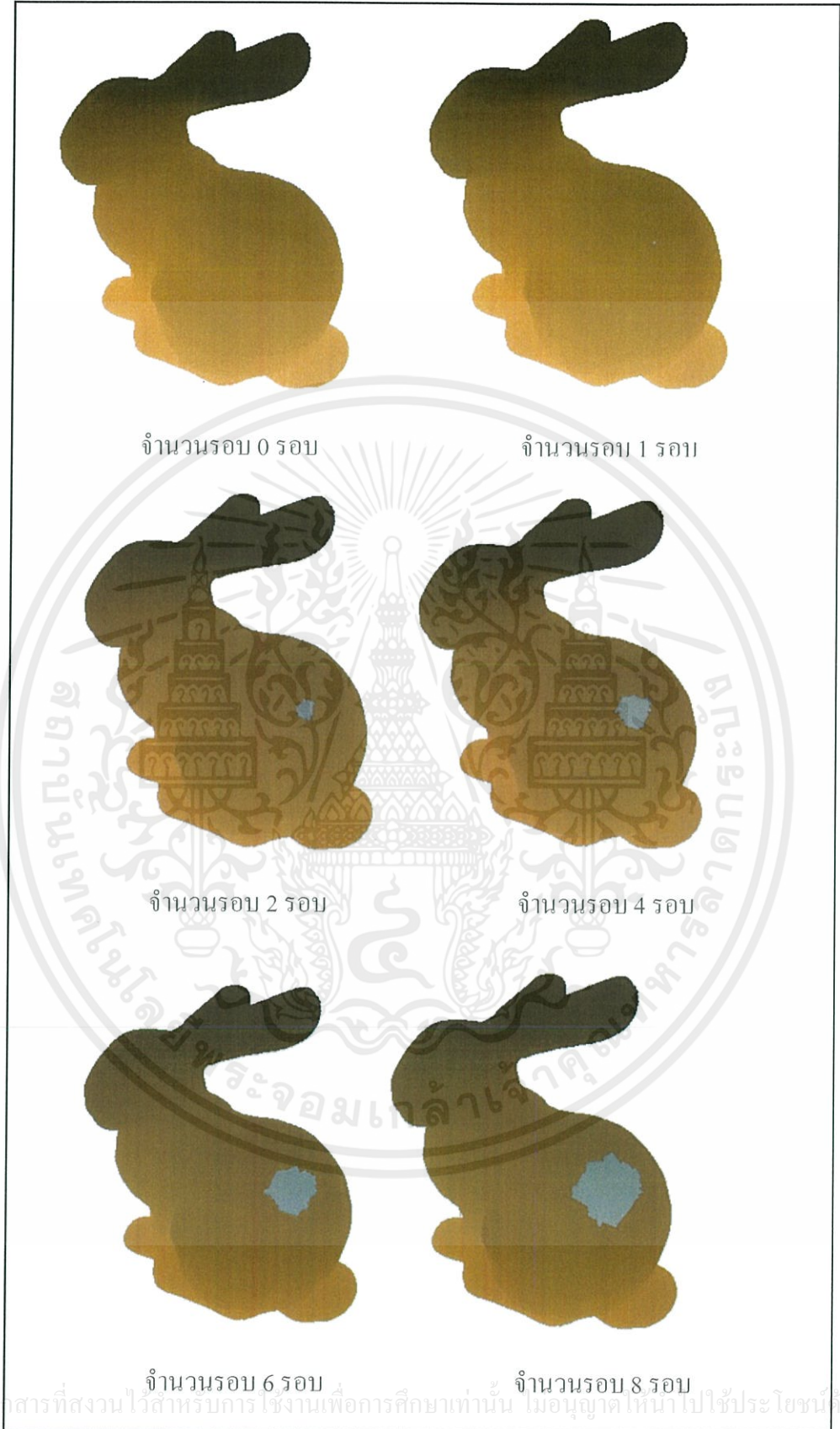


รูปที่ 4.3 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของกระต่ายสแตนฟอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก การจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้ เมื่อกำหนดกฎเป็น 123456789/12 ใช้

เวลาประมาณ 0.11 นาที ผลลัพธ์ของจำลองการเจริญเติบโตแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



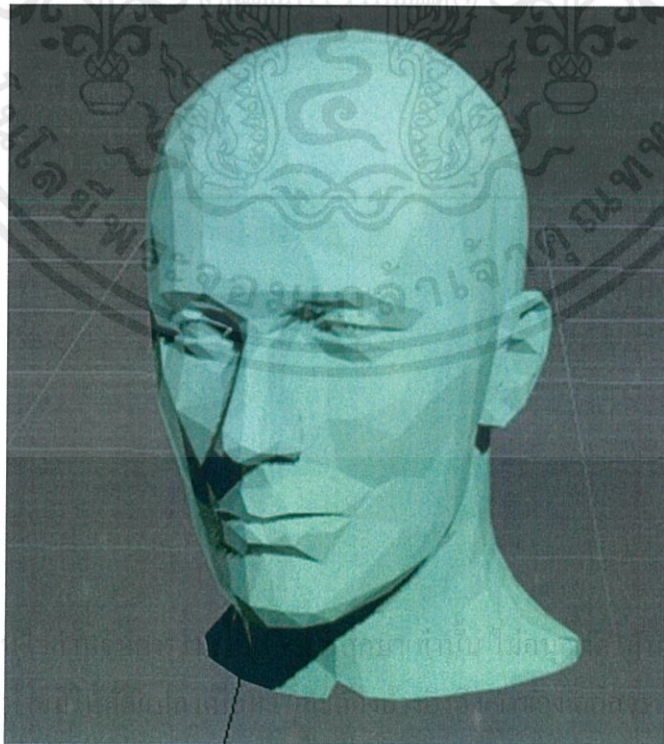
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนกระต่ายสแตนฟอร์ด

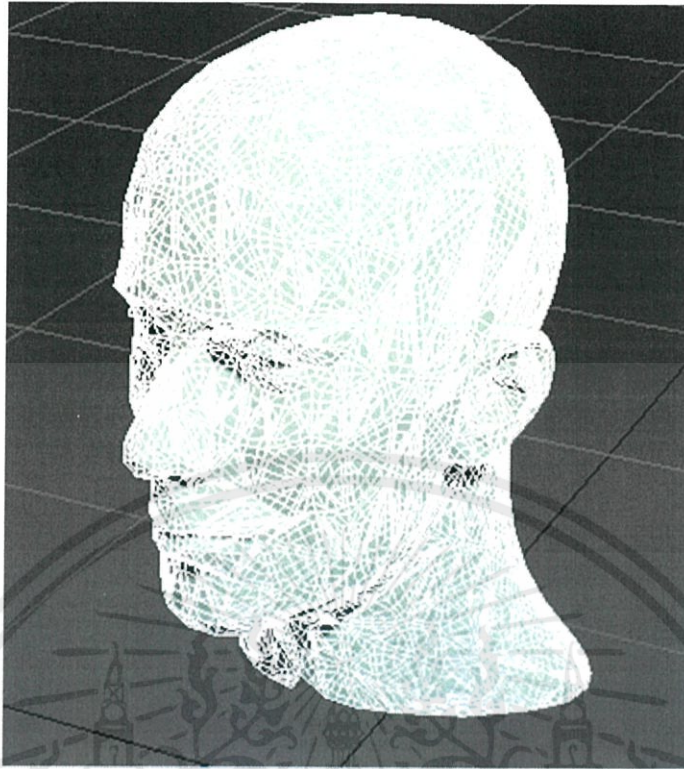
4.3.1.2 ศีรษะมนุษย์

ศีรษะมนุษย์มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 32,453 หน้า ซึ่งได้แสดงรูปทรงดังรูปที่ 4.5 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.6 และแสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.7

