

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากภาพตัดขวาง

IMPROVEMENT OF SURFACE RENDERING FROM  
CROSS-SECTION IMAGES



ทวีโชค วัฒนารักษ์  
สุริย์รัตน์ จำปาทอง

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

b.....  
i.....

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เลขหมู่.....ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เลขทะเบียน.....59401.....  
อื่นทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
วัน,เดือน,ปี..... 4 ต.ค. 2549

**IMPROVEMENT OF SURFACE RENDERING FROM  
CROSS-SECTION IMAGES**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2005**


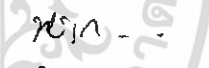
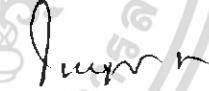

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากภาพตัดขวาง  
IMPROVEMENT OF SURFACE RENDERING FROM CROSS-SECTION  
IMAGES

ชื่อนักศึกษา นาย ทวีโชค วัฒนารักษ์ 45050024  
นางสาว สุรีย์รัตน์ จำปาทอง 45050064

ภาควิชา คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์  
สาขาวิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ไพโรบลย์ พันธรัญพงษ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.พัชรินทร์ เหมโชติ

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2548

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.กาญจนา คำนึ่งนิจ	
กรรมการ อ.พีระศักดิ์ อินทรไพบลย์	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ไพโรบลย์ พันธรัญพงษ์	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.พัชรินทร์ เหมโชติ	

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ บุญจริง)

หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากภาพตัดขวาง	
ชื่อนักศึกษา	นาย ทวีโชค วัฒนารักษ์	45050024
	นางสาว สุรีย์รัตน์ จำปาทอง	45050064
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์	
สาขาวิชา	คณิตศาสตร์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2548	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ไพโรบลย์ พันธรักษ์พงษ์	
	รศ.พัชรินทร์ เหมโชติ	

### บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษนี้เป็นการศึกษาการสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากภาพตัดขวาง โดยอัลกอริทึมที่นำมาใช้ได้แก่ (1) วิธีค่าเฉลี่ย (2) วิธีระยะขอบภาพ (3) วิธีระดับค่าเทา (4) วิธีเวกเตอร์ตั้งฉาก และ (5) วิธีเกรเดียนท์ ได้ทดสอบอัลกอริทึมโดยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ Builder เวอร์ชัน 6.0 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP และผลการศึกษาพบว่าวิธีเวกเตอร์ตั้งฉาก จะให้คุณภาพของภาพดีกว่าวิธีอื่น ๆ

<b>Special Project Title</b>	IMPROVEMENT OF SURFACE RENDERING FROM CROSS-SECTION IMAGES
<b>Students</b>	Mr. Taweechoke Wanuyaruk 45050024 Miss Surcerat Jumpatong 45050064
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Department</b>	Mathematics and Computer Science, Faculty of science
<b>Programme</b>	Applied Mathematics
<b>Academic Year</b>	2005
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc.Prof. Praiboon Pantaragphong Assoc.Prof. Patcharin Hemchote

### ABSTRACT

This special project is a study on algorithms for surface rendering from 2D cross-sectional images. These algorithms include (1) Average, (2) Depth Shading, (3) Gray-Level Shading, (4) Normal Vector, and (5) Gradient Shading. The project implemented, for experiments, the algorithms using C++ Builder Version 6.0 on Windows XP operating system. The result shows that the Normal Vector algorithm gives higher quality than other algorithms.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากภาพตัดขวางฉบับนี้สามารถสำเร็จล่วงด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านดังต่อไปนี้

คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งให้กำเนิด การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนในเรื่องการศึกษา และเป็นกำลังใจให้อย่างเสมอมา

รศ. ไพรบุลย์ พันธรักษ์พงษ์ และ รศ. พชรินทร์ เหมโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ซึ่งคอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำปัญหาพิเศษ ตลอดจนให้ความรู้ ความเข้าใจ และการอบรมสั่งสอนในทุกๆ ด้าน

ครู อาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่กรุณาให้การอบรม สั่งสอนและให้ความรู้ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้

คณะผู้จัดทำ  
กุมภาพันธ์ 2549

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII

<b>บทที่ 1</b> บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	2
<b>บทที่ 2</b> ความรู้เบื้องต้นของภาพ.....	3
2.1 องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของข้อมูลภาพ.....	3
2.2 ลักษณะของภาพ.....	3
2.2.1 ภาพเชิงพื้นที่.....	3
2.2.2 ภาพเชิงปริมาตร.....	4
2.3 ที่มาของภาพตัดขวาง.....	5
2.3.1 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะ โดยใช้รังสีเอกซ์.....	7
2.3.1.1 วิธีการรวบรวมข้อมูลของเครื่อง CT.....	7
2.3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	9
2.3.1.3 วิธีการสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะ.....	11
2.3.1.3.1 การสร้างภาพด้วยวิธีแบ็กโพรเจกชัน.....	11
2.3.1.3.2 การสร้างภาพด้วยวิธีอิทธิทธิเทอเรชัน.....	12
2.3.1.3.3 การสร้างภาพด้วยวิธีฟิลเตอร์แบ็กโพรเจกชัน.....	13
2.3.2 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะ โดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แม่เหล็ก.....	14
2.3.2.1 การแยกเนื้อเยื่อตามระนาบตัดขวาง.....	15
2.3.2.2 การหาตำแหน่งของสัญญาณภายในเนื้อเยื่อหนึ่งแผ่น.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>บทที่ 3 การประมวลผลและการปรับปรุง.....</b>	<b>19</b>
3.1 การแยกแยะวัตถุภายในภาพ.....	20
3.2 ระบบพิกัดในการอ้างอิงข้อมูล.....	20
3.3 การประมวลผลก่อน.....	21
3.4 การประมาณค่าภายในช่วงของข้อมูลภาพ.....	21
3.4.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเบียร์เรสเนเบอร์.....	22
3.4.2 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น.....	23
3.5 การแปลงเรขาคณิตของข้อมูลภาพ.....	25
3.5.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Translation).....	26
3.5.2 การหมุนวัตถุ (Rotation).....	26
3.6 การกำหนดพิกัดบนพื้นผิวของวัตถุในระบบพิกัด 3 มิติ.....	28
3.7 การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว.....	29
3.8 การคำนวณปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ.....	31
3.8.1 การกำเนิดภาพในธรรมชาติ.....	31
3.8.2 แหล่งกำเนิดแสง.....	32
<b>บทที่ 4 การคำนวณปริมาณความเข้มของแสงและผลการทดลอง.....</b>	<b>34</b>
4.1 โครงสร้างของภาพตัดขวาง.....	35
4.2 การออกแบบขั้นตอนวิธีเพื่อเก็บข้อมูลภาพ.....	35
4.3 การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำ.....	36
4.4 การแสดงผลภาพ.....	37
4.5 การคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสง.....	37
4.5.1 การคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธีเฉลี่ยค่าสี่ทุกจุด.....	37
4.5.2 การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Depth Shading.....	42
4.5.3 การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Gray – Level Shading.....	50
4.5.4 การให้แสงแก่พื้นผิวของวัตถุโดยใช้ข้อมูลของเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว.....	58
4.5.5 การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Gradient Shading.....	68
<b>บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางการพัฒนา.....</b>	<b>76</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	76
5.2 แนวทางการพัฒนา.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก.....	79
บรรณานุกรม.....	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงภาพฟิสิกเซลและวอกเซล.....	3
2.2 แสดงภาพรังสีเอกซ์บริเวณหน้าอก.....	5
2.3 แสดงเครื่อง CT.....	7
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟิสิกเซลกับวอกเซล.....	7
2.5 แสดงภาพ CT ของเนื้อเยื่อบริเวณหน้าอก.....	8
2.6 แสดงหลักการของเครื่อง CT ซึ่งผลิตโดยบริษัท EMI.....	9
2.7 (a) แสดงการเลื่อนของหลอดรังสีและดีเทคเตอร์เพื่อทำการสแกนครั้งแรก.....	9
(b) แสดงการสแกนครั้งที่ 1 ครั้งที่ 60 และครั้งที่ 120.....	9
2.8 แสดงการเคลื่อนที่ของรังสีของวัตถุที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ และวัตถุที่มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ.....	10
2.9 การสร้างภาพด้วยวิธีแบ็กโปรเจกชัน.....	11
2.10 แสดงแผนภาพการคำนวณการสร้างภาพตามกรรมวิธีการสร้างภาพ แบบอิทเทอเรนซ์.....	12
2.11 แสดงการสร้างภาพด้วยวิธีฟิลเตอร์แบ็กโปรเจกชัน.....	14
2.12 แสดงเครื่อง MRI.....	14
2.13 แสดงภาพ MRI ของเนื้อเยื่อบริเวณหน้าอก.....	15
2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็ก และการกำหนดระบบพิกัด.....	16
2.15 แสดงส่วนของอวัยวะซึ่งอยู่ในสยามแม่เหล็กเกรเดียนต์ตามยาว.....	16
2.16 แสดงเนื้อเยื่อหนึ่งแผ่นซึ่งสัมผัสกับสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ตามขวาง.....	18
2.17 แสดงตำแหน่งที่สายกีตาร์ถูกผ่อนให้หย่อนลงหลังการติดสายหนึ่งครั้ง (จุดที่ถูกครี)... ..	18
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการประมวลผล.....	19
3.2 แสดงระบบพิกัดในการอ้างอิงข้อมูล.....	21
3.3 (a) เคอร์เนลแบบเนียร์เรสเนเบอร์.....	22
(b) การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีเนียร์เรสเนเบอร์.....	22
3.4 แสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของข้อมูล.....	23
3.5 การประมาณค่าในช่วง 3 มิติ.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แสดงการหมุนวัตถุรอบแกนต่าง ๆ.....	27
3.7 แสดงการกำหนดค่าพิกัดบนพื้นผิวของวัตถุ.....	28
3.8 แสดงการจัดวางภาพตัดขวางทั้งหมดในแกนพิกัดฉาก 3 มิติ.....	29
3.9 แสดงเวกเตอร์ที่อยู่ภายในหน้าตัดที่กำหนดขึ้น.....	30
3.10 แสดงการตกกระทบของแสงจากต้นกำเนิดแสง.....	32
3.11 แสดงการตกกระทบของแสงจากต้นกำเนิดแสงแบบกระจาย.....	33
4.1 ขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงพื้นผิว.....	34
4.2 ภาพตัดขวางจากเครื่อง Computer Tomography ขนาดเท่าของจริง.....	35
4.3 โครงสร้างข้อมูลภาพแบบพอยน์เตอร์.....	36
4.4 การรวมค่าสีโดยวิธีการเฉลี่ยทุกจุด.....	38
4.5 แสดงภาพโครงสร้างของสีระยะ ที่ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุด.....	39
4.6 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุด.....	40
4.7 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุด.....	41
4.8 แสดงระยะทางระนาบของการมองและตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิว.....	42
4.9 แสดงการคำนวณหาระยะจากจุดเริ่มต้นของภาพถึงตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุ.....	43
4.10 แสดงภาพโครงสร้างของสีระยะ ที่ได้จากวิธี Depth Shading(Threshold Value = 30).....	44
4.11 แสดงภาพโครงสร้างของสีระยะ ที่ได้จากวิธี Depth Shading(Threshold Value = 50).....	45
4.12 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Depth Shading (Threshold Value = 30).....	46
4.13 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้างที่ได้จากวิธี Depth Shading (Threshold Value = 30).....	47
4.14 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Depth Shading (Threshold Value = 50).....	48
4.15 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Depth Shading (Threshold Value = 50).....	49
4.16 แสดงแบบจำลองของการคำนวณค่าปริมาณความเข้มของแสงด้วย วิธี Gray – Level Shading.....	50
4.17 แสดงตัวอย่างในการคำนวณปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธี Gray – Level Shading.....	51
4.18 แสดงภาพโครงสร้างของสีระยะ ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading (Threshold Value = 30).....	52
4.19 แสดงภาพโครงสร้างของสีระยะ ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading (Threshold Value = 50).....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.20 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จาก วิธี Gray – Level Shading (Threshold Value = 30).....	54
4.21 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จาก วิธี Gray – Level Shading (Threshold Value = 30).....	55
4.22 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จาก วิธี Gray – Level Shading (Threshold Value = 50).....	56
4.23 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จาก วิธี Gray – Level Shading (Threshold Value = 50).....	57
4.24 แสดงแบบจำลองที่ใช้คำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ ด้วยวิธีพิจารณาจากเวกเตอร์ปกติบนพื้นผิวของวัตถุ.....	58
4.25 แสดงค่ามุมระหว่างเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว N และเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง L.....	59
4.26 แสดงการคำนวณหาระดับความลึก d ที่กำหนดโดยค่า Threshold Value ของแต่ละแผ่นภาพตัดขวาง.....	60
4.27 แสดงแบบจำลองในการหาเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว.....	61
4.28 แสดงภาพ โครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว (Threshold Value = 30).....	62
4.29 แสดงภาพ โครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว (Threshold Value = 50).....	63
4.30 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว (Threshold Value = 30).....	64
4.31 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว (Threshold Value = 30).....	65
4.32 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว (Threshold Value = 50).....	66
4.33 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว (Threshold Value = 50).....	67
4.34 แสดงแบบจำลองในการหาเวกเตอร์ G.....	68
4.35 แสดงภาพ โครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Gradient Shading (Threshold Value = 30).....	70
4.36 แสดงภาพ โครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Gradient Shading (Threshold Value = 50).....	71

4.37 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading (Threshold Value = 30).....	72
4.38 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading (Threshold Value = 30).....	73
4.39 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading (Threshold Value = 50).....	74
4.40 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading (Threshold Value = 50).....	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน เราจะเห็นว่าวิทยาการทางการแพทย์แผนปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ประกอบกับเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ต่าง ๆ ได้มีการพัฒนาควบคู่กันไปเพื่อให้มีประสิทธิภาพและมีขีดความสามารถในการตรวจวินิจฉัยและรักษาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับร่างกายของเราได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่แพทย์ต้องการตรวจวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับอวัยวะในร่างกายของมนุษย์นั้น แต่เดิมแพทย์จะต้องทำการผ่าตัดกับร่างกายของมนุษย์จริง ๆ เพราะเนื่องจากว่ายังไม่มีเครื่องมือใด ๆ ที่สามารถแสดงให้เห็นถึงอวัยวะที่อยู่ภายในร่างกายของมนุษย์ได้ แต่ต่อมาปัญหานี้ก็ได้รับการแก้ไข โดยได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพตัดขวางของอวัยวะภายในร่างกายของมนุษย์ ได้แก่ เครื่อง CT (Computer Tomography) สแกนเนอร์ และเครื่อง MRI (Magnetic Resonance Imaging) สแกนเนอร์ ขึ้นมาตามลำดับ โดยข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่อง CT หรือเครื่อง MRI นั้นมีประโยชน์สำหรับการตรวจวิเคราะห์ทางการแพทย์อย่างมาก เพราะเนื่องจากข้อมูลภาพที่ได้นี้จะสามารถแสดงให้เห็นถึงอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายของมนุษย์ โดยที่แพทย์ไม่ต้องทำการผ่าตัดกับร่างกายของผู้ป่วยจริง ๆ โดยข้อมูลภาพที่ได้จะประกอบไปด้วยลำดับของภาพตัดขวางของอวัยวะที่ต้องการตรวจสอบในลักษณะของข้อมูล 2 มิติ (2-D : 2 Dimensional) โดยปกติแล้วภาพตัดขวางเหล่านี้จะมีมากกว่า 100 ภาพขึ้นไปในการตรวจแต่ละครั้ง โดยแพทย์ผู้ตรวจก็จะทำการตรวจวิเคราะห์ไปที่ละภาพ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในที่นี้ก็คือ ถ้าในกรณีที่แพทย์ผู้ตรวจต้องการดูโครงสร้างโดยรวมของอวัยวะที่ทำการตรวจสอบอยู่ในลักษณะของโครงสร้าง 3 มิติ (3-D : 3 Dimensional) นับว่ามีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจวินิจฉัย จะพบว่าจะต้องอาศัยความชำนาญของแพทย์ในการจินตนาการ โครงสร้างของอวัยวะนั้น ๆ ขึ้นมาเอง ซึ่งจะเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและสลับซับซ้อน อีกทั้งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจหาสาเหตุของโรคได้ ซึ่งก็จะส่งผลให้การตรวจรักษาคงให้เกิดความคลาดเคลื่อนและผิดพลาดตามไปด้วย สำหรับความสำคัญของการแสดงภาพในลักษณะ 3 มิติ นอกจากที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ในปัจจุบันยังได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ทางทางการแพทย์อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น การตรวจดูความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับกะโหลกศีรษะ การหาความผิดปกติที่เกี่ยวกับสมอง เช่น การตรวจหารอยแผลฟกช้ำของเนื้อสมอง หรือตลอดจนการนำไปใช้ประกอบการรักษาโรคด้วยรังสี เป็นต้น

ดังนั้น ในปัญหาพิเศษนี้ จะเป็นการนำเสนอวิธีการที่ใช้ในการสร้างภาพ 3 มิติ ที่มีลักษณะเหมือนจริงจากลำดับของข้อมูลภาพทางการแพทย์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยการนำภาพตัดขวางที่ได้ทั้งหมดมาผ่านขั้นตอนการประมวลผลในส่วนต่างๆ แล้วแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยเนื้อหาและรายละเอียดต่าง ๆ นั้นจะกล่าวถึงในส่วนต่อ ๆ ไปของปัญหาพิเศษ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษากระบวนการทางคณิตศาสตร์ในด้านความรู้เกี่ยวกับเวกเตอร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างภาพ เพื่อนำไปพัฒนาโปรแกรมการสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากภาพตัดขวาง 2 มิติ ที่ได้จากเครื่อง CT

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของปัญหาพิเศษนี้ คือ การนำชุดภาพสองมิติที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computer Tomography) ซึ่งใช้สำหรับถ่ายภาพตัดขวางของร่างกายมนุษย์มาสร้างเป็นภาพเชิงพื้นผิว โดยใช้กระบวนการสร้างภาพที่เรียกว่าวิธีการฉายแสง (Ray Casting) ได้ภาพผลลัพธ์เป็นภาพระดับเทา (Gray Scale) และพัฒนาโปรแกรมการสร้างภาพโดยใช้ภาษา C++ Builder 6 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP (Windows XP)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่นำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพจากภาพตัดขวาง
2. เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการสร้างภาพให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวกับการสร้างภาพเชิงพื้นผิว
2. นำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาพัฒนาเป็นโปรแกรมการสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากภาพตัดขวาง
3. ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์และปรับปรุงขั้นตอนวิธี
4. เขียนรายงานและสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

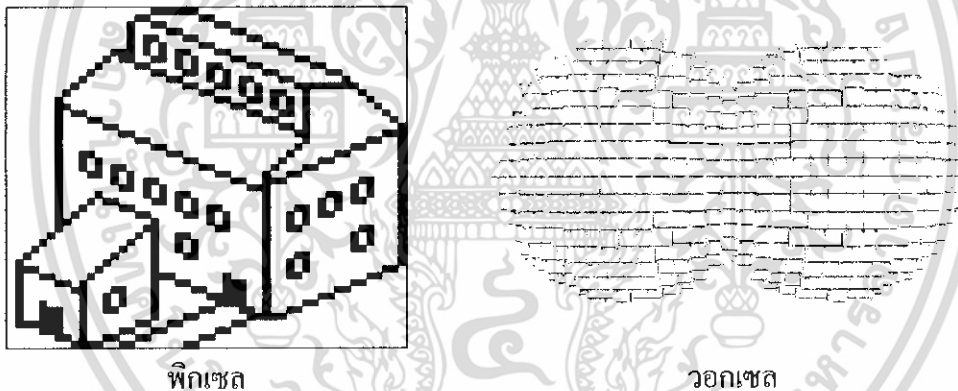
## บทที่ 2

### ความรู้เบื้องต้นของภาพ

การสร้างภาพนั้น ไม่ว่าจะเป็นภาพเชิงพื้นผิวหรือภาพเชิงปริมาตรนั้น ล้วนแต่ต้องใช้พื้นฐานและทฤษฎีทางคอมพิวเตอร์กราฟิกบางประการมาประยุกต์ใช้ เช่น การอ้างอิงระบบพิกัด การแปลงระบบปริภูมิ และแบบจำลองการให้แสงเงา เป็นต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีทางคอมพิวเตอร์กราฟิกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการสร้างภาพเชิงพื้นผิว

#### 2.1 องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของข้อมูลภาพ

ภาพในคอมพิวเตอร์กราฟิกประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็นอะเรย์สองมิติ โดยแสดงสีและความเข้มของแสง ข้อมูลแต่ละตัวเราจะเรียกว่า “พิกเซล” (Pixel) คือจุดที่เป็นองค์ประกอบของภาพนั่นเอง ทำนองเดียวกันภาพเชิงปริมาตรก็ประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็นอะเรย์สามมิติ ข้อมูลแต่ละตัวเราจะเรียกว่า “วอกเซล” (Voxel) นิยามของ วอกเซล คือ จุดในปริภูมิสามมิติที่ไม่มีขนาด



ภาพที่ 2.1 แสดงภาพพิกเซลและวอกเซล

#### 2.2 ลักษณะของภาพ

##### 2.2.1 ภาพเชิงพื้นผิว

ภาพที่เราเห็นในธรรมชาตินั้นจะเป็นภาพเชิงพื้นผิวเป็นส่วนใหญ่ เพราะเราสามารถมองเห็นเพียงแค່ภายนอกในส่วนที่เป็นพื้นผิว ไม่สามารถมองเห็นทะลุเข้าไปเห็นรายละเอียดภายในวัตถุ นั้น ๆ ได้ การเกิดภาพเชิงพื้นผิวในธรรมชาติ จะเกิดขึ้นได้เมื่อแสงเดินทางไปกระทบวัตถุ แล้วสะท้อนกลับออกมา การสะท้อนกลับนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นผิววัตถุว่ามีการดูดกลืนแสงมากหรือน้อยเพียงใดและค่าของสเปกตรัมหรือค่าความถี่ของสีใดจะถูกสะท้อนออกมา ทำให้เรามองเห็นวัตถุมีต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการสร้างภาพเชิงพื้นผิวในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิก จะมีวิธีการในการสร้างอยู่หลายรูปแบบทั้งวิธีการฉายภาพตามทิศทางการมอง วิธีการของมาร์ชชิงคิวบ์ (Marching Cubes Algorithm) หรือวิธีการอื่น ๆ แต่ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการต่าง ๆ ของการสร้างภาพเชิงพื้นผิว

การนำเอาภาพเชิงพื้นผิวไปใช้งานหรือประโยชน์ของภาพเชิงพื้นผิวนั้น จะเป็นงานในลักษณะของคอมพิวเตอร์กราฟิกทั่วไป เช่น การทำ 3D Modeling เกมส์สามมิติต่าง ๆ พร้อมด้วยการทำ Texture mapping และการให้แสงเงา ส่วนทางด้านทางการแพทย์นั้นก็สมารถนำเอาภาพเชิงพื้นผิวไปช่วยในการวิเคราะห์หารอยร้าวของกระดูกได้ เป็นต้น

### 2.2.2 ภาพเชิงปริมาตร

ภาพเชิงปริมาตรเป็นภาพที่สามารถมองเห็นรายละเอียดได้มากกว่าภาพเชิงพื้นผิว เพราะสามารถมองทะลุเข้าไปเห็นถึงรายละเอียดภายในเนื้อวัตถุได้ ในธรรมชาตินั้น ภาพเชิงปริมาตรจะเกิดขึ้นในวัตถุโปร่งแสง หรือวัตถุโปร่งใสต่าง ๆ ซึ่งวัตถุประเภทนี้จะมีคุณสมบัติยอมให้แสงเดินทางผ่านเข้าไปในเนื้อของวัตถุหรือหรือทะลุออกไปในทิศทางหนึ่งได้ ทำให้ภาพที่ปรากฏเป็นภาพที่มีความลึกของวัตถุมากกว่าการสะท้อนของแสงและเงาที่ผิวของวัตถุเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น เราสามารถมองเห็นภายในเนื้อเยื่อบางส่วนของแมงกะพรุนหรือปลาบางชนิดที่มีความโปร่งแสงได้ เป็นต้น ซึ่งการที่จะสามารถมองเห็นรายละเอียดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสี และความทึบแสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละวัตถุ ที่จะยอมให้แสงผ่านเข้าไปได้มากหรือน้อยแค่ไหน และสะท้อนแสงออกมาในความถี่ของสีใด

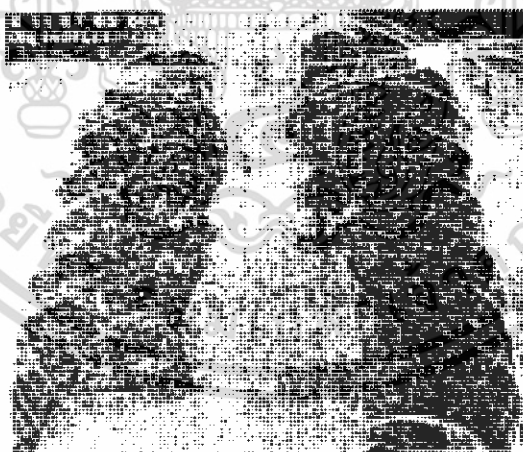
ภาพคอมพิวเตอร์กราฟิกที่เป็นภาพเชิงปริมาตรนั้นก็เช่นกันกับที่อธิบายมาข้างต้น คือ เป็นภาพที่เกิดจากความพยายามในการเลียนแบบภาพที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเหล่านี้กับวัตถุชนิดต่าง ๆ เช่น การสร้างภาพเชิงปริมาตรภายในร่างกายของมนุษย์ หรือ การสร้างภาพเชิงปริมาตรของเครื่องจักร ซึ่งจะให้เห็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของร่างกายหรือเครื่องชนิดใดโดยไม่ต้องผ่าตัดหรือแยกชิ้นส่วนออกมาจริง

แต่เนื่องจากวัตถุเหล่านี้ในสภาพแวดล้อมนั้นไม่ได้โปร่งแสง หรือยอมให้แสงสีขาวโดยทั่ว ๆ ไปผ่านเข้าไปภายในแล้วสะท้อนมาเข้าตาจนเกิดเป็นภาพได้ ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถแสดงข้อมูลภายในเหล่านี้ออกมา ตัวอย่างเครื่องมือเหล่านี้ เช่น การถ่าย X-Ray, เครื่องถ่ายภาพ CT (Computer Tomography), เครื่องถ่ายภาพ MRI (Magnetic Resonance Imaging), Ultra Sound, PET และอื่น ๆ ซึ่งเครื่องมือแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เช่น เครื่องถ่ายภาพ CT ให้ภาพในส่วนที่เป็นกระดูกชัดเจน แต่เครื่องถ่ายภาพ MRI จะให้ภาพในส่วนของเนื้อเยื่อชัดเจนกว่า เป็นต้น

### 2.3 ที่มาของภาพตัดขวาง

ในการตรวจวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยนั้น สิ่งที่แพทย์ต้องการทราบมากที่สุดคือ เกิดอะไรขึ้นภายในร่างกายของผู้ป่วยรายนั้น ซึ่งจากวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ในการตรวจหาสาเหตุของโรคจะอาศัยจากการ ดู คลำ ฟัง เคาะ โดยจะเป็นการตรวจที่ใช้เครื่องมือในการตรวจน้อยที่สุดและง่ายที่สุด ซึ่งจากการฝึกฝนและประสบการณ์ของแพทย์ วิธีการทั้งสี่ก็สามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องแก่แพทย์ได้ในระดับหนึ่ง แต่ข้อมูลที่ได้นั้นจะมีข้อจำกัดต่าง ๆ มากมายโดยแพทย์ต้องการที่จะทราบข้อมูลซึ่งมีรายละเอียดและมีความน่าเชื่อถือ ได้มากกว่านั้น นั่นก็คือการมองเข้าไปเห็นอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายของผู้ป่วย ซึ่งนับว่าเป็นงานที่มีความท้าทายและจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อวงการวิทยาศาสตร์และการแพทย์

โดยต่อมาในเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 1895 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ วิลเฮล์ม คอนราด เรินท์เกน (Wilhelm Conrad Roentgen) ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ (X-ray) ขณะที่เขากำลังศึกษารังสีแคโทด ซึ่งเขาพบว่ารังสีเอกซ์มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงมาก สามารถเดินทางผ่านกระดาษหนาหรือสารอื่น ๆ ที่มีความหนาแน่นต่ำได้ และเมื่อลองให้รังสีเอกซ์เดินทางผ่านมือของภรรยาเขาแล้วนำฟิล์มถ่ายรูปไปรับที่ด้านตรงข้าม หลังจากล้างฟิล์มแล้ว เขาเห็นมือของภรรยาของเขาปรากฏบนฟิล์ม โดยบริเวณที่เป็นเนื้อหนังจะเห็นเป็นรอยเทาหรือดำ ส่วนบริเวณที่เป็นกระดูกจะเห็นเป็นสีขาว ซึ่งจากจุดนี้เองถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวิชารังสีวิทยาและนับเป็นวิวัฒนาการครั้งสำคัญมากในวงการแพทย์