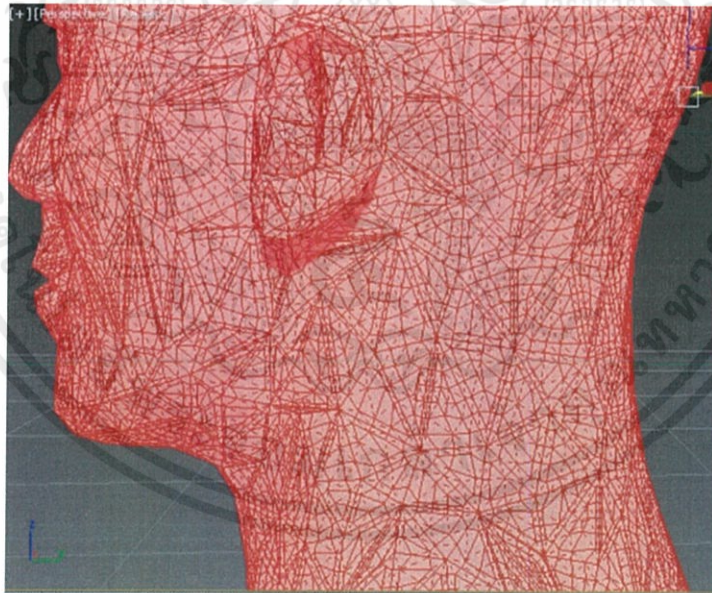


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและเนื้อหาทั้งหมดที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงรูปทรงของศีรษะมนุษย์ บน โปรแกรม 3d Max



รูปที่ 4.6 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของศีรษะมนุษย์



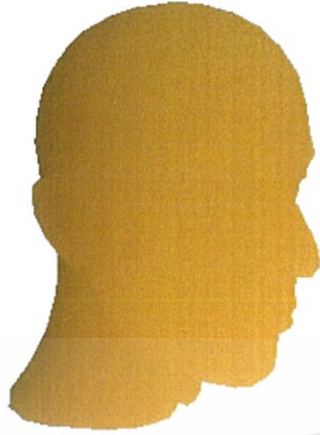
รูปที่ 4.7 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของศีรษะมนุษย์

การจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้ เมื่อกำหนดกฎเป็น 123456789/12 ใช้

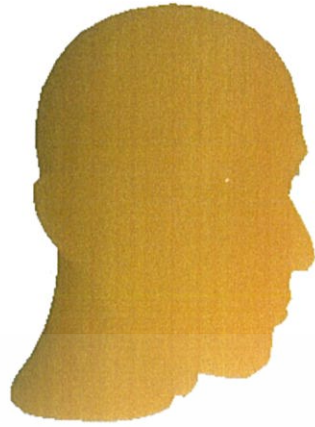
เวลาประมาณ 0.10 นาที ผลลัพธ์ของจำลองการเจริญเติบโตแสดงไว้ในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จำนวนรอบ 0 รอบ



จำนวนรอบ 1 รอบ



จำนวนรอบ 2 รอบ



จำนวนรอบ 4 รอบ



จำนวนรอบ 6 รอบ



จำนวนรอบ 8 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

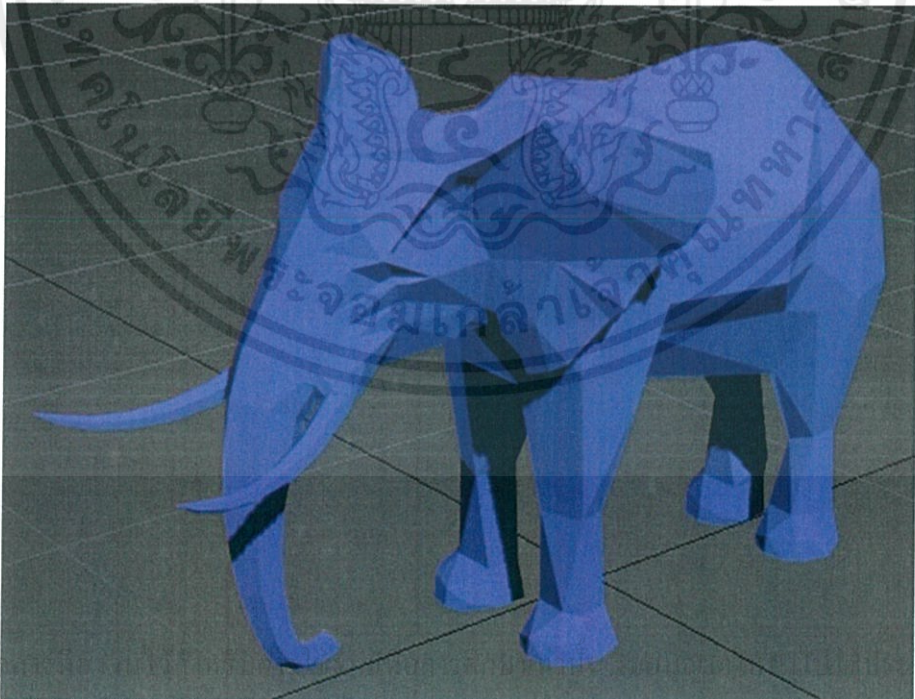


จำนวนรอบ 10 รอบ

รูปที่ 4.8 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนสีรยะมนุษย์

4.3.1.3 ช้าง

ช้างมีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 39,630 หน้า ซึ่งได้แสดงรูปทรงดังรูปที่ 4.9 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.10 และแสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.11