ภาพที่ 2.2 แสดงภาพรังสีเอกซ์บริเวณหน้าอก

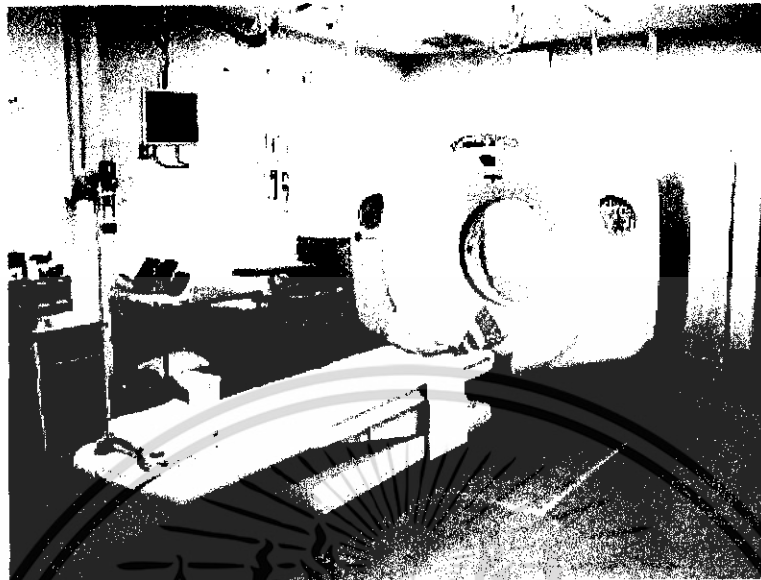
เมื่อก้าวถึงการนำรังสีเอกซ์มาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ ในระยะแรก ๆ กระทำเพียงฉายรังสีเอกซ์เพื่อตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายใน โดยอาศัยการเกิดภาพเช่นเดียวกับการเกิดภาพเงาของร่างกายเมื่อขึ้นกลางแสงแคด โดยปัญหาที่สำคัญที่เป็นอุปสรรคต่อการวินิจฉัยโรคด้วยการพิจารณาจากการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ได้ จะมีด้วยกัน 3 ประการ คือ ประการแรก การซ้อนทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันของเงาของอวัยวะใน 3 มิติบนฟิล์ม 2 มิติ ทำให้ภาพดูยุ่งยากต่อการวินิจฉัย ประการที่สอง ภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยทั่วไปไม่สามารถแยกความแตกต่างของซอฟต์แวร์ทึบ (Soft tissue) ได้ และ ประการที่สาม อาศัยเทคนิคการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ทั่ว ๆ ไป ไม่สามารถบอกความหนาแน่นที่ต่างกัน ของสารที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างภายในร่างกาย ภาพรังสีเอกซ์เหล่านั้นเป็นเพียงการ บันทึกการดูดกลืน โดยเฉลี่ยของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่รังสีเอกซ์ทะลุทะลวงผ่านออกมา ปัญหาทั้งสาม ประการนี้ สร้างความหนักใจให้กับผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับรังสีเอกซ์มาโดยตลอด ซึ่งก็ได้มีผู้ให้ ความสนใจในการคิดค้นและพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อที่จะแก้ปัญหาของข้อจำกัดทั้ง 3 ประการ โดย ในปี ค.ศ. 1972 จี.เอ็น.เฮานส์ฟีลด์ (G.N. Hounsfield) แห่งบริษัท อีเอ็มไอ (EMI) ประเทศอังกฤษ ก็ ประสบความสำเร็จในการสร้างเครื่องมือวินิจฉัยโรคด้วยรังสีเอกซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ซึ่ง เครื่องมือดังกล่าวก็คือเครื่อง CT (Computer Tomography) โดยนับได้ว่า CT เป็นการก้าวกระโดด ครั้งยิ่งใหญ่ในวงการแพทย์ และกลายเป็นเครื่องมือที่จำเป็นอย่างยิ่งในหลาย ๆ ด้านทางการแพทย์ และในช่วงเวลาเดียวกันกับที่ CT กำลังพัฒนา ก็ได้มีการค้นพบเทคนิคการเกิดภาพแบบใหม่โดยไม่ ใช้รังสีเอกซ์ซึ่งมีชื่อเรียกในภายหลังว่า MRI (Magnetic Resonance Imaging) หรือ การเกิดภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ซึ่ง MRI เป็นเทคนิคการเกิดภาพหรือการสร้างภาพอวัยวะภายในร่างกายผู้ป่วย โดยอาศัยคุณสมบัติพิเศษของนิวเคลียสของอะตอมที่เรียกว่า เรโซแนนซ์แม่เหล็คนิวเคลียส หรือ NMR (Nuclear Magnetic Resonance) โดยในขณะนั้น เฮานส์ฟีลด์ประสบความสำเร็จในการสร้าง CT แล้ว ทำให้นักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มหันมาสนใจเทคนิคนี้กันมาก เพราะเห็นว่าเป็นวิธีการสร้าง ภาพที่ไม่ต้องใช้รังสีเอกซ์ไอออนไนซิงเรดิเอชัน (Ionizing radiation) ซึ่งคาดว่าถ้าเทคนิคนี้เป็นไป ได้และสำเร็จ อันตรายที่มีต่อผู้ป่วยแบบเดียวกันกับที่เกิดจากรังสีเอกซ์ก็ไม่น่าจะเกิดขึ้น และในปี ค.ศ. 1976 แมนส์ฟีลด์ (Mansfield) และแมคส์เลย์ (Maudsley) ได้ใช้หลักการของ NMR เพื่อสร้าง ภาพมนุษย์ได้เป็นครั้งแรกและพัฒนาจนกระทั่งสร้างภาพได้ตลอดทั้งลำตัว โดยในปัจจุบันนี้ MRI นับได้ว่าเป็นเทคนิคการสร้างภาพที่ให้ภาพในการวินิจฉัยโรคได้ดีที่สุด และได้รับการพัฒนาไป อย่างรวดเร็วมาก ซึ่งจากการคิดค้นและพัฒนาสร้างเครื่องถ่ายภาพตัดขวางของอวัยวะด้วยวิธีทั้งสอง ที่กล่าวมานี้ นับได้ว่าสร้างคุณประโยชน์อย่างมากในทางการแพทย์ โดยในบทนี้จะได้กล่าวถึง รายละเอียดและเทคนิคต่าง ๆ ในการสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะภายในร่างกายของมนุษย์ด้วย วิธีการทั้งสอง ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะกล่าวถึงหลักการสร้างภาพโดยใช้ รังสีเอกซ์ หรือ CT และในส่วนที่สอง จะกล่าวถึงการสร้างภาพโดยอาศัยหลักการเรโซแนนซ์ แม่เหล็ก หรือ MRI โดยจะมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

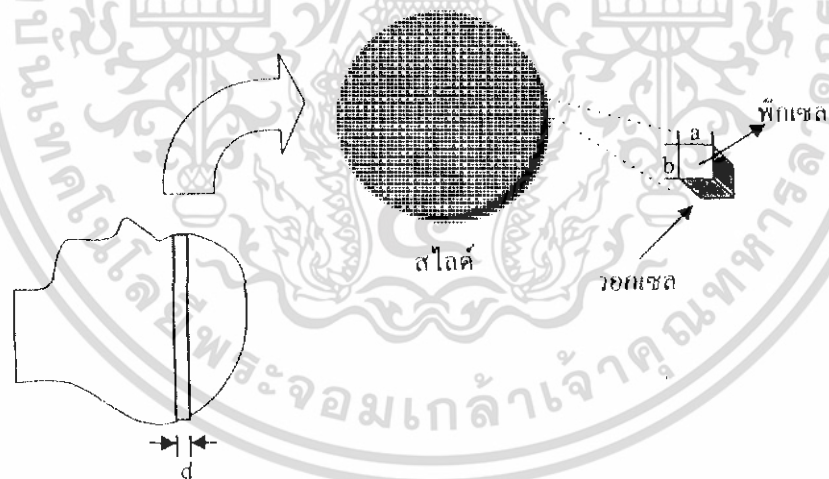
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะโดยใช้รังสีเอกซ์



ภาพที่ 2.3 แสดงเครื่อง CT

#### 2.3.1.1 วิธีการรวบรวมข้อมูลของเครื่อง CT



ภาพที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลกับวอกเซล

ภาพที่ได้จากเครื่อง CT นั้นจะมีลักษณะคล้ายกับการใช้เลื่อยมาตัดร่างกายตามขวางออกมาหนึ่งแผ่น โดยมีความหนาเท่ากับ  $d$  แล้วทำการแบ่งเนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในแผ่นนั้นออกเป็นแท่งปริมาตรสี่เหลี่ยมขนาดเล็กจำนวนมาก ดังรูป โดย  $a, b$  จะเป็นความกว้างและความยาวของแท่งปริมาตรตามลำดับ โดยจะเรียกแท่งปริมาตรสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ นี้ว่า วอกเซล (Voxel, Volume element) จากนั้นก็นำเนื้อเยื่อแต่ละแท่งไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดกลืนของรังสีเอกซ์ สุดท้ายก็จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลการดูดกลืนรังสีของเนื้อเยื่อแต่ละแห่งซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าตัวเลขมาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของค่าความสว่างเพื่อที่จะนำไปแสดงผลยังจอภาพต่อไปดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งภาพที่เราเห็นจะประกอบไปด้วยจุดเล็ก ๆ จำนวนมาก โดยจุดเล็ก ๆ เหล่านี้จะเรียกว่า พิกเซล (Pixel หรือ Picture element) ดังนั้น พิกเซลจึงเป็นพื้นที่หน้าตัดของหน่วยปริมาตรขนาดเล็กที่เรียกว่า วอกเซล โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซล และวอกเซล ได้ดังภาพที่ 2.4

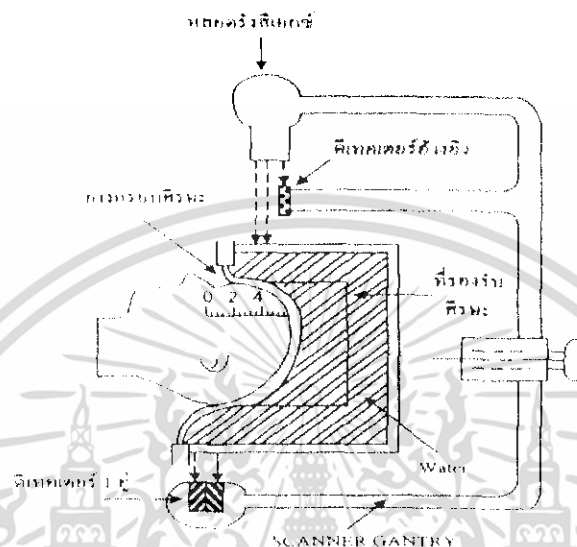
เครื่อง CT สามารถหาปริมาณรังสีเอกซ์ที่ถูกดูดกลืนในแต่ละวอกเซลหรือสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอกซ์เชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) ได้ โดยไม่ต้องตัดร่างกายออกมาเป็นชิ้น ๆ และเพื่อเข้าใจวิธีการรวบรวมข้อมูลในเครื่อง CT ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลของเครื่อง CT รุ่นแรกของบริษัท EMI เพราะเนื่องจากเป็นหลักการที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายที่สุด



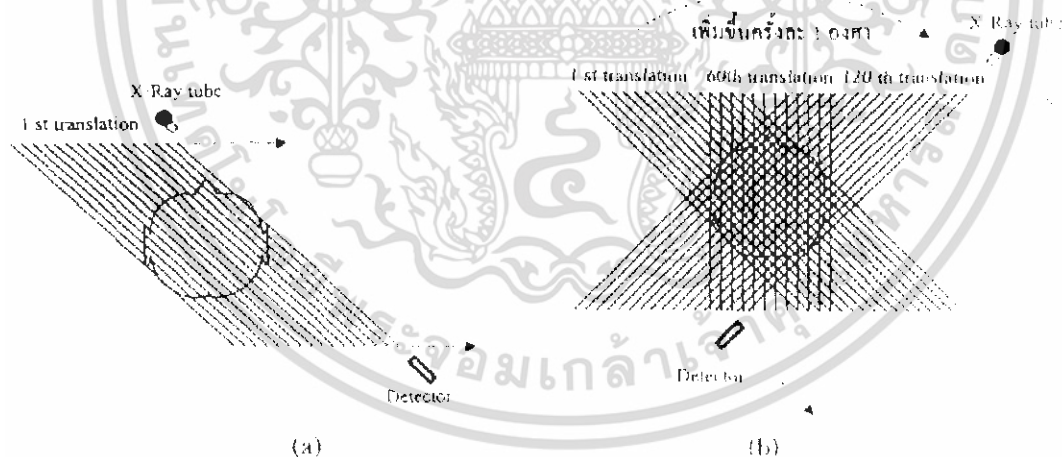
ภาพที่ 2.5 แสดงภาพ CT ของเนื้อเยื่อบริเวณหน้าอก

จากภาพที่ 2.6 แสดงหลักการการทำงานของเครื่อง CT ศีรษะของผู้ป่วยซึ่งอยู่ระหว่างหลอดรังสีกับดีเทคเตอร์ จะถูกห้อมล้อมด้วยน้ำ โดยที่ด้านล่างจะมีดีเทคเตอร์อยู่ 2 ตัว สำหรับวัดปริมาณรังสีที่ผ่านจากตัวผู้ป่วย ทางด้านบนจะมีดีเทคเตอร์อ้างอิงสำหรับวัดปริมาณรังสีก่อนที่จะผ่านตัวผู้ป่วย หลอดรังสีกับดีเทคเตอร์จะเป็นหน่วยเดียวกันซึ่งจะยึดติดกันด้วยแกนแข็ง โดยลำรังสีจะพุ่งตรงไปสู่ดีเทคเตอร์ตลอดเวลา โดยในขณะที่ทำการตรวจ ผู้ป่วยจะต้องนอนนิ่ง ๆ ตลอดเวลา การสแกน หลอดรังสีกับดีเทคเตอร์จะเคลื่อนที่สองแบบ คือ เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหรือเลื่อน (Translation) และเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotation) การเคลื่อนที่จะเริ่มโดยที่หลอดรังสีกับดีเทคเตอร์จะเลื่อนไปเรื่อย ๆ ทีละชั้นจนสุดระยะ จากนั้นทั้งหลอดรังสีและดีเทคเตอร์ก็จะหมุนเปลี่ยนมุมหนึ่งองศาแล้วเลื่อนกลับ โดยจะทำเช่นนี้ซ้ำแล้วซ้ำอีกจนครบ 180 ครั้ง การหมุนของหลอดรังสีและดีเทคเตอร์จะเป็นรูปครึ่งวงกลม โดยที่แกนของการหมุนผ่านจุดกึ่งกลางศีรษะของผู้ป่วย การเคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงแต่ละครั้งเรียกว่า การสแกน จากภาพจะแสดงการสแกนตามแนวเส้นตรงครั้งที่ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 60 และครั้งที่ 120 ซึ่งรังสีเอกซ์จะถูกเปิดตลอดเวลาการสแกนแต่จะถูกปิดขณะที่หลอดรังสีและดีเทคเตอร์หมุน รังสีที่เหลือหลังจากผ่านตัวผู้ป่วยจะถูกวัด 160 ครั้งในการเคลื่อนตามแนวเส้นตรงหนึ่งครั้ง จำนวนการวัดทั้งหมดจึงเท่ากับ  $160 * 180$  หรือ 28,800 ครั้ง การสแกนทั้งหมดจะใช้เวลาประมาณ 4.5 ถึง 5 นาที



ภาพที่ 2.6 แสดงหลักการของเครื่อง CT ซึ่งผลิต โดยบริษัท EMI



ภาพที่ 2.7 (a) แสดงการเคลื่อนของหลอดรังสีและดีเทคเตอร์เพื่อทำการสแกนครั้งแรก  
(b) แสดงการสแกนครั้งที่ 1 ครั้งที่ 60 และครั้งที่ 120

### 2.3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

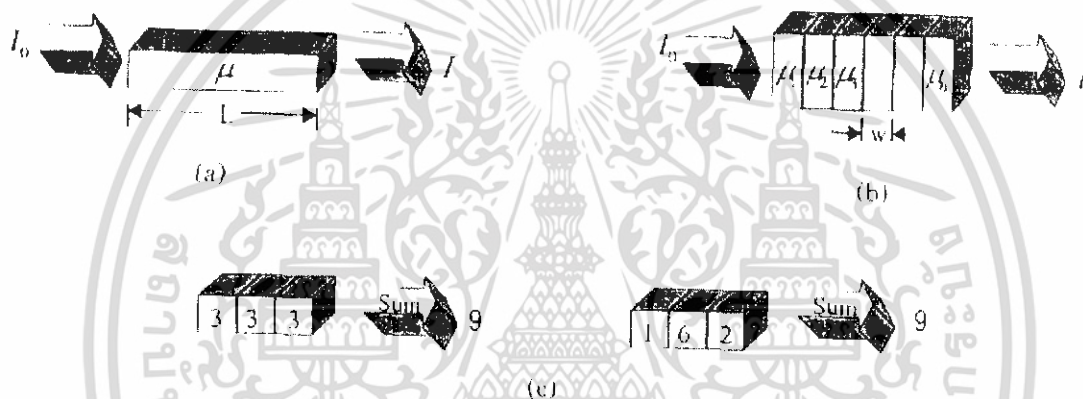
รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง และเป็นพวกไอออนไนซิงเรดิเอชัน เมื่อเดินทางผ่านเข้าในตัวกลางใดก็ตามจะเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับตัวกลางนั้น ซึ่งจะมีผลให้รังสีเอกซ์ที่เดินทางผ่านตัวกลางนั้น ๆ ออกมาแล้วมีความเข้มลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานระดับเดียวกัน ผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 2.8(a) การลดลงของรังสีจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียลดังสมการที่ 2.1

$$I = I_0 e^{-\mu L} \quad (2.1)$$

$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu L \quad (2.2)$$

เมื่อ  $I_0$  คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์ก่อนผ่านผู้ป่วย,  $I$  คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์หลังจากผ่านผู้ป่วย,  $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอกซ์เชิงเส้น และ  $L$  คือ ความหนาของวัตถุ



ภาพที่ 2.8 แสดงการดูดกลืนรังสีของวัตถุที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ และวัตถุที่มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ

เนื่องจากภายในร่างกายของมนุษย์เนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในร่างกายจะมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ถ้าทำการแบ่งเนื้อเยื่อในทางเดินของลำรังสีเป็นหน่วยย่อยขนาดเล็กที่มีความหนา  $w$  เท่า ๆ กันดังภาพที่ 2.8(b) โดยแต่ละหน่วยย่อยจะมีสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอกซ์เชิงเส้นคงที่แต่ไม่เท่ากัน ถ้ากำหนดให้สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอกซ์เชิงเส้นในแต่ละหน่วยย่อยเป็น  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \dots$  ตามลำดับซึ่งจากสมการที่ 2.2 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu_1 w + \mu_2 w + \mu_3 w + \mu_4 w + \dots + \mu_n w \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{w} \ln \frac{I_0}{I} = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \dots + \mu_n \quad (2.4)$$

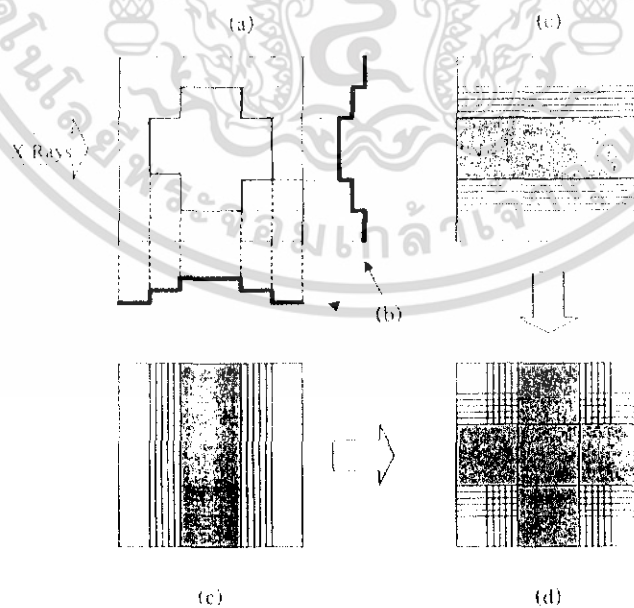
จากสมการที่ 2.4 ค่าลอกการทิมจากกรวัดรังสีที่ผ่านตัวผู้ป่วยในทิศทางต่าง ๆ ก็คือผลรวมของสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอกซ์เชิงเส้นของเนื้อเยื่อจากอวกเซลล์ซึ่งอยู่ในทางผ่านของลำเอกซารีนเป็นเอกซารที่สวนงวสำหรับกรไซงานเพื่อกรศีกษาเทานัน ไมออนุญาตไหนไปไซประโยชน์ดานกรค่าไมว่ากรณิใด ๆ ทั้งสิ้น อิกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกซารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

รังสีนั่นเอง การวัดแต่ละครั้งจึงเรียกว่า เรย์ซัม (Ray sum) หรือในทางคณิตศาสตร์จะนิยามว่าเป็น  
 ไลน์อินทิกรัล (Line Integral) นั่นเอง

### 2.3.1.3 วิธีการสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะ

#### 2.3.1.3.1 การสร้างภาพด้วยวิธีแบ็กโพรเจกชัน (Back-projection)

ทฤษฎีการสร้างภาพอันดับแรกที่จะกล่าวถึงเรียกว่า แบ็กโพรเจกชัน ซึ่งเป็นวิธี  
 ที่ง่ายที่สุด ความยุ่งยากในทางคณิตศาสตร์นี้มีน้อย ภาพที่ 2.9 แสดงหลักการของวิธีแบ็กโพรเจกชัน  
 โดยสมมติให้มีภาพ 2 มิติของแท่งสี่เหลี่ยมซึ่งตรงกลางเจาะช่องเป็นรูปกากบาท จากนั้นนำแท่ง  
 สี่เหลี่ยมนี้มา สแกนจากด้านและด้านข้างด้วยการเคลื่อนลำรังสีเอกซ์ ภาพโพรไฟล์ (Profile) ที่ได้จะ  
 มีลักษณะดังภาพที่ 2.9(b) ซึ่งมีลักษณะเหมือนขั้นบันได โดยความสูงของขั้นบันไดเป็นสัดส่วน  
 โดยตรงกับปริมาณรังสีที่เหลือเมื่อผ่านแท่งสี่เหลี่ยม นำขั้นบันไดไปเทียบกับสเกลสีเทาซึ่งเป็น  
 สัดส่วนกัน แลบสีเทาซึ่งเรียงเป็นลำดับตามโพรไฟล์เรียกว่า แลบแสง (Rays) ดังภาพที่ 2.9(c) ความ  
 กว้างของแลบแสงเท่ากับความกว้างของขั้นบันไดในโพรไฟล์ ความสูงของแลบแสงเท่ากับความสูง  
 ของแท่งสี่เหลี่ยม และเมื่อเอาแลบแสงความแนวตั้งและแนวนอนมาซ้อนกันก็จะได้ภาพกากบาท  
 หยิบ ๆ ดังภาพที่ 2.9(d) ในทางปฏิบัติต้องมีการสแกนจากหลายทิศทางเพื่อให้ภาพที่ได้มีคุณภาพที่  
 ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการซ้อนทับกันของภาพที่ได้จากในหลาย ๆ ทิศทางจะทำให้บริเวณขอบ  
 ของภาพไม่คมชัด ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแฉกที่เรียกว่า สตาร์เอฟเฟกต์ (Star effect) ซึ่งถือได้ว่าเป็น  
 ข้อเสียของการสร้างภาพด้วยวิธีนี้



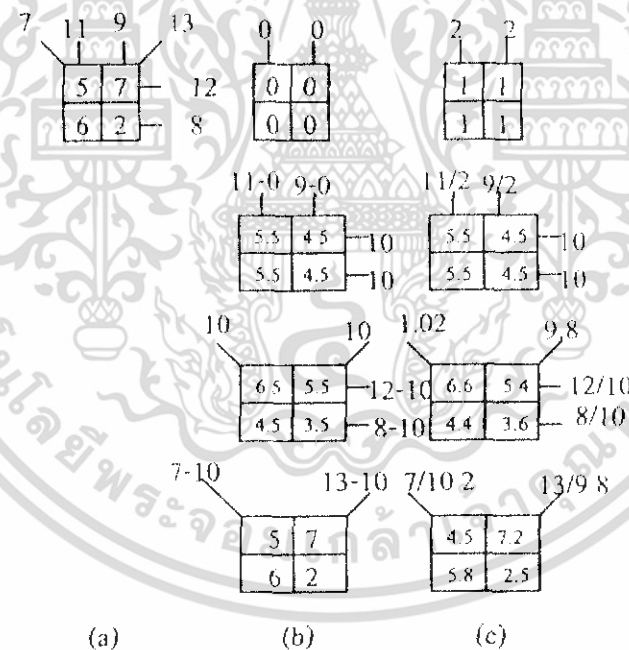
ภาพที่ 2.9 การสร้างภาพด้วยวิธีแบ็กโพรเจกชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.3.2 การสร้างภาพด้วยวิธีอิตเทอเรชัน (Iteration)

สำหรับเทคนิคนี้ นักคณิตศาสตร์ได้นำไปใช้ในการแก้สมการเมตริกซ์มานานแล้ว ซึ่งจะเป็นการคำนวณซ้ำ ๆ กัน จนกว่าจะได้คำตอบตามเงื่อนไขที่ต้องการจึงจะหยุดคำนวณเพื่อให้เข้าใจวิธีการคำนวณสร้างภาพด้วยวิธีนี้ได้ดียิ่งขึ้น จะขอยกตัวอย่างการคำนวณสร้างภาพด้วยวิธีที่เฮนส์ฟิลด์ใช้ซึ่งเรียกว่า อัลจีบราอิก รีคอนสตรัคชันเทคนิค (Algebraic Reconstruction Technique) หรือ ART สำหรับการคำนวณแบบ ART นี้สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ แอ็ดดิทีฟคอร์ด์เร็กชัน (Additive Correction) ดังภาพที่ 2.10(b) และมัลติพลิเคทีฟ คอร์ด์เร็กชัน (Multiplicative correction) ดังภาพที่ 2.10(c) โดยในที่นี้สมมติว่ามีวัตถุชิ้นบาง ๆ ประกอบด้วยเซลล์จตุรัสเล็ก ๆ เพียง 4 เซลล์ ดังภาพที่ 2.10(a) ในการเก็บข้อมูลสามารถบันทึกค่าเรย์ซั่มได้ 6 ค่า ตามทิศทางของถูกศรคือ 7, 11, 9, 13, 12 และ 8 ตามลำดับ สำหรับการคำนวณโดยใช้วิธีแอ็ดดิทีฟคอร์ด์เร็กชันสามารถแสดงลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 สมมติให้แต่ละเซลล์มีความหนาแน่นเป็น 0 ในภาพแรกบนสุดจะพบว่าไม่ว่าจะคำนวณเรย์ซั่มในทิศทางใด ๆ ก็ตามจะมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งสิ้น



- (a) วัตถุจริงๆ และเรย์ซั่มทั้ง 6 ได้แก่ 7 11 9 13 12 และ 8 ตามลำดับ  
 (b) การคำนวณสร้างภาพแบบแอ็ดดิทีฟคอร์ด์เร็กชัน  
 (c) การคำนวณสร้างภาพแบบมัลติพลิเคทีฟคอร์ด์เร็กชัน

ภาพที่ 2.10 แสดงแผนภาพการคำนวณการสร้างภาพตามกรรมวิธีการสร้างภาพแบบอิตเทอเรชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 นำเรย์ซั่มที่วัดได้คือ 11 และ 9 ไปเปรียบเทียบกับเรย์ซั่มที่คำนวณได้ จะเห็นว่าแตกต่างกันอยู่ +11 และ +9 ตามลำดับ เฉลี่ยค่าที่ต่างกันนี้แล้วนำไปรวมกันค่าความหนาแน่นเดิมในคอลัมน์แรกและคอลัมน์ที่สองของภาพที่สองถัดลงมา

ขั้นที่ 3 ตอนนี้จะเห็นว่าเรย์ซั่มที่คำนวณได้ในแถวแรกและแถวที่สองมีค่าเป็น 10 และ 10 ต่างกับค่าเรย์ซั่มที่วัดได้ในทิศทางเดียวกัน +2 และ -2 ตามลำดับ เฉลี่ยค่าที่ต่างกันนี้แล้วนำไปรวมกับค่าความหนาแน่นเดิมของแต่ละเซลล์ตามลำดับตั้งภาพที่สามถัดลงมา

ขั้นที่ 4 ตอนนี้จะเห็นว่าเรย์ซั่มที่คำนวณได้ในแนวทแยงมุมซ้ายและขวามีค่าเป็น 10 และ 10 ต่างกับค่าเรย์ซั่มที่วัดได้ในทิศทางเดียวกัน -3 และ +3 ตามลำดับ เฉลี่ยค่าที่ต่างกันนี้แล้วนำไปรวมกับค่าความหนาแน่นเดิมของแต่ละเซลล์ตามลำดับตั้งภาพ