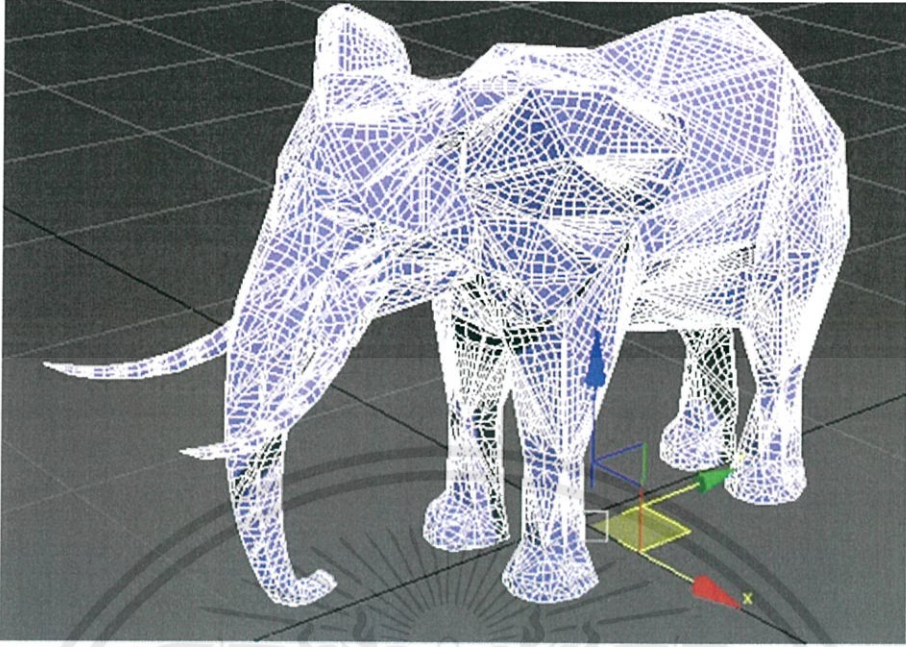


เอกสารนี้เป็นเอกสาร

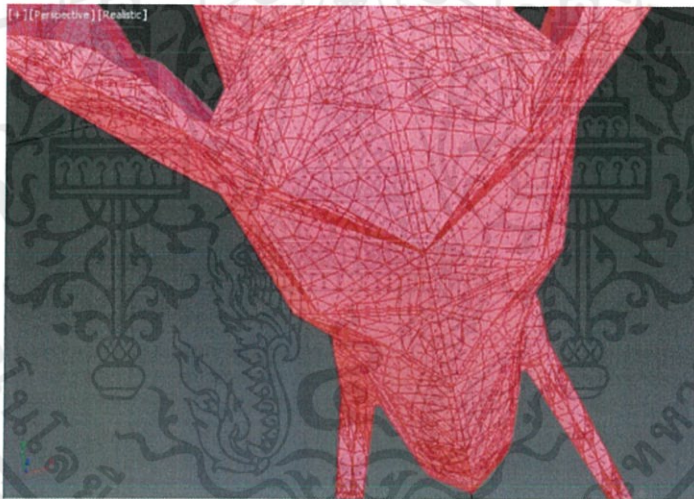
ลิขสิทธิ์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงรูปทรงของช้าง บน โปรแกรม 3d Max



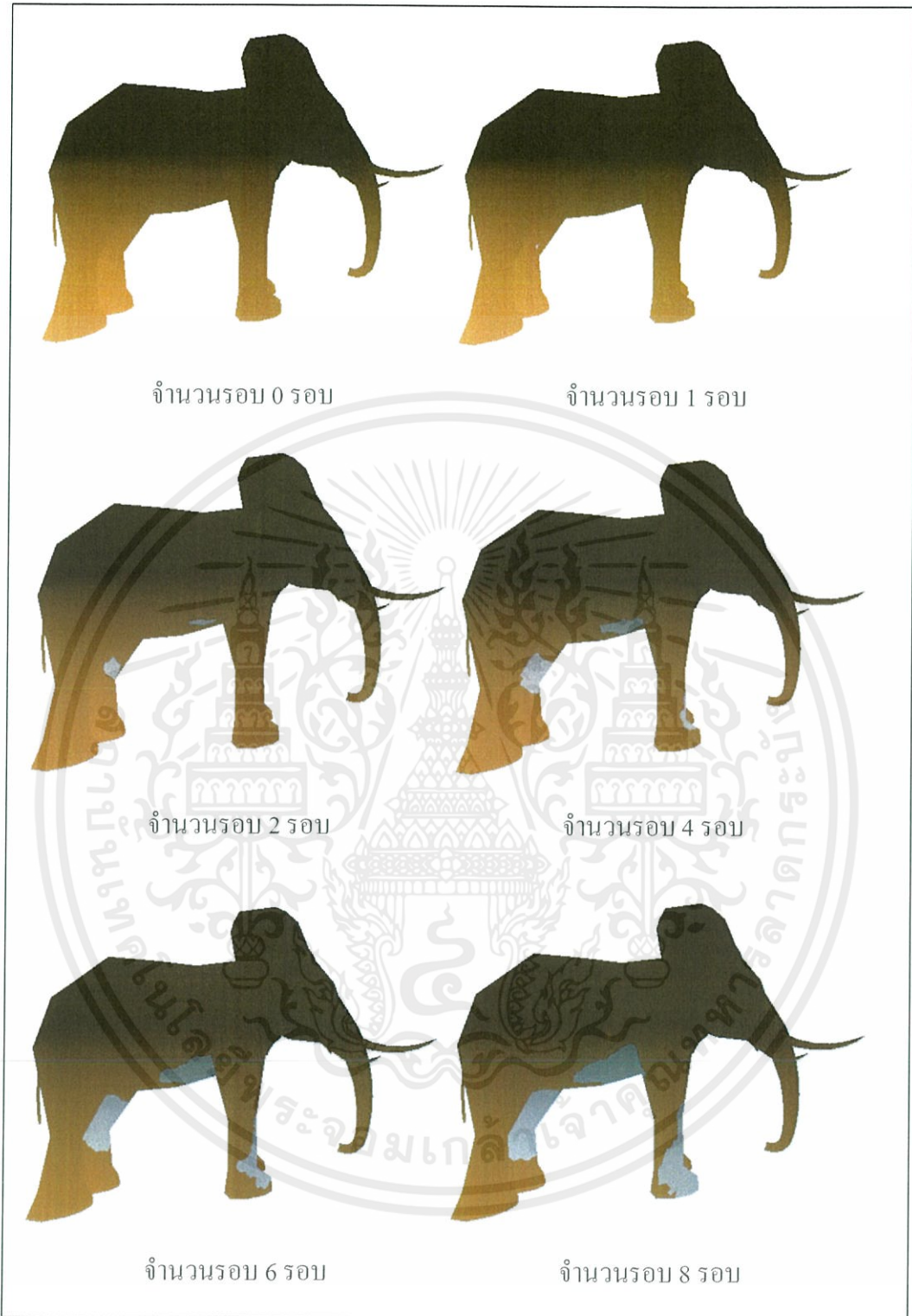
รูปที่ 4.10 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของช้าง



รูปที่ 4.11 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของช้าง

การจำลองการเจริญเติบโตของรามนเนื้อไม้ เมื่อกำหนดกฎเป็น 123456789/12 ใช้เวลาประมาณ 0.10 นาที ผลลัพธ์ของจำลองการเจริญเติบโตแสดงไว้ในรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

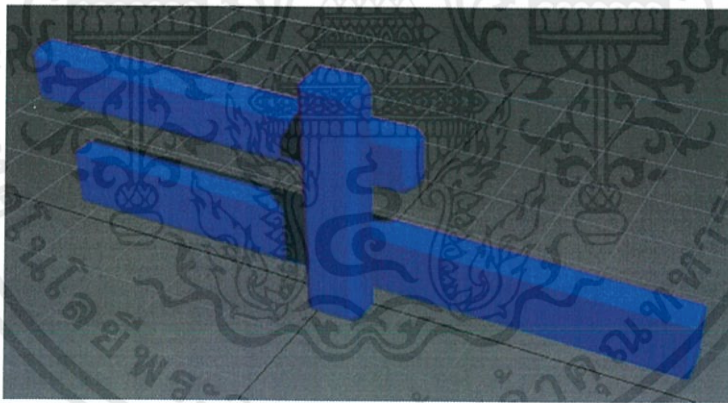


จำนวนรอบ 10 รอบ

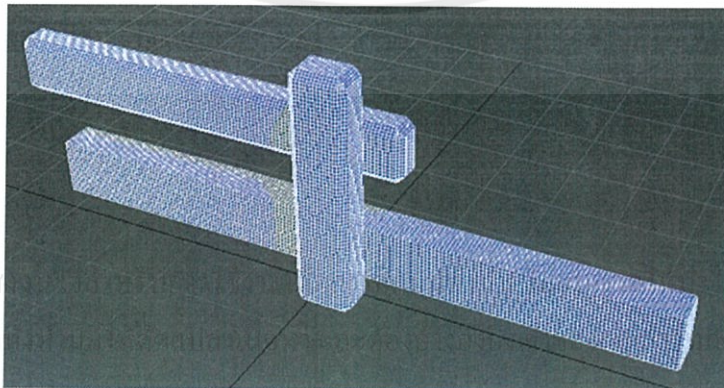
รูปที่ 4.12 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนช้าง