เมื่อการคำนวณทั้ง 4 ขั้นตอนเรียกว่า อิทเทอเรชันครั้งที่ 1 จบลงอย่างสมบูรณ์ ตามตัวอย่างนี้ปรากฏว่าความหนาแน่นของทุกเซลล์ตรงกับที่เป็นจริงพอดีการคำนวณจะหยุดแค่นี้ สำหรับกรณีมัลติเพล็กซ์ คอร์เรชันจะคล้ายกับแอ็คติฟคอร์เรชัน ต่างกันเล็กน้อยตรงที่การหาค่าแก้ในแต่ละลาร์จิสติกส์คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้ แล้วนำไปคูณกับค่าความหนาแน่นเดิมในแต่ละเซลล์ ได้เป็นค่าความหนาแน่นใหม่ที่ดีกว่าตามลำดับ ตัวอย่างการคำนวณตามวิธีนี้สามารถแสดงได้ดังภาพ จะเห็นว่าเมื่ออิตเทอเรชันครั้งที่ 1 จบลง ค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ยังต่างจากของจริงซึ่งต้องคำนวณรอบต่อไปอีก สำหรับการคำนวณสร้างภาพด้วยวิธีนี้จะต้องรวบรวมข้อมูลให้ครบทั้งหมดก่อนจึงจะเริ่มการคำนวณเพื่อสร้างภาพ ซึ่งจะพบว่าจะเสียเวลาระหว่างการสแกนไปโดยเปล่าประโยชน์ และนอกจากนี้ยังต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงอีกด้วย

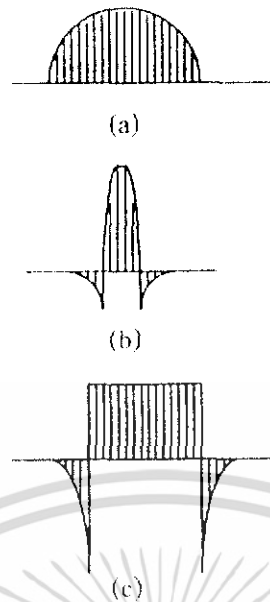
### 2.3.1.3.3 การสร้างภาพด้วยวิธีฟิลเตอร์แบ็กโพรเจกชัน

#### (Filtered back-projection)

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงวิธีการสร้างภาพแบบแบ็กโพรเจกชัน ซึ่งพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับสตาร์เอฟเฟค ทำให้ภาพที่สร้างขึ้นมีคุณภาพไม่ดี อย่างไรก็ตามการสร้างภาพด้วยวิธีแบ็กโพรเจกชันสามารถทำให้ได้ถ้าปรับปรุงโพรไฟล์ที่บันทึกได้เสียใหม่ ซึ่งเป็นแนวทางนำไปสู่วิธีการที่เรียกว่าฟิลเตอร์แบ็กโพรเจกชัน

เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงสตาร์เอฟเฟคดังกล่าว จำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงโพรไฟล์ที่ได้ โดยจะเป็นการเพิ่มค่าลงในโพรไฟล์ด้วยขบวนการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งค่าที่เพิ่มลงไปนี้จะไปหักล้างไม่ให้เกิดปรากฏการณ์สตาร์เอฟเฟค สามารถทำได้โดยการคูณค่าโพรไฟล์ด้วยเลขจำนวนเฉพาะซึ่งเรียกว่าฟิลเตอร์ฟังก์ชัน (Filter function) ดังภาพที่ 2.11 สำหรับขั้นตอนในการคูณค่าของโพรไฟล์ด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันนั้นเรียกว่าการคอนโวลูชัน (Convolution) ซึ่งฟิลเตอร์ฟังก์ชันจะมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า คอนโวลูชันเคอร์เนล (Convolution kernel) ขบวนการสร้างภาพหลังจากนั้นก็จะเป็นเช่นเดียวกับวิธีแบ็กโพรเจกชันแต่ภาพที่ได้จะไม่มีผลจากปรากฏการณ์สตาร์เอฟเฟค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) โปรไฟล์ต้นแบบ (b) ฟิลาเตอร์ฟังก์ชันและ (c) โปรไฟล์ที่ผ่านการทำฟิลาเตอร์แล้ว

### ภาพที่ 2.11 แสดงการสร้างภาพด้วยวิธีฟิลาเตอร์เบ็กโปรเจกชัน

การสร้างภาพด้วยวิธีนี้ ข้อมูลแต่ละชุดจะถูกทำการฟิลาเตอร์และทำการเบ็กโปรเจกชันที่ โดยเราสามารถเปลี่ยนฟิลาเตอร์ฟังก์ชันเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ โดยการเปลี่ยนคอนโวลูชันเตอร์เนล เพื่อให้ภาพมีลักษณะกลมกลืนหรือมีขอบเขตคมชัดได้ตามความต้องการ

### 2.3.2 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะโดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แม่เหล็ก



ภาพที่ 2.12 แสดงเครื่อง MRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมา CT กลายเป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อวงการแพทย์ แต่ในช่วงเดียวกันกับที่ CT กำลังพัฒนา ก็ได้มีการค้นพบเทคนิคการเกิดภาพแบบใหม่ โดยไม่ใช้รังสีเอกซ์ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า MRI หรือการเกิดภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก หากจะเปรียบเทียบระหว่าง CT และ MRI ในเบื้องต้นจะเห็นว่าภาพ CT จะเป็นการแสดงการกระจายของสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ ส่วนภาพ MRI จะแสดงถึงอันตรกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กกับนิวเคลียสของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อ โดยจะสามารถจำแนกคุณสมบัติของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 2.13 ซึ่งจะให้ข้อมูลได้มากกว่าการใช้รังสีเอกซ์ และสำหรับหลักการที่ใช้ในการสร้างภาพด้วยวิธีนี้ จะได้อธิบายถึงในส่วนต่อไป



ภาพที่ 2.13 แสดงภาพ MRI ของเนื้อเยื่อบริเวณหน้าอก

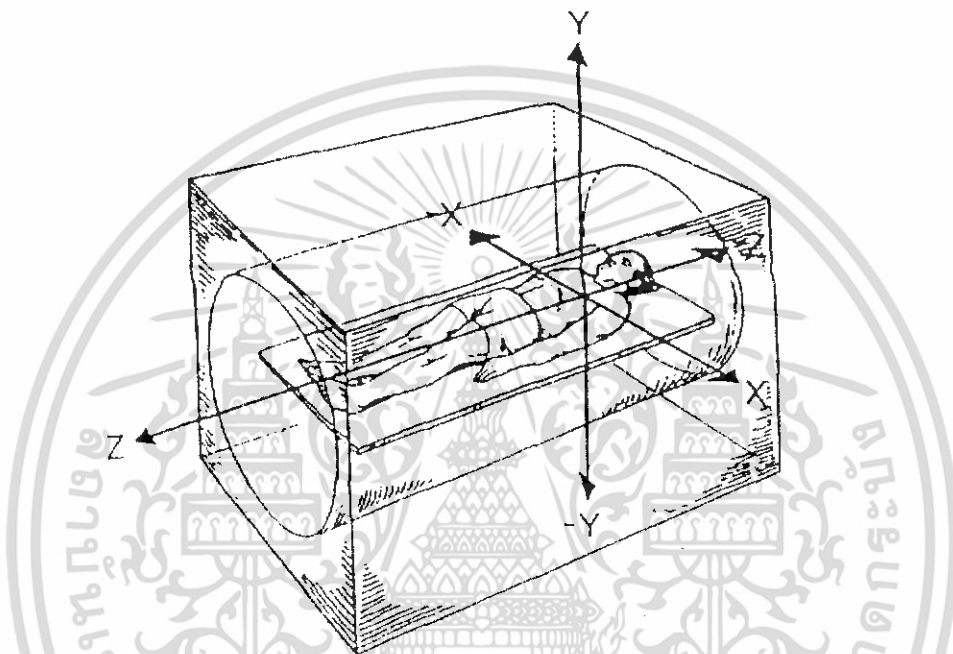
### 2.3.2.1 การแยกเนื้อเยื่อตามระนาบตัดขวาง

ในการแยกเนื้อเยื่อบริเวณที่ต้องการสร้างภาพออกจากเนื้อเยื่อใกล้เคียง เครื่องจะสร้างสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ (Gradient) ที่มีกำลังแม่เหล็กลดหลั่นตามแนวยาวของร่างกายจากศีรษะไปปลายเท้า แนวนี้กำหนดเป็นแกน Z ตามภาพที่ 2.14 สนามแม่เหล็กจะมีกำลังสูงทางด้านศีรษะและมีกำลังต่ำทางด้านปลายเท้า สนามแม่เหล็กเกรเดียนต์เป็นสนามแม่เหล็กกำลังต่ำที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังของสนามแม่เหล็กหลักเพียงประมาณ 1 เกาส์ต่อหนึ่งเซนติเมตร ถ้าสนามแม่เหล็กหลักที่กำลัง 1 เทสลา ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงกำลังของสนามแม่เหล็กเพียง 0.01% ต่อเซนติเมตร ความแตกต่างของกำลังของสนามแม่เหล็กเพียงเล็กน้อยนี้สามารถทำให้เลือกกระตุ้นเนื้อเยื่อที่มีความหนาเพียงไม่กี่มิลลิเมตร โดยไม่รบกวนเนื้อเยื่อส่วนอื่น สนามแม่เหล็กเกรเดียนต์จะถูกสร้างขึ้นเฉพาะบริเวณที่จะทำการตรวจเท่านั้น

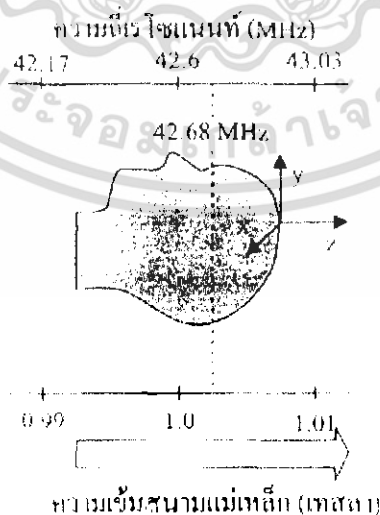
ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ โปรตอน (นิวเคลียสของไฮโดรเจน) ภายในร่างกายจะมีความถี่เรโซแนนซ์ขึ้นกับตำแหน่งในสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ ไฮโดรเจนที่อยู่ในตำแหน่งที่สูงขึ้นไปทางศีรษะ จะอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่กำลังสูงมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงเกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่สูงขึ้นเรื่อย ๆ จากภาพที่ 2.15 พบว่า จะมีเนื้อเยื่ออยู่แถบเดียวเท่านั้นที่อยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กที่มีกำลัง 1 เทสลาพอดี ถ้าเราส่งคลื่นวิทยุความถี่ 42.6 MHz (เป็นความถี่เรโซแนนซ์หรือความถี่ลาร์มอร์ของนิวเคลียสของไฮโดรเจนที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กกำลัง 1 เทสลา) เข้าสู่เนื้อเยื่อทั้งหมดจะมีโปรตอนซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กกำลัง 1 เทสลาเท่านั้น ที่ดูดกลืนพลังงานจากคลื่นวิทยุที่กระตุ้นไฮโดรเจนบริเวณที่สูงหรือต่ำกว่านี้จะไม่ถูกกระตุ้น ถ้าต้องการกระตุ้นเนื้อเยื่อบริเวณอื่น ก็สามารถทำได้โดยการปรับคลื่นวิทยุกระตุ้นให้มีความถี่สูงขึ้นหรือต่ำลง หรืออาจทำได้โดยการเลื่อนสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่



ภาพที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็กและการกำหนดระบบพิกัด



ภาพที่ 2.15 แสดงส่วนของอวัยวะซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตามยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ร่วมกับการส่งคลื่นวิทยุที่มีความถี่เดียวเข้าสู่เนื้อเยื่อ จะมีโปรตอนเพียงแถบเดียวเท่านั้นที่จะถูกกระตุ้น เท่ากับเป็นการแยกเนื้อเยื่อบริเวณนี้ออกจากเนื้อเยื่อ บริเวณข้างเคียง ถ้ากำหนดให้แกน Z เป็นแกนตามความยาวของร่างกาย บริเวณเนื้อเยื่อที่ถูกกระตุ้น ก็จะอยู่ในแนวระนาบ XY ดังภาพที่ 2.14 จากที่กล่าวมาการใช้คลื่นวิทยุกระตุ้นความถี่เดียวจะทำให้เนื้อเยื่อแผ่นบาง ๆ เท่านั้นที่ถูกกระตุ้น ถ้าต้องการให้เนื้อเยื่อมีความหนามากขึ้นจะต้องมีการกระตุ้นเนื้อเยื่อ โดยใช้คลื่นวิทยุกระตุ้นเป็นช่วงคลื่นที่รวมความถี่สูงกว่าและต่ำกว่าบริเวณที่กระตุ้นด้วย

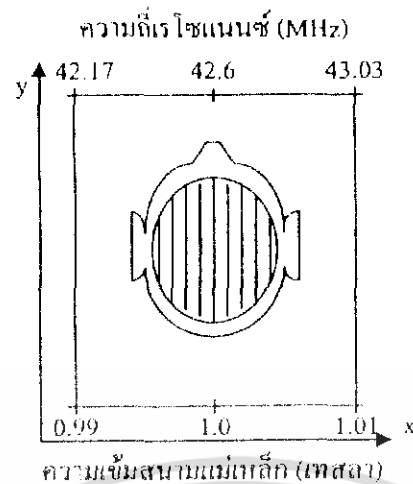
### 2.3.2.2 การหาตำแหน่งของสัญญาณภายในเนื้อเยื่อหนึ่งแผ่น

สำหรับในตอนนี เราสามารถแยกเนื้อเยื่อหนึ่งแผ่นออกมาจากเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ได้โดยการกระตุ้นเฉพาะ ไฮโดรเจน ในเนื้อเยื่อแผ่นนั้น โปรตอนจะปล่อยคลื่นวิทยุออกทันทีหลังจากนั้น ซึ่งความเข้มของสัญญาณที่ได้ นี้ จะบอกเพียงค่าเฉลี่ยของโปรตอนจากทุกบริเวณของเนื้อเยื่อแผ่นนั้น เพื่อจะบอกให้ได้ว่าสัญญาณที่ได้มาจากส่วนใดของเนื้อเยื่อที่ถูกกระตุ้น จะต้องใช้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ในทิศทางใหม่

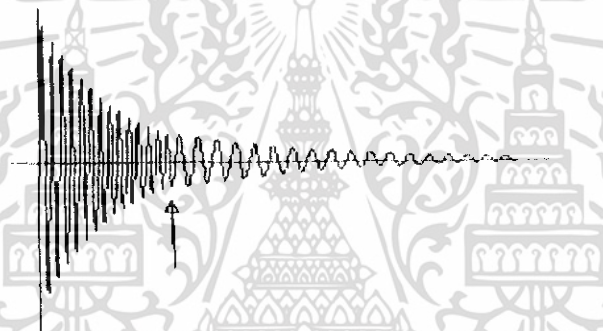
หลังจากแยกเนื้อเยื่อตามระนาบคตัดขวาง และกระตุ้น ไฮโดรเจน ในบริเวณนั้นแล้ว สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตามแนวศรยะถึงปลายเท้าและคลื่นวิทยุจะถูกปิด เนื้อเยื่อจะเริ่มปล่อยสัญญาณออกมาในทันทีนั้น สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่สนามที่สองจะถูกสร้างขึ้นมาตามระนาบ XY ทำให้สนามแม่เหล็กด้านหนึ่งของแผ่นเนื้อเยื่อมีกำลังมากกว่าอีกด้านหนึ่ง ดังภาพที่ 2.16

ด้วยอิทธิพลของสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ใหม่นี้ นิวเคลียสในบริเวณเนื้อเยื่อที่ถูกกระตุ้นซึ่งเดิมเคยควงหมุน (Process) ด้วยความถี่เดียวกันจะปรับตัวตามสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ใหม่ และเรโซแนนซ์ด้วยความถี่ที่สูงขึ้นหรือต่ำลงขึ้นกับตำแหน่งในสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ใหม่ นิวเคลียสทางด้านหนึ่งของแผ่นเนื้อเยื่อซึ่งมีกำลังสนามแม่เหล็กสูงกว่าจะเรโซแนนซ์ด้วยความถี่สูงกว่าอีกด้านหนึ่ง ในขณะที่โปรตอนจะเปลี่ยนความถี่ตามกำลังของสนามแม่เหล็กใหม่ ไม่ว่าความถี่เดิม หลังจากกระตุ้นจะเป็นเท่าใด ลักษณะเช่นนี้จะคล้ายกับการผ่อนสายกีตาร์ภายหลังการดีดสาย ซึ่งจะ ทำให้เสียงกีตาร์เปลี่ยนไป ดังภาพที่ 2.17

จากภาพตรงจุดที่ถูกกระตุ้น จะเป็นจุดที่สายกีตาร์ถูกผ่อนให้หย่อนลงหลังการดีดสายครั้งเดียว ทำให้เสียงต่ำลงทันทีโดยไม่ต้องดีดสายซ้ำ สัญญาณที่ปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อหนึ่งแผ่นจึงประกอบไปด้วยหลายความถี่ ถ้าวัดกำลังของคลื่นวิทยุในแต่ละความถี่ก็จะได้ปริมาณของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อแต่ละแถบ ดังนั้นในเครื่อง MRI จะมีเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณวิทยุที่ปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อว่ามีค่าใดบ้าง แต่ละความถี่มีกำลังของสัญญาณมากหรือน้อย ขนาดของความถี่จะบอกว่าสัญญาณมาจากเนื้อเยื่อแถบใด ส่วนแอมพลิจูดของแต่ละความถี่จะบอกปริมาณไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อแต่ละแถบ



ภาพที่ 2.16 แสดงเนื้อเยื่อหนึ่งแผ่นซึ่งสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กเรดิเคียนต์ตามขวาง



ภาพที่ 2.17 แสดงตำแหน่งที่สายกีตาร์ถูกผ่อนให้หย่อนลงหลังการดีดสายหนึ่งครั้ง(จุดที่ลูกศรชี้)

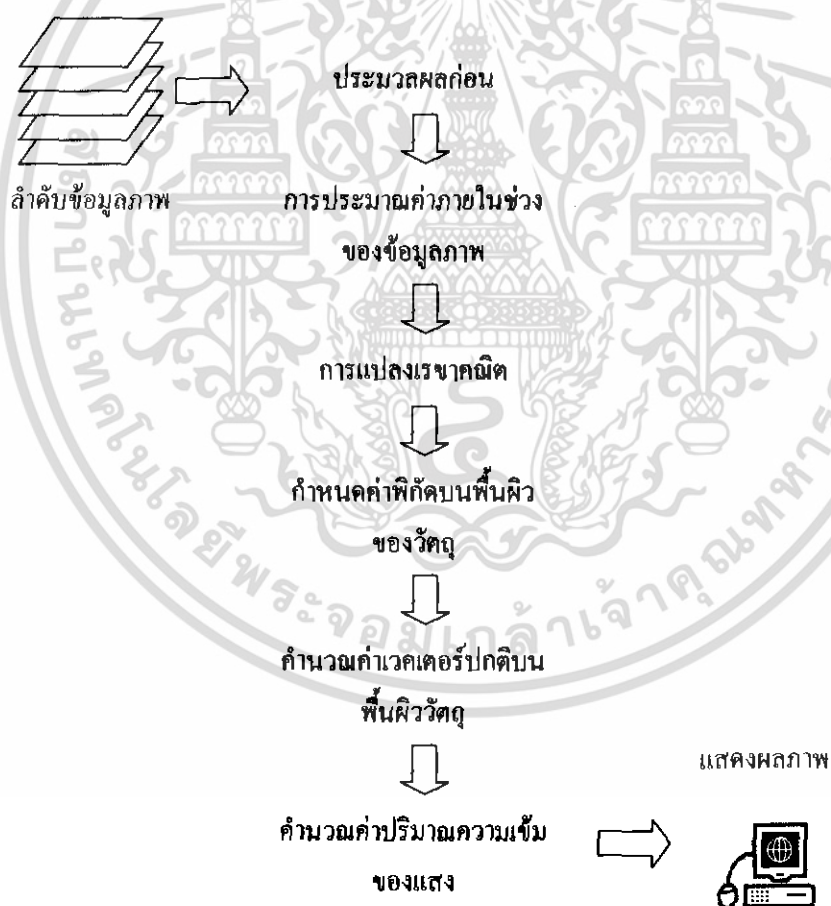
หลังจากรับสัญญาณและเก็บข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์แล้ว ขบวนการทั้งหมดก็จะถูกทำซ้ำ เริ่มจากการสร้างสนามแม่เหล็กเรดิเคียนต์ตามแกน Z กระตุ้นเนื้อเยื่อบริเวณเดิมด้วยคลื่นวิทยุ ปิดสนามแม่เหล็กเรดิเคียนต์ตามแกน Z หลังจากกระตุ้นแล้วตามด้วยเปิดสนามแม่เหล็กเรดิเคียนต์ตามระนาบตัดขวางทันที แต่ครั้งนี้ทิศทางต่างจากครั้งแรก เท่ากับทำการวัดความหนาแน่นของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อแผ่นเดิมแต่ในอีกทิศทางหนึ่งที่ต่างจากครั้งแรก โดยขบวนการดังกล่าวข้างต้นจะถูกกระทำซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กเรดิเคียนต์ตามระนาบตัดขวางไปเรื่อย ๆ เมื่อจบขบวนการรวบรวมข้อมูล เนื้อเยื่อตามระนาบตัดขวางหนึ่งแผ่นจะถูกคัดออกเป็นแถบเล็ก ๆ ในทิศทางต่างกันหลายร้อยชุด โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ และในขั้นคอนต่อไปก็จะนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนของการสร้างภาพต่อไป สำหรับวิธีการสร้างภาพในเครื่อง MRI กับ CT นั้นจะมีความคล้ายคลึงกันมาก ซึ่งวิธีการต่าง ๆ ได้แสดงไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การประมวลผลภาพและการปรับปรุงภาพ

การตรวจวินิจฉัยความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกายด้วยภาพที่ได้จากเครื่อง CT หรือเครื่อง MRI นั้น แพทย์ผู้ทำการตรวจจะเป็นต้องถ่ายภาพตัดขวางของอวัยวะที่ต้องการตรวจไว้เป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลภาพที่ได้นี้จะประกอบไปด้วยลำดับภาพของอวัยวะในบริเวณนั้น ๆ เรียงลำดับกันไปในลักษณะของข้อมูลสองมิติ ดังนั้นในปัญหาพิเศษนี้จะเป็นการนำเสนอวิธีการสร้างภาพจำลองของอวัยวะในลักษณะสามมิติบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยข้อมูลภาพตัดขวางของอวัยวะที่ได้เหล่านั้นมาผ่านขั้นตอนการประมวลผลในส่วนต่าง ๆ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนที่ใช้ในการประมวลผลได้ดังภาพที่ 3.1 โดยรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ จะได้กล่าวถึงในส่วนต่อไป



ภาพที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

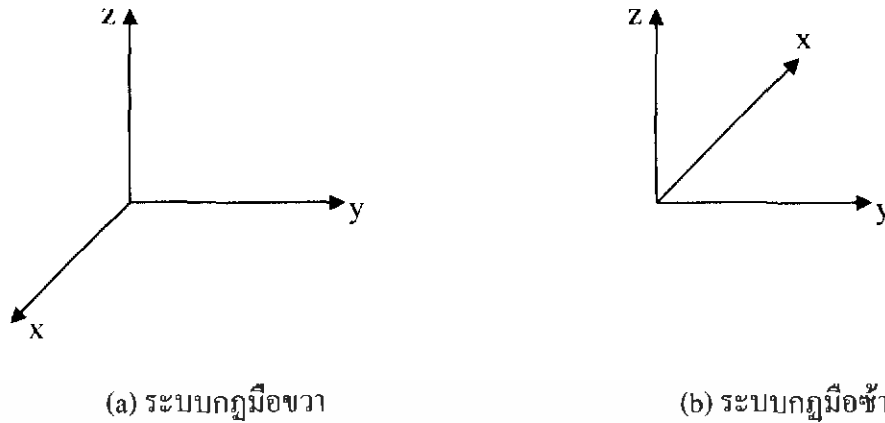
จากบล็อกไดอะแกรมที่แสดงดังภาพที่ 3.1 ในส่วนของลำดับข้อมูลภาพที่ใช้เป็นข้อมูลอินพุทให้กับระบบนั้น จะพบว่าจำนวนของภาพตัดขวางนับได้ว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะว่าถ้าจำนวนของภาพตัดขวางยิ่งมากก็จะส่งผลให้ภาพสามมิติที่ได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องถ่ายภาพตัดขวางแต่ละเครื่องว่าสามารถถ่ายภาพแต่ละภาพได้ด้วยความละเอียดเท่าใด

### 3.1 การแยกแยะวัตถุภายในภาพ

ข้อมูลภาพตัดขวางที่ได้จากเครื่อง CT หรือเครื่อง MRI นั้น เราจะพบว่าภายในภาพตัดขวางแต่ละแผ่นจะประกอบไปด้วยอวัยวะต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น กระโหลกศีรษะ และเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ เป็นต้น โดยภาพที่เราเห็นจะเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอวัยวะในบริเวณนั้นกับสิ่งที่กระตุ้นเข้าไป เช่น รังสีเอกซ์ หรือสนามแม่เหล็ก หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนปฏิกิริยาที่อวัยวะเหล่านั้นตอบสนองกลับออกมาให้ไปเป็นค่าของระดับความสว่าง ซึ่งโดยปกติแล้วจะแสดงผลในรูปของค่าระดับสีเทา ที่มีค่าระดับความสว่าง 8 บิตต่อจุดภาพ, 12 บิตต่อจุดภาพ หรือ 16 บิตต่อจุดภาพ โดยจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการแสดงผลของเครื่องที่ใช้ประมวลผล แต่ส่วนมากแล้วจะนิยมเลือกแสดงผลภาพโดยให้มีค่าระดับความสว่างของระดับสีเทาเท่ากับ 256 ระดับหรือ 8 บิตต่อจุดภาพเท่านั้น เพราะเนื่องจากตาของมนุษย์เราสามารถแยกความแตกต่างระหว่างระดับสีเทาได้เพียง 64 ระดับเท่านั้น ถ้ามมากกว่านี้เราจะไม่สามารถแยกความแตกต่างเหล่านี้ได้ โดยจะเห็นเพียงสีค่อย ๆ เปลี่ยนจากขาวไปดำเท่านั้น ดังนั้นในการแยกแยะอวัยวะต่าง ๆ ที่เราต้องการนั้น เราจะใช้วิธีการมาจากค่าระดับสีเทาที่อวัยวะนั้นเป็นตัวตัดสินใจว่าจะนำอวัยวะส่วนใดไปสร้างเป็นภาพสามมิติต่อไป

### 3.2 ระบบพิกัดในการอ้างอิงข้อมูล

ในขั้นตอนการสร้างภาพและการแสดงผลภาพที่มีลักษณะข้อมูลเป็น 3 มิตินั้น จะพบว่าการเข้าถึงข้อมูลเราจำเป็นต้องมีระบบพิกัด (Coordinate) ที่สามารถอ้างอิงถึงข้อมูลเหล่านั้นได้ โดยในปัญหาพิเศษฉบับนี้จะนำระบบพิกัดจาก 3 มิติมาใช้ ในระบบนี้จะมีแกนของระบบ 3 แกน ซึ่งแต่ละแกนจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยจะมีการอ้างอิงตำแหน่งต่าง ๆ คล้ายกับในระบบ 2 มิติ แต่มีการเพิ่มแกน Z เข้ามาที่จุดกำเนิด ซึ่งจะส่งผลให้มีระนาบเพิ่มขึ้นมาอีก 2 ระนาบ คือ ระนาบ XZ และระนาบ YZ โดยแกน Z ที่เพิ่มเข้ามานี้จะใช้ในการกำหนดว่าระบบดังกล่าวเป็นการอ้างอิงกับระบบกฏมือขวา ซึ่งจะมีทิศทางของแกน Z พุ่งเข้าหาผู้มอง หรืออ้างอิงกับระบบกฏมือซ้าย ซึ่งจะมีทิศทางของแกน Z พุ่งออกจากผู้มอง ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงระบบพิกัดในการอ้างอิงข้อมูล

### 3.3 การประมวลผลก่อน

สำหรับในส่วนของการประมวลผลก่อน จะเป็นขั้นตอนในการประมวลผลภาพเบื้องต้น เพื่อใช้ในการเตรียมข้อมูลภาพให้มีความเหมาะสมก่อนที่จะส่งไปประมวลผลในส่วนต่อ ๆ ไป ซึ่งขั้นตอนในส่วนนี้จะ ได้แก่ การลดขนาดของจุดภาพ โดยจะพบว่าในการถ่ายภาพตัดขวางของอวัยวะ ด้วยเครื่อง CT หรือเครื่อง MRI นั้นรูปแบบของภาพตัดขวางจะมีได้หลายรูปแบบ เช่น ภาพตัดขวางที่ได้จากเครื่อง MRI จะมีขนาด 2 ไบต์หรือ 16 บิตต่อจุดภาพ ซึ่งจะพบว่าจากทฤษฎีการมองเห็นของมนุษย์ ที่ความละเอียดสูงขนาดนี้ตาของมนุษย์เราจะไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างที่ระดับต่าง ๆ ได้ และนอกจากนั้นจะทำให้ในการนำภาพไปประมวลผลต่าง ๆ นั้นสามารถกระทำได้ไม่สะดวกนัก ดังนั้นจึงต้องมีการนำภาพตัดขวางที่ได้ไปทำการลดขนาดของจุดภาพลงจาก 2 ไบต์ต่อจุดภาพให้มาเป็น 1 ไบต์ต่อจุดภาพ โดยในการลดขนาดของจุดภาพนั้น เมื่อเรานำค่าของแต่ละจุดภาพมาพิจารณาค่าในแต่ละบิตแล้วจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพส่วนใหญ่ในภาพนั้นจะเกิดขึ้นในส่วนของ 8 บิตด้านบนเท่านั้น โดยในส่วนของ 8 บิตด้านล่างของจุดภาพนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลน้อยมาก ดังนั้นเราจึงสามารถตัด 8 บิตล่างของข้อมูลออกไปได้โดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียกับข้อมูลภาพโดยรวมมากนัก ซึ่งก็จะทำให้การนำภาพไปประมวลผลในส่วนต่อ ๆ ไปนั้นสามารถทำได้สะดวกยิ่งขึ้น