4.3.1.4 รั้ว

รั้วมีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 39,580 หน้า ซึ่งได้แสดงรูปทรงดังรูปที่ 4.13 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.14 และแสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.15



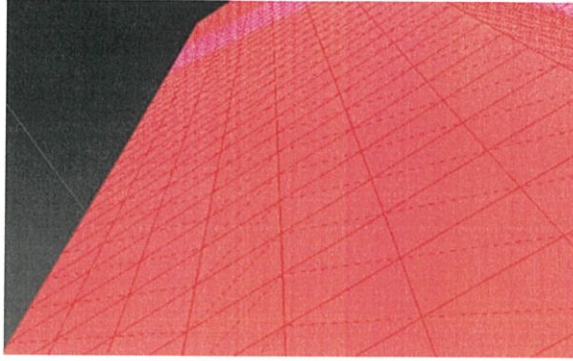
รูปที่ 4.13 แสดงรูปทรงของรั้ว บน โปรแกรม 3d Max



รูปที่ 4.14 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของรั้ว

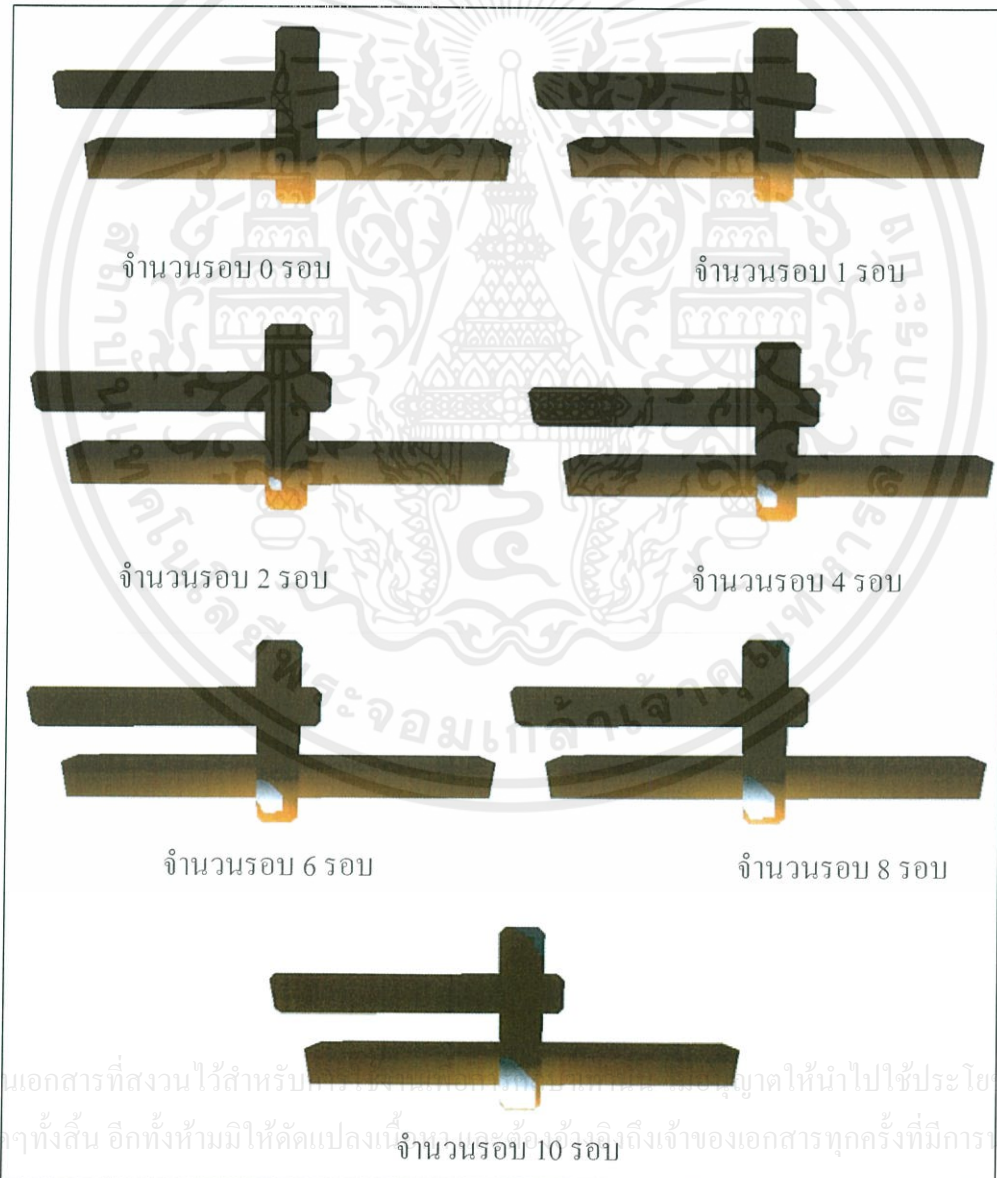
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก

ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รั้วที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของรั้ว

การจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้เมื่อกำหนดกฎเป็น 123456789/12 ใช้เวลาประมาณ 0.10 นาที ผลลัพธ์ของจำลองการเจริญเติบโตแสดงไว้ในรูปที่ 4.16