### 3.4 การประมาณค่าภายในช่วงของข้อมูลภาพ

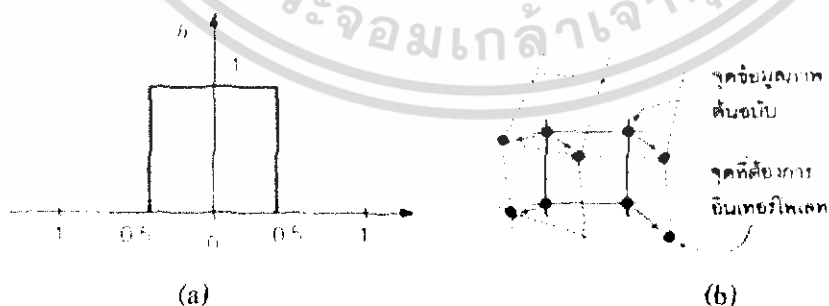
จากที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าในการสร้างภาพ 3 มิติจากลำดับของข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่อง CT และเครื่อง MRI นั้น ความถูกต้องของภาพที่ได้ส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนของภาพตัดขวางที่จะนำมาสร้างเป็นภาพ 3 มิติ ยกตัวอย่างเช่น ในการถ่ายภาพตัดขวางของอวัยวะนั้นถ้าในกรณีที่แพทย์ทำการคำนวณความหนาของภาพตัดขวางแต่ละแผ่นไว้ห่างกันมาก เช่น 1 หรือ 1.5 เซนติเมตร เราจะพบว่าถ้านำข้อมูลภาพเหล่านี้มาสร้างเป็นภาพ 3 มิติโดยตรง ภาพที่ได้ออกมาจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนของข้อมูลที่ขาดหายไป หรือภาพที่ได้ออกมาอาจจะมีลักษณะที่ผิดรูปร่างไปจากความเป็นจริงได้ ดังนั้นก่อนที่จะทำการสร้างภาพ 3 มิติขึ้นมาจะต้องมีการประมาณข้อมูลระหว่างภาพตัดขวางต้นฉบับเพื่อสร้างข้อมูลในส่วนที่ขาดหายไปขึ้นมาเสียก่อน ซึ่งจะเป็นการสร้างแผ่นภาพตัดขวางเทียมที่ได้จากการประมาณขึ้นมา แล้วจากนั้นจึงนำภาพตัดขวางเทียมเหล่านี้แทรกเข้าไประหว่างภาพตัดขวางต้นฉบับที่มีอยู่ โดยวิธีการประมาณค่าของข้อมูลแบบง่ายที่สุดคือ ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยระหว่างแผ่นภาพตัดขวางต้นฉบับ จากวิธีการนี้จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างจุดของข้อมูล  $(x_i, y_i)$  และ  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  ใด ๆ จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงง่ายต่อการประมาณค่าของข้อมูลในตำแหน่งต่าง ๆ แต่วิธีการนี้จะมีข้อเสียคือ ค่าที่ได้จากการประมาณจะมีลักษณะไม่เรียบ และไม่มีความสัมพันธ์ของแต่ละจุดของข้อมูล ซึ่งต่างกับฟังก์ชันในความเป็นจริงที่มีลักษณะราบเรียบ ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าประมาณที่มีลักษณะราบเรียบและต่อเนื่องที่แต่ละจุดของข้อมูล จึงต้องเลือกการประมาณค่าให้เหมาะสม การประมาณค่าภายในช่วงของข้อมูลภาพมีอยู่หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีจะถูกควบคุมโดยเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วง (Interpolation Kernel) และรูปร่างเคอร์เนลจะเป็นตัวกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สำหรับถ่วงน้ำหนักการบวกและคุณภาพของการประมาณค่าในช่วง

### 3.4.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเนียร์เรสเนเบอร์ (Nearest Neighbor)

การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดแต่ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าหยาบมาก ลักษณะทั่วไปนั้นจะเป็นการนำค่าที่อยู่ใกล้จุดที่ต้องการประมาณค่าในช่วงมาเป็นค่าตอบซึ่งสมการการประมาณค่าในช่วงใน 1 มิติ และ 2 มิติ แสดงได้ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ รูปร่างของเคอร์เนลสำหรับการประมาณค่าในช่วงชนิดนี้แสดงได้ดังภาพที่ 3.3 จะเห็นได้ว่ามีเพียงค่าเดียวเท่านั้นที่ถูกประมวลผล ดังนั้นการคำนวณในแต่ละวงรอบจึงมีน้อยมาก



ภาพที่ 3.3 (a) เคอร์เนลแบบเนียร์เรสเนเบอร์

(b) การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีเนียร์เรสเนเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = g(\text{round}(x)) \quad (3.1)$$

$$f(x, y) = g(\text{round}(x), \text{round}(y)) \quad (3.2)$$

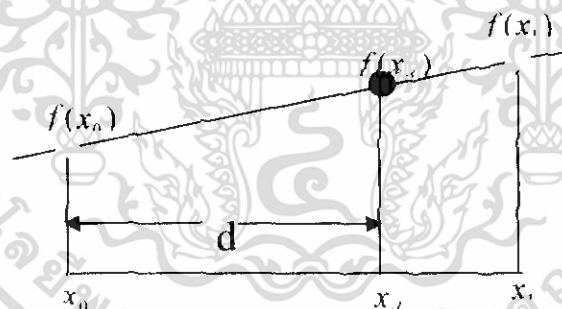
ข้อเสียของการประมาณค่าในช่วงแบบนี้คือผลกระทบจากอแลสซิง (Aliasing) และข้อเสียอีกอย่างคือ การเลื่อนของภาพ ซึ่งการบิดค่าของเนียร์เรสเนเบอร์เป็นสาเหตุให้ภาพเลื่อนไป  $\frac{1}{2}$  ถึง 1 พิกเซล ซึ่งมีผลอย่างมากในกรณีที่มีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของวัตถุในภาพ และข้อดีวิธีนี้คือ ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย

### 3.4.2 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation)

การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นสามารถได้ง่ายและเร็ว โดยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นจะอาศัยสมการเชิงเส้นมาทำการคำนวณค่าที่ต้องการประมาณค่าในช่วง สมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังสมการที่ 3.3

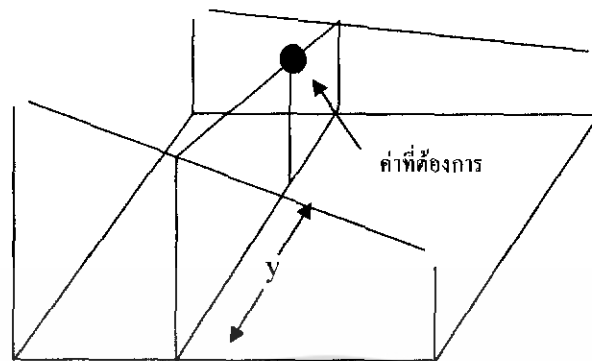
$$y = mx + c \quad (3.3)$$

สมมติว่าจุดสองจุด  $f(x_0)$  และ  $f(x_1)$  มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ดังแสดงในภาพที่ 3.4

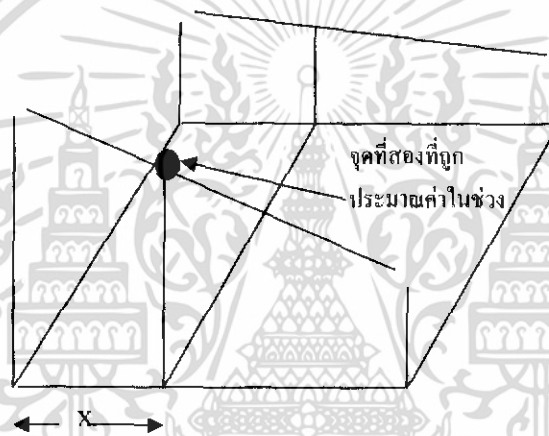


ภาพที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของข้อมูล

สำหรับข้อมูลใน 3 มิติ การประมาณค่าในช่วงจะต้องทำ 3 ครั้ง คือ แกน X สองครั้ง และ แกน Y หนึ่งครั้ง ซึ่งอาจเรียกการประมาณค่าในช่วงแบบนี้ว่า การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่ (Bilinear Interpolation) ดังแสดงในภาพที่ 3.5



(a) ค่าที่ถูกอินเตอร์โพลชันในแนวแกน X เป็นจุดแรก



(b) ค่าที่ถูกอินเตอร์โพลชันในแนวแกน X เป็นจุดสอง



(c) ค่าที่ถูกอินเตอร์โพลชันในแนวแกน Y

ภาพที่ 3.5 การประมาณค่าในช่วง 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การแปลงเรขาคณิตของข้อมูลภาพ

งานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้น บ่อยครั้งที่เราอาจต้องการที่จะเคลื่อนย้าย (Translate) ภาพไปยังตำแหน่งใหม่ที่เราต้องการหรือในบางกรณีเราอาจต้องการหมุน (Rotate) ภาพไปในทิศทางต่าง ๆ เพื่อให้ได้มุมมองของภาพที่ดีขึ้น โดยจากที่กล่าวมานี้เราสามารถกระทำได้โดยวิธีการแปลงที่เรียกว่า การแปลงเรขาคณิต (Geometric transformation) ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก โดยในปัญหาพิเศษฉบับนี้จะใช้การแปลงเรขาคณิตนี้เพื่อทำการเลือกฉายภายในมุมมองต่าง ๆ กันตามที่เราต้องการ ซึ่งในการคำนวณนั้นเราสามารถพิจารณาได้ว่า ถ้าจุด ๆ หนึ่งในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ โดยในที่นี้กำหนดให้เป็น จุด  $P$  มีพิกัดเป็น  $(x, y, z)$  ใด ๆ ถ้าจุดดังกล่าวถูกเปลี่ยนตำแหน่งไปยังพิกัดใหม่ ซึ่งในที่นี้คือ  $P' = (x', y', z')$  เราสามารถที่จะคำนวณหาพิกัดใหม่ของจุด  $P$  ที่ถูกเปลี่ยนตำแหน่งไปจากพิกัดเดิมได้จากการคูณกันระหว่างพิกัดของจุด  $P$  กับเมตริกซ์ของการแปลง  $T$  โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$P' = PT = [x, y, z] \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix} = [(Ax + Dy + Gz), (Bx + Ey + Hz), (Cx + Fy + Iz)] \quad (3.4)$$

ซึ่งเมตริกซ์ของการแปลงดังกล่าวข้างต้นจะใช้กับการแปลงเรขาคณิตดังนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงขนาด, การหมุน และการสะท้อน เป็นต้น โดยการเลือกว่าจะเป็นการแปลงชนิดใดนั้น จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทั้งหมดภายในเมตริกซ์ของการแปลง แต่ถ้าในกรณีที่เราต้องการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Translation) ของจุด  $P$  ไปยังพิกัดใหม่คือ  $P'$  นั้น จะสามารถแสดงเมตริกซ์ของการแปลงได้ดังนี้

$$P' = P + T = [x \ y \ z] + [L \ M \ N] \quad (3.4.1)$$

ซึ่งจะพบว่าในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งนั้นจะแตกต่างจากการแปลงแบบอื่น ๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว (การแปลงแบบอื่น ๆ จะใช้การคูณ) และสำหรับการแปลงเรขาคณิตในทางคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้น โดยปกติแล้วจะประกอบไปด้วยการแปลงหลาย ๆ ชนิดประกอบกัน ซึ่งการคำนวณต่าง ๆ จะอยู่ในรูปของเมตริกซ์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเป็นการยากต่อการคำนวณถ้าเมตริกซ์เหล่านั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกัน และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติจะมีข้อจำกัดต่าง ๆ มากมาย จึงได้มีการนำเอาระบบพิกัดโฮโมจีเนียส (Homogeneous coordinate system) มาใช้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณยิ่งขึ้น และสำหรับในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสนั้น จุด  $(x, y, z)$  จะถูกแทนด้วย  $(x, y, z, H)$  โดย  $H$  จะเป็นค่าของสเกลแฟกเตอร์ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์และจุดดังกล่าวจะถูกนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอลไลซ์ (Normalized) เป็น  $\left(\frac{x}{H}, \frac{y}{H}, \frac{z}{H}, 1\right)$  ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว  $H = 1$  ดังนั้นจุด  $(x, y, z)$  ใด ๆ จะมีค่าในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสเป็น  $(x, y, z, 1)$  และสามารถแสดงเมตริกซ์ของการแปลงในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสได้ดังนี้

$$\begin{array}{c} \text{I} \leftarrow \begin{array}{|ccc|} \hline A & B & C \\ \hline D & E & F \\ \hline G & H & I \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} \\ \text{II} \leftarrow \begin{array}{|ccc|} \hline L & M & N \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline \end{array} \rightarrow \text{III} \end{array} \quad (3.4.2)$$

โดยเมตริกซ์ย่อย I จะเป็นส่วนที่ใช้ในการกำหนดว่าเป็นการแปลงชนิดใด เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาด, การหมุน หรือการสะท้อน เป็นต้น เมตริกซ์ย่อย II จะใช้ในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งแบบเชิงเส้น เมตริกซ์ย่อย III จะเป็นส่วนที่ใช้การรวมระหว่างการเคลื่อนย้ายพิกัดและการแปลงแบบอื่น ๆ ในรูปของการคูณ ซึ่งจะมีรายละเอียดของการแปลงแบบต่าง ๆ ดังนี้

### 3.5.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Translation)

ในการเคลื่อนย้ายจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งมีพิกัดเป็น  $(x, y, z)$  ไปอยู่ที่ตำแหน่งใหม่ซึ่งมีพิกัดเป็น  $(x', y', z')$  สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร  $L, M$  และ  $N$  แสดงดังสมการที่ 3.5

$$[x', y', z', 1] = [x, y, z, 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ L & M & N & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

โดยค่าของ  $L, M$  และ  $N$  จะแสดงถึงระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายไป โดยเป็นระยะที่เทียบแกน  $X$  แกน  $Y$  และแกน  $Z$  ตามลำดับ