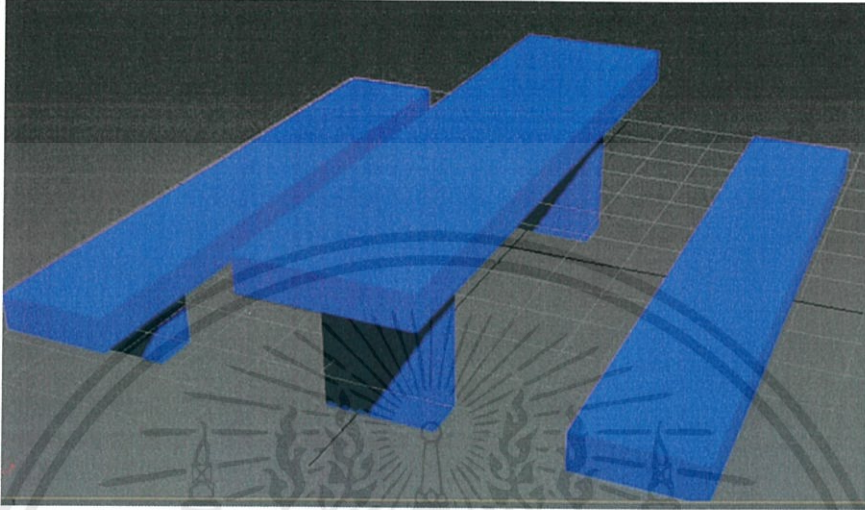


รูปที่ 4.16 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนรั้ว

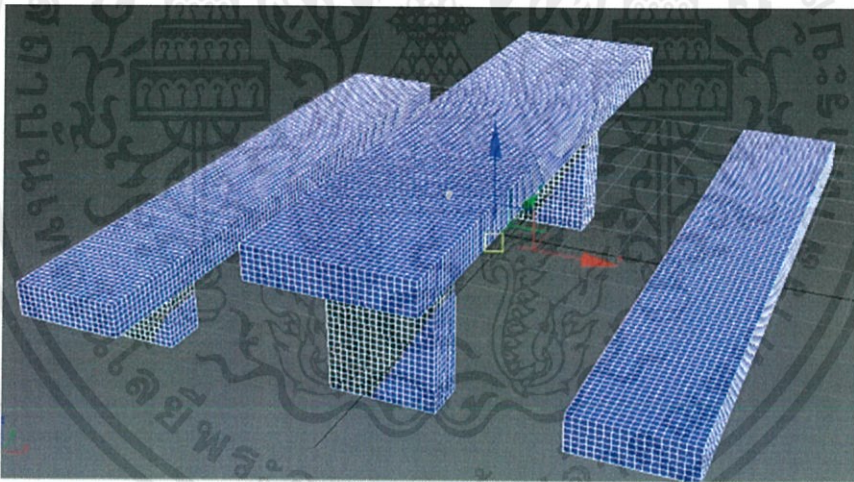
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่หรืออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆที่ปรากฏในเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.5 ชุดโต๊ะเก้าอี้

ชุดโต๊ะเก้าอี้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 43,252 หน้า ซึ่งได้แสดงรูปทรงดังรูปที่ 4.17 และแสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 แสดงรูปทรงของชุดโต๊ะเก้าอี้ บนโปรแกรม 3d Max



รูปที่ 4.18 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของชุดโต๊ะเก้าอี้

การจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้ เมื่อกำหนดกฎเป็น 123456789/12 ใช้เวลาประมาณ 0.10 นาที ผลลัพธ์ของจำลองการเจริญเติบโตแสดงไว้ในรูปที่ 4.19

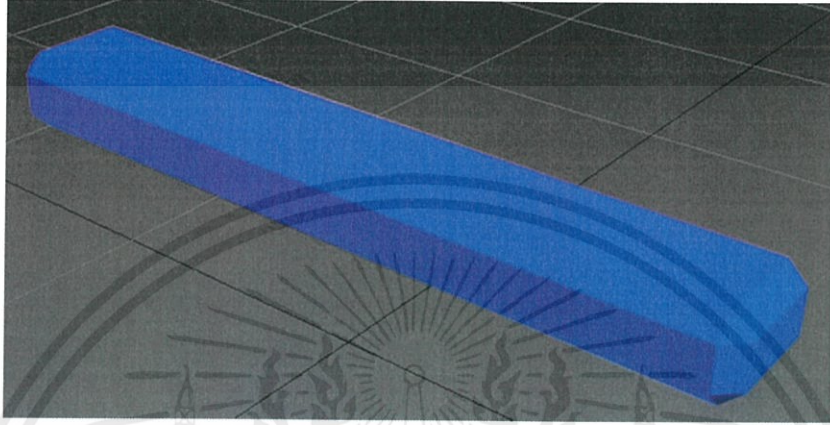
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



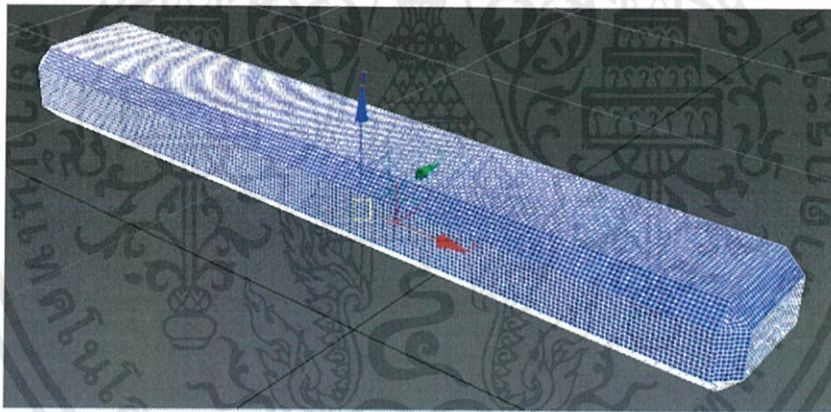
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.19 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนชุดโต๊ะเก้าอี้ ขงนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.6 ขอนไม้

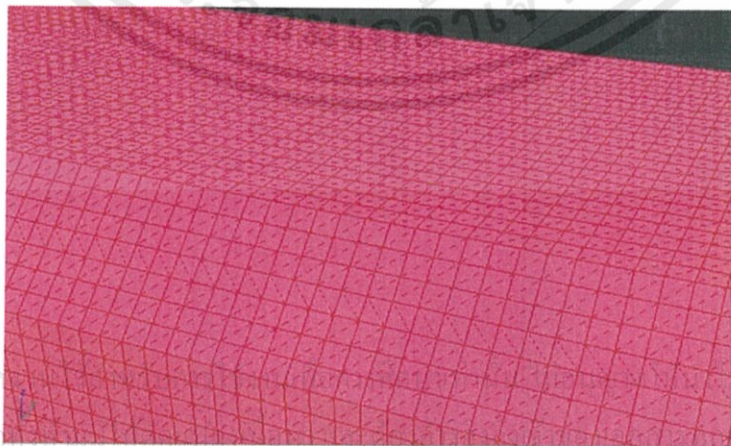
ขอนไม้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 40,436 หน้า ซึ่งได้แสดงรูปทรงดังรูปที่ 4.20 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.21 และแสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.20 แสดงรูปทรงของขอนไม้ บน โปรแกรม 3d Max



รูปที่ 4.21 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของขอนไม้



รูปที่ 4.22 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของขอนไม้

การจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้ เมื่อกำหนดกฎเป็น 123456789/12 ใช้
เวลาประมาณ 0.10 นาที ผลลัพธ์ของการเจริญเติบโตแสดงไว้ในรูปที่ 4.23

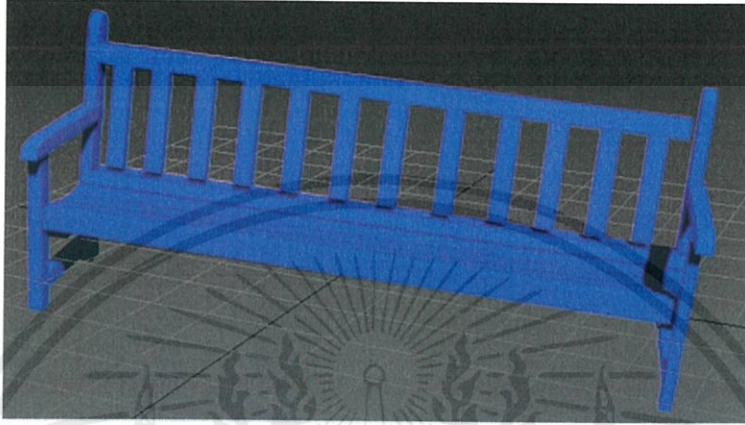


รูปที่ 4.23 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราบนขนไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.7 ม้านั่ง

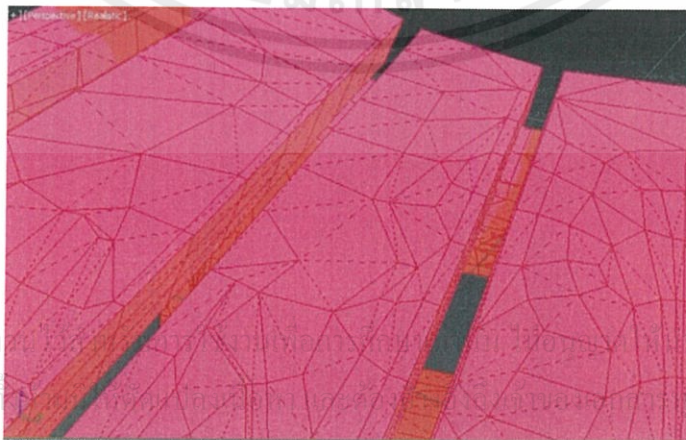
ม้านั่งมีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 23,347 หน้า ซึ่งได้แสดงรูปทรงดังรูปที่ 4.24 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.25 และแสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.24 แสดงรูปทรงของม้านั่ง บน โปรแกรม 3d Max



รูปที่ 4.25 แสดงโครงข่ายสามเหลี่ยมของม้านั่ง



รูปที่ 4.26 แสดงรายละเอียดโครงข่ายสามเหลี่ยมของม้านั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หรือการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมาธิการฯ

การจำลองการเจริญเติบโตของราบนเนื้อไม้ เมื่อกำหนดกฎเป็น 123456789/12 ใช้
เวลาประมาณ 0.10 นาที ผลลัพธ์ของจำลองการเจริญเติบโตแสดงไว้ในรูปที่ 4.27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงการจำลองการเจริญเติบโตของราชวบนม้านั่ง

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส

เปรียบเทียบการกระจายตัวของการเจริญเติบโตของราชวบนม้านั่งไม้ กับงานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอสบนเนื้อไม้ ที่ใช้ทฤษฎีเซลล์อัตโนมัติมาดั่งที่อ้างในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2 โดยวัตถุดูสามมิติที่ได้นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ได้แก่ แบบจำลองมาตรฐานกระดาษสแตนฟอร์ด สิริษะมนุษย์ ช้าง รั้ว ชุดโต๊ะเก้าอี้ ท่อนไม้ และม้านั่ง

4.3.2.1 กระดาษสแตนฟอร์ด







งานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส กำหนดกระดาษสแตนฟอร์ด ให้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 4,968 หน้า ขนาดในการสร้างเซลล์กริดของสามเหลี่ยมแต่ละหน้าเท่ากับ 0.03 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 389,942 เซลล์ ใช้เวลาในการสร้างเซลล์กริดประมาณ 2 นาที เมื่อใช้กฎการเจริญเติบโตของไลเคนเป็น 012345678/3678 และใช้กฎเจริญเติบโตของมอสเป็น 012345678/1478 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 0.20 นาที ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนกระดาษสแตนฟอร์ด

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
0 รอบ		
1 รอบ		
2 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู อาจารย์ อาจารย์ที่มาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลข้างต้นถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ภายใต้ที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
4 รอบ		
6 รอบ		
8 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ไม่ควรเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
10 รอบ		

4.3.2.2 ศีรษะมนุษย์



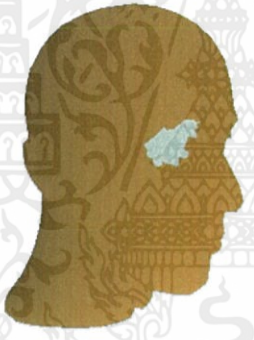



งานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส ได้กำหนดศีรษะมนุษย์ให้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 1,355 หน้า ขนาดในการสร้างเซลล์กริดของสามเหลี่ยมแต่ละหน้าเท่ากับ 0.03 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 325,867 เซลล์ ใช้เวลาในการสร้างเซลล์กริดประมาณ 4.30 นาที เมื่อใช้กฎการเจริญเติบโตของไลเคนเป็น 012345678/3678 และใช้กฎเจริญเติบโตของมอสเป็น 012345678/1478 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 0.28 นาที ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนศิระษะมนุษย์

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
0 รอบ		
1 รอบ		
2 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราขาว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
4 รอบ		
6 รอบ		
8 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


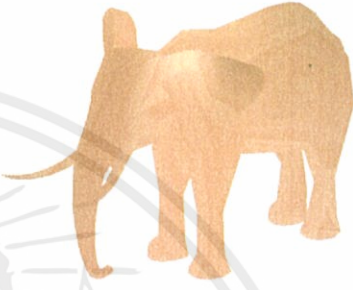


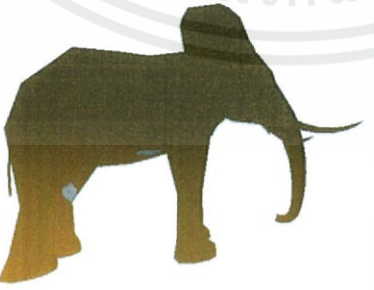
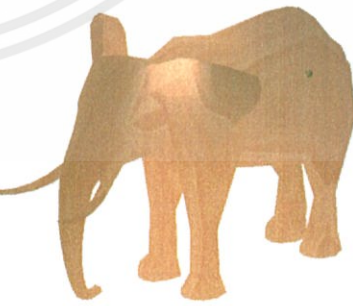
จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
10 รอบ		

4.3.2.3 ช้าง


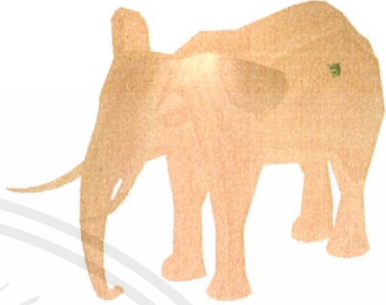

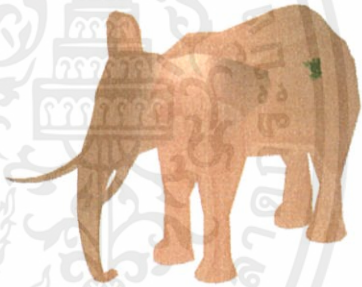

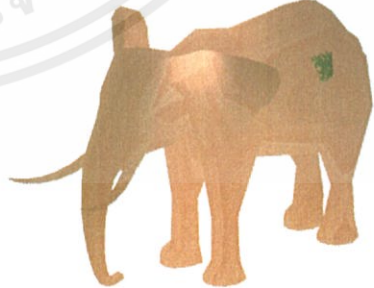
งานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส ได้กำหนดช้างให้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 1,148 หน้า ขนาดในการสร้างเซลล์กริดของสามเหลี่ยมแต่ละหน้าเท่ากับ 0.05 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 325,867 เซลล์ ใช้เวลาในการสร้างเซลล์กริดประมาณ 6 นาที 70 วินาที เมื่อใช้กฎการเจริญเติบโตของไลเคนเป็น 012345678/3678 และใช้กฎเจริญเติบโตของมอสเป็น 012345678/1478 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 0.28 นาที ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

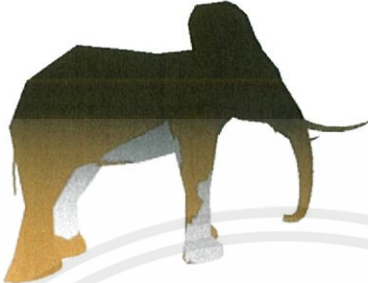
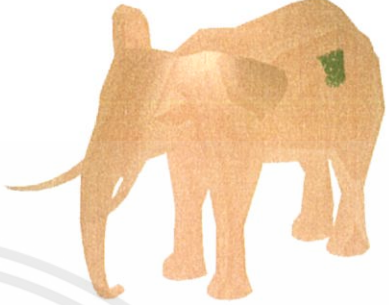
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนช้าง

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
0 รอบ		
1 รอบ		
2 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
4 รอบ		
6 รอบ		
8 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้








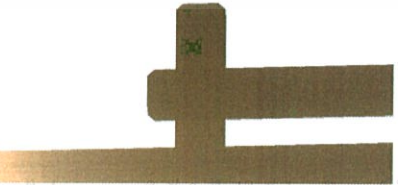
จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
10 รอบ		

4.3.2.4 รั้ว







งานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส ได้กำหนดรั้วให้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 338 หน้า ขนาดในการสร้างเซลล์กริดของสามเหลี่ยมแต่ละหน้าเท่ากับ 0.2 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 254,884 เซลล์ ใช้เวลาในการสร้างเซลล์กริดประมาณ 2.17 นาที เมื่อใช้กฎการเจริญเติบโตของไลเคนเป็น 012345678/3678 และใช้กฎเจริญเติบโตของมอสเป็น 012345678/1478 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 0.12 นาที ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชขาว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนร้ว

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชขาว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
0 รอบ		
1 รอบ		
2 รอบ		
4 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

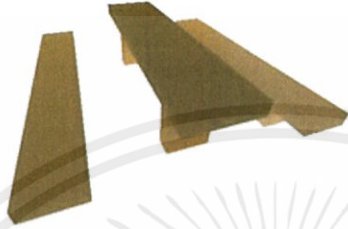





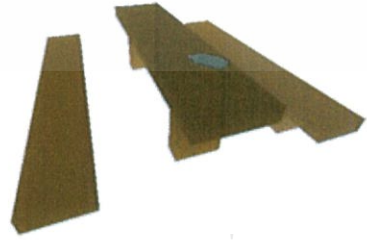
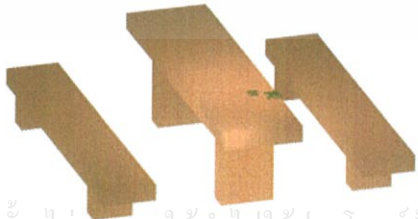
จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
6 รอบ		
8 รอบ		
10 รอบ		

4.3.2.5 ชุดโต๊ะเก้าอี้

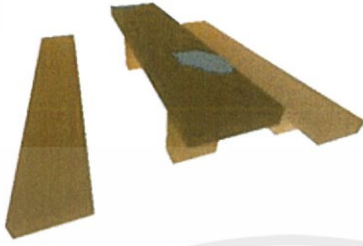
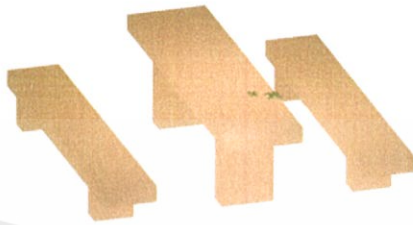




งานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส ได้กำหนดชุดโต๊ะให้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 436 หน้า ขนาดในการสร้างเซลล์กริดของสามเหลี่ยมแต่ละหน้าเท่ากับ 0.5 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 276,912 เซลล์ ใช้เวลาในการสร้างเซลล์กริดประมาณ 1.25 นาที เมื่อใช้กฎการเจริญเติบโตของไลเคนเป็น 012345678/3678 และใช้กฎเจริญเติบโตของมอสเป็น 012345678/1478 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 0.10 นาที ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนชุดโต๊ะเก้าอี้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
0 รอบ		
1 รอบ		
2 รอบ		
4 รอบ		











เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
6 รอบ		
8 รอบ		
10 รอบ		

4.3.2.6 ขอนไม้

งานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส ได้กำหนดชุดโต๊ะให้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 240 หน้า ขนาดในการสร้างเซลล์กริดของสามเหลี่ยมแต่ละหน้าเท่ากับ 0.1 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 55,143 เซลล์ ใช้เวลาในการสร้างเซลล์กริดประมาณ 0.50 นาที เมื่อใช้กฎการเจริญเติบโตของไลเคนเป็น 012345678/3678 และใช้กฎเจริญเติบโตของมอสเป็น 012345678/1478 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 0.15 นาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผลิตภัณฑ์การเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว กับการจำลองการไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้เจริญเติบโตของไลเคนและมอส แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชขาว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนขอนไม้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชขาว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
0 รอบ		
1 รอบ		
2 รอบ		
4 รอบ		
6 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำแบบซ้ำหรือเผยแพร่ขึ้นสู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
8 รอบ		
10 รอบ		

4.3.2.7 ม้านั่ง

งานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส กำหนดชุดโต๊ะให้มีจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมเท่ากับ 240 หน้า ขนาดในการสร้างเซลล์กริดของสามเหลี่ยมแต่ละหน้าเท่ากับ 0.1 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 55,143 เซลล์ ใช้เวลาในการสร้างเซลล์กริดประมาณ 16 นาที เมื่อใช้กฎการเจริญเติบโตของไลเคนเป็น 012345678/3678 และใช้กฎเจริญเติบโตของมอสเป็น 012345678/1478 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 0.22 นาที ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชวกับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว (ทางซ้าย) กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส (ทางขวา) บนม้านั่ง

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
0 รอบ		
1 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส
2 รอบ		
4 รอบ		
6 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบ	การเจริญเติบโตของราชว	การเจริญเติบโตของไผ่คนและมอส
8 รอบ		
10 รอบ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบรายละเอียดโครงสร้างวัสดุสามมิติของการจำลองการเจริญเติบโตของราขาว กับการจำลองการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส

วัสดุสามมิติ	ราขาว	ไลเคนและมอส	
	จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม	จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม	จำนวนเซลล์กริดสี่เหลี่ยม
กระต่ายสแตนฟอร์ด	63,118	4,968	389,942
ศิระมณูชัย	32,453	1,355	385,867
ช้าง	39,630	1,148	290,013
รั้ว	39,580	388	254,884
ชุดโต๊ะเก้าอี้	43,252	436	276,912
ขอนไม้	40,436	240	55,143
ม้านั่ง	23,347	1,252	530,468




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสร้างโครงสร้างวัสดุสามมิติ และระยะเวลาในการจำลองของการเจริญเติบโตของรากขาบกับการเจริญเติบโตของไลเคนและมอส

วัสดุสามมิติ	การเจริญเติบโตของรากขาบ		การเจริญเติบโตของไลเคนและมอส	
	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)	เวลาแสดงการจำลอง (นาที)	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)	เวลาแสดงการจำลอง (นาที)
กระดาษสแตนฟอร์ด	1.56	0.11	2	0.20
ศิระษมนุชย์	0.27	0.10	4.30	0.28
ช้าง	0.40	0.10	6.50	0.28
รู	0.40	0.10	2.17	0.12
ชุดโต๊ะเก้าอี้	0.48	0.10	1.25	0.10
ขอนไม้	0.42	0.10	0.50	0.15
ม้านั่ง	0.14	0.10	1.6	0.22

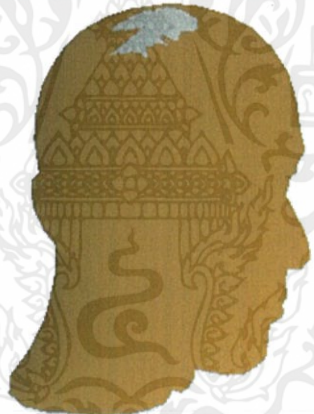

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของรายนกระด้ายสแตนฟอร์ด เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน

จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม (หน้า)	ผลการจำลองการเจริญเติบโตของรา (4 รอบ)	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)
18,932		0.09
44,180		0.54
63,118		1.56

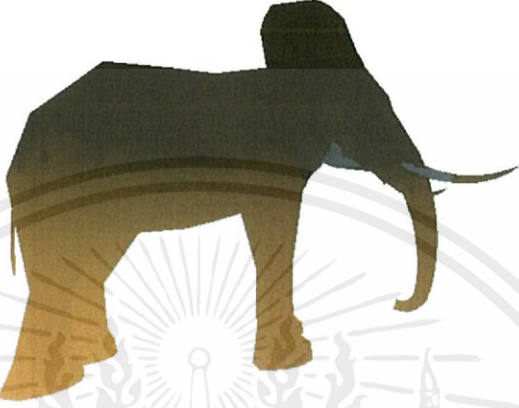


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนสีระฆะมนุษย์ เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน

จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม (หน้า)	ผลการจำลองการเจริญเติบโตของรา (4 รอบ)	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)
14,930		0.06
22,137		0.12
32,453		0.27

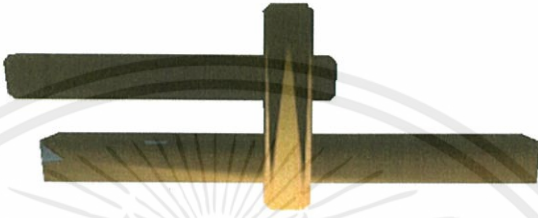


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของระบบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนช้าง เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน

จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม (หน้า)	ผลการจำลองการเจริญเติบโตของรา (4 รอบ)	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)
21,802		0.12
23,646		0.15
39,630		0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนร้าว เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน

จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม (หน้า)	ผลการจำลองการเจริญเติบโตของรา (4 รอบ)	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)
11,824		0.03
21,690		0.12
39,580		0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของรายนชุดโต๊ะเก้าอี้ เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน

จำนวนหน้า ของสามเหลี่ยม (หน้า)	ผลการจำลองการเจริญเติบโตของรา (4 รอบ)	เวลาในการ สร้างโมเดล (นาที)
17,568		0.08
26,128		0.18
43,252		0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนขนไหม เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน

จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม (หน้า)	ผลการจำลองการเจริญเติบโตของรา (4 รอบ)	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)
15,334		0.06
25,374		0.17
40,436		0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตของราบนาน้ำนึ่ง เมื่อจำนวนหน้าของสามเหลี่ยมแตกต่างกัน

จำนวนหน้าของสามเหลี่ยม (หน้า)	ผลการจำลองการเจริญเติบโตของรา (4 รอบ)	เวลาในการสร้างโมเดล (นาที)
13,985		0.05
16,179		0.06
23,347		0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราชว เมื่อเปรียบเทียบกับรูปต้นแบบ



รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายต้นแบบที่นำมาทำการจำลองเปรียบเทียบ

จากรูปที่ 4.28 เป็นรูปผลส้มที่มีการเกิดราชวขึ้น เราจึงทำการจำลองวัตถุสามมิติเป็นผลส้ม แสดงดังรูปที่ 4.29 และทำการจำลองการเกิดราชวบนผลส้ม แสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 โมเดลผลส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงผลการจำลองการเกิดราชาวบนผลส้ม

เมื่อเปรียบเทียบการจำลองการเจริญเติบโตของราขาวโดยใช้ทฤษฎีเซลล์สตาร์อโตนมาตา กับการเกิดราขาวบนผลส้มตามธรรมชาติ พบว่าการเกิดราขาวโดยการจำลองมีอัตราการเกิดที่ใกล้เคียงตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การจำลองการเจริญเติบโตของรากับนวัตถุสามมิติ ได้นำทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตามาใช้ในการเลียนแบบการเจริญเติบโตของรา ซึ่งเราถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตในระดับเซลล์ เพื่อให้ใช้ทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตามนพื้นผิวสามมิติได้ จึงนำทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบน นวัตถุสามมิติด้วยเซลล์ลูลาร์อโตมาตาแบบสามเหลี่ยมมาใช้ โดยการสร้างกริดแบบสามเหลี่ยมและให้แสงสีแกว้ตดูเพื่อให้เกิดเป็นนวัตถุมีรูปทรงสามมิติ ปัญหาพิเศษนี้ได้ทำการทดลองการจำลองการเจริญเติบโตของรากับเนื้อไม้ โดยทำการทดลองบนนวัตถุสามมิติทั้งหมด 7 แบบ ได้แก่ แบบจำลองมาตรฐานกระดาษสแตนฟอร์ด ศิริษะมนุษย์ ช้าง ร้ว ชูด โตะเก๊า อี้ ขอนไม้ และมันั่ง ซึ่งพบว่าทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบนนวัตถุสามมิติด้วยเซลล์ลูลาร์อโตมาตาแบบสามเหลี่ยม และทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตาสามารถเลียนแบบการเจริญเติบโตของรากับเนื้อไม้เมื่อเวลาผ่านไปได้อย่างต่อเนื่อง และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกิดการงอกตามธรรมชาติ พบว่าการงอกของราโดยการจำลองนั้น มีอัตราการเกิดที่ใกล้เคียงตามธรรมชาติ

การจำลองการเจริญเติบโตของรากับนวัตถุสามมิติในปัญหาพิเศษนี้ ได้นำสามเหลี่ยมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายแบบสามเหลี่ยมมาเป็นเซลล์กริด ทำให้เวลาในการสร้างกริด การให้แสงสีแกว้ตดูสามมิติ สามารถทำได้รวดเร็วกว่า จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของรามีความรวดเร็วมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของไลเคนและมอสบนเนื้อไม้ ที่มีเซลล์กริดเป็นแบบสี่เหลี่ยมซึ่งเกิดจากการแบ่งเซลล์บนพื้นผิวนวัตถุสามมิติที่มีโครงข่ายแบบสามเหลี่ยม

5.2 แนวทางการพัฒนา

สามารถนำทฤษฎีการสร้างพื้นผิวบนนวัตถุสามมิติ และทฤษฎีเซลล์ลูลาร์อโตมาตาไปใช้ในการจำลองการเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติของสิ่งอื่นได้ เช่น กระบวนการงอกของเนื้อไม้ เกิดรอยแตกของหิน เกิดการกัดกร่อนของหิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chieng Thai Trading Co.,Ltd. (2556). *เชื้อราทำลายไม้(Wood Destroying Fungi)*. สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2556, จาก :
http://www.boracarethai.com/index.php?option=com_content&task=view&id=87&Itemid=30
- [2] Philippe Even, Stéphane Gobron. (2548). *Interactive Three-Dimensional Reconstruction and Weathering Simulations on Buildings*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2556, จาก : [http://www.stephane-gobron.net/Core/Publications Papers/2005_CIPA05.pdf](http://www.stephane-gobron.net/Core/Publications%20Papers/2005_CIPA05.pdf)
- [3] Wisconsin. (2543). *Mold and Mildew on Wood: Causes and Treatment*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2556, จาก :
http://usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?contentidonly=true=shutdown_procedures.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้