### 3.5.2 การหมุนวัตถุ (Rotation)

สำหรับในการหมุนวัตถุรอบแกนต่าง ๆ นั้น สามารถแสดงเมตริกซ์การแปลงที่ใช้ในการหมุนวัตถุได้ดังนี้ สำหรับการหมุนวัตถุรอบแกน  $Z$  ด้วยมุม  $\theta$  ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา คือ

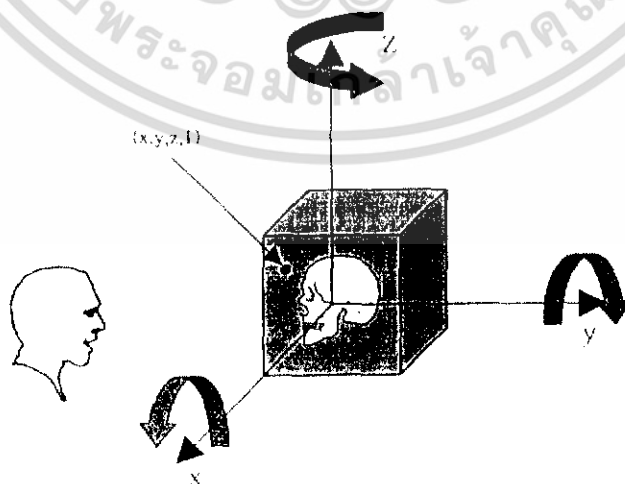
$$R(\theta)_z = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

และเมตริกซ์ของการแปลงสำหรับการหมุนรอบแกน  $X$  และแกน  $Y$  คือ  $R(\theta)_x$  และ  $R(\theta)_y$  สามารถแสดงได้ดังนี้

$$R(\theta)_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$R(\theta)_y = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

ซึ่งจากข้อมูลภาพตัดขวางแต่ละภาพนั้น เราจะพบว่าจุดภาพแต่ละจุดภายในภาพตัดขวางมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยแต่ละจุดภาพจะมีค่าพิกัด  $(x, y)$  เป็นของตัวเองอยู่แล้ว และเมื่อนำภาพตัดขวางทั้งหมดมาจัดเรียงกันในลักษณะ 3 มิติ ก็จะพบว่าจุดภาพทั้งหมดจะมีพิกัดเป็น  $(x, y, z)$  ครบทุกจุด ดังนั้นเราสามารถที่จะหมุนข้อมูลภาพตัดขวางทั้งหมดไปในทิศทางใด ๆ ก็ได้ อย่างเป็นอิสระ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.6



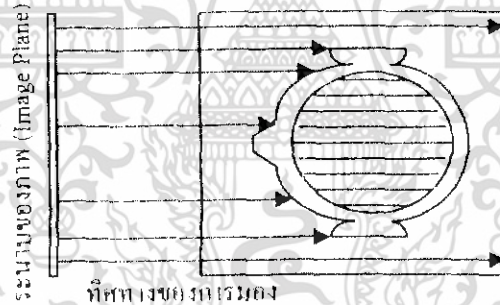
ภาพที่ 3.6 แสดงการหมุนวัตถุรอบแกนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การกำหนดพิกัดบนพื้นผิวของวัตถุในระบบพิกัด 3 มิติ

สำหรับการกำหนดค่าพิกัด  $(x, y, z)$  ให้กับจุดต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุที่เราต้องการนั้น สามารถกระทำได้ดังนี้ จากภาพที่ 3.7 จะพิจารณาได้ว่าเป็นข้อมูลของภาพตัดขวาง 1 แผ่น โดยส่วนที่เราต้องการกำหนดค่าพิกัดคือบริเวณพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งในที่นี้ก็คือ เส้นรอบรูปดังที่แสดงนั่นเอง โดยจะพบว่าเราสามารถที่จะหาค่าของพิกัด  $(x, y)$  ของจุดต่าง ๆ บนเส้นรอบรูปได้ทุกจุด โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ในขั้นแรกนั้นเราจะต้องเลือกกำหนดค่าการตัดสlicing (Threshold value) ไว้ที่ค่าระดับเทาของอวัยวะที่ต้องการนำมาสร้างเป็นภาพ 3 มิติเสียก่อน และหลังจากนั้นก็ทำการสแกนไปตามแนวแถวหรือแนวคอลัมน์ของภาพ โดยจะขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการที่จะฉายภาพที่ด้านใดของวัตถุ

ในที่นี้เราจะกำหนดให้ด้านที่ต้องการฉายมีลักษณะดังภาพที่ 3.7 ซึ่งในกรณีนี้เราจะทำการสแกนไปตามแนวแถวทุกแถวของภาพจากซ้ายไปขวา จนกระทั่งพบค่าระดับเทาของวัตถุที่ต้องการ จากนั้นเราก็จะทำการกำหนดค่าพิกัดให้กับจุด ๆ นั้น ซึ่งจุดที่เราพบนี้จะมีค่าพิกัดเป็น (Row, Column) ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงให้เป็นพิกัด  $(x, y)$  โดยสามารถแสดงสมการที่ใช้ในการแปลงเป็นค่าพิกัด  $(x, y)$  ได้ดังสมการที่ 3.9



ภาพที่ 3.7 แสดงการกำหนดค่าพิกัดบนพื้นผิวของวัตถุ

$$x = \text{Column} \quad (3.9a)$$

$$y = \text{Row} \quad (3.9b)$$

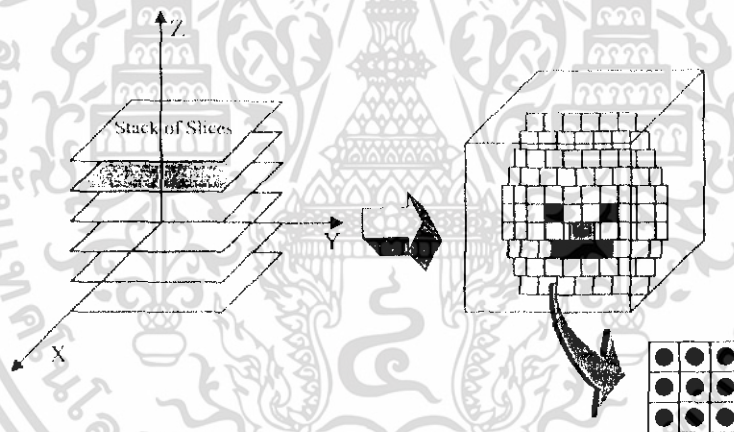
โดยในการคำนวณนั้นจะต้องกระทำกับภาพตัดขวางทุกภาพ เพราะฉะนั้นในตอนนี้เราก็จะทราบค่าพิกัด  $(x, y)$  บนพื้นผิววัตถุของด้านที่ต้องการฉายครบทุกตำแหน่งแล้ว และเมื่อนำภาพตัดขวางทั้งหมดมาจัดเรียงในลักษณะ 3 มิติ โดยมีการเพิ่มแกน Z เข้ามา ซึ่งแกนที่เพิ่มเข้ามานี้จะแสดงถึงจำนวนของภาพตัดขวางทั้งหมดที่นำมาซ้อนกัน โดยสามารถแสดงการจัดวางภาพตัดขวางทั้งหมดในแกนพิกัด 3 มิติได้ดังภาพที่ 3.8 จากภาพกำหนดให้ภาพตัดขวางแผ่นที่ 1 วาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่บนระนาบ  $Z = 0$  และภาพตัดขวางแผ่นที่ 2 วางอยู่บนระนาบ  $Z = 1$  โดยนำภาพตัดขวางทั้งหมดมาจัดเรียงตามลำดับจนครบทุกภาพ เพราะฉะนั้นที่ทุก ๆ จุดบนพื้นผิวของวัตถุก็จะมีค่าของฟังก์ชัน  $(x, y, z)$  ครบทุกจุด ซึ่งหลังจากนั้นเราก็สามารถที่จะนำฟังก์ชันของข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนของการประมวลผลในส่วนต่าง ๆ ต่อไป

### 3.7 การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

จากในหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อเราสามารถคำนวณหาฟังก์ชันของจุดต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุที่เราต้องการได้แล้ว ในส่วนต่อไปจะได้กล่าวถึงการนำค่าฟังก์ชันของจุดต่าง ๆ ที่ได้เหล่านั้นมาใช้ในการคำนวณค่าของเวกเตอร์ปกติบนพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งก็คือเวกเตอร์ที่มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุนั่นเอง โดยค่าของเวกเตอร์ปกติบนพื้นผิวของวัตถุนี้นับได้ว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก เพราะเราจะนำเอาค่าต่าง ๆ ที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนของการกำหนดค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุต่อไป โดยจากในหัวข้อที่ผ่านมาเมื่อนำภาพตัดขวางที่มีอยู่ทั้งหมดมาจัดเรียงในลักษณะ 3 มิติแล้วนั้นจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.8

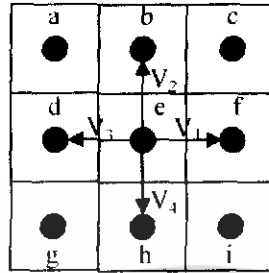


ภาพที่ 3.8 แสดงการจัดวางภาพตัดขวางทั้งหมดในแกนพิกัดฉาก 3 มิติ

จากภาพที่ 3.8 เราสามารถพิจารณาได้ว่าพื้นผิวของวัตถุที่กำลังสนใจอยู่นั้นประกอบไปด้วยระนาบเล็ก ๆ ที่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุที่จุดต่าง ๆ จำนวนมาก โดยวิธีการที่ใช้ในการคำนวณค่าของเวกเตอร์ปกติจะใช้วิธีพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ทั้งหมดที่อยู่บนระนาบเล็ก ๆ เหล่านี้ ซึ่งในการคำนวณนั้นเราจะกำหนดให้ระนาบแต่ละระนาบนั้นแทนด้วยหน้าตาขนาด  $3 \times 3$  พิกเซล โดยเราจะนำหน้าตาที่กำหนดขึ้นมาไปวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุ และใช้จุดกึ่งกลางของหน้าตาที่กำหนดขึ้นมาเป็นจุดอ้างอิง หลังจากนั้นจะนำค่าของเวกเตอร์ทั้งหมดที่อยู่ภายในหน้าตานั้นมาทำการหาค่าของผลคูณไขว้ (Cross Product) ก็จะหา

ให้เราทราบถึงเวกเตอร์ปกติที่จุดอ้างอิงนั้น (จุดกึ่งกลางของหน้าต่าง) ซึ่งก็จะเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับระนาบที่สัมผัสพื้นผิวของวัตถุนั่นเอง โดยสามารถแสดงตัวอย่างของการคำนวณได้ดังนี้

สมมติให้จุดต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุที่กำลังพิจารณามีลักษณะดังรูปข้างล่าง



ภาพที่ 3.9 แสดงเวกเตอร์ที่อยู่ภายในหน้าต่างที่กำหนดขึ้น

จากภาพที่ 3.9 จะพบว่า มีเวกเตอร์อยู่ 4 เวกเตอร์ที่อยู่ภายในหน้าต่างที่กำหนดขึ้น ซึ่งในที่นี้จุดแต่ละจุดบนพื้นผิวของวัตถุก็จะมีค่าพิกัด  $(x, y, z)$  ที่เป็นอิสระจากกัน โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} a &= (x_1, y_1, z_1) & e &= (x_5, y_5, z_5) & i &= (x_9, y_9, z_9) \\ b &= (x_2, y_2, z_2) & f &= (x_6, y_6, z_6) \\ c &= (x_3, y_3, z_3) & g &= (x_7, y_7, z_7) \\ d &= (x_4, y_4, z_4) & h &= (x_8, y_8, z_8) \end{aligned}$$

ดังนั้นเราสามารถที่จะหาค่าเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวที่จุดกึ่งกลางของหน้าต่าง ซึ่งในที่นี้คือจุด  $e$  ( $N_e$ ) ได้ดังนี้

$$(N_e) = (V_1 \otimes V_2) + (V_2 \otimes V_3) + (V_3 \otimes V_4) + (V_4 \otimes V_1) \quad (3.10)$$

โดยเครื่องหมาย  $\otimes$  จะหมายถึงผลคูณไขว้ของเวกเตอร์ ซึ่งเวกเตอร์  $V_1$  และ  $V_2$  นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\begin{aligned} V_1 &= f - e = A_1 i + A_2 j + A_3 k \\ V_2 &= b - e = B_1 i + B_2 j + B_3 k \end{aligned} \quad (3.11)$$

และสำหรับการหาผลคูณไขว้ระหว่างเวกเตอร์นั้นสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
V_1 \otimes V_2 &= (A_1i + A_2j + A_3k) \otimes (B_1i + B_2j + B_3k) \\
&= A_1i \otimes (B_1i + B_2j + B_3k) + A_2j \otimes (B_1i + B_2j + B_3k) + A_3k \otimes (B_1i + B_2j + B_3k) \\
&= A_1B_1k - A_1B_3j - A_2B_1k + A_2B_3i + A_3B_1j - A_3B_2i \\
&= (A_2B_3 - A_3B_2)i + (A_3B_1 - A_1B_3)j + (A_1B_2 - A_2B_1)k
\end{aligned} \tag{3.12}$$

หรือสามารถแสดงในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$V_1 \otimes V_2 = \begin{vmatrix} i & j & k \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \end{vmatrix} \tag{3.13}$$

โดยเวกเตอร์ที่เหลือทั้งหมดก็สามารถทำการคำนวณได้ในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวมาทั้งหมด ซึ่งเมื่อกระทำครบทุกเวกเตอร์แล้วเราก็จะได้เวกเตอร์ที่มีทิศทางตั้งฉากกับจุดทุกจุดบนพื้นของวัตถุ

### 3.8 การคำนวณปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ

การกำหนดปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ หรือที่เรียกกันว่า Shading ซึ่งจะเป็นขั้นตอนในการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุนั้นจะเป็นสิ่งที่แสดงบนพื้นผิวของวัตถุ โดยค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุนั้นจะเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นมีมิติหรือมีรูปร่างเป็นอย่างไร (หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุนั้นจะแสดงถึงความลึกหรือค่าของแกน Z ของวัตถุในระนาบ 2 มิติ นั่นเอง) และสำหรับในการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุนั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลาย ๆ อย่าง อาทิเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิว ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง ทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง และคุณสมบัติของพื้นผิวของวัตถุ เช่น พื้นผิวของวัตถุบางชนิดอาจจะมีลักษณะที่มันวาว (Shiny) หรือบางชนิดพื้นผิวอาจมีลักษณะทึบแสง (Opaque) เป็นต้น ดังนั้นแบบจำลองที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงจะต้องมีการนำคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นมาใช้เป็นองค์ประกอบในการพิจารณาด้วย

#### 3.8.1 การกำเนิดภาพในธรรมชาติ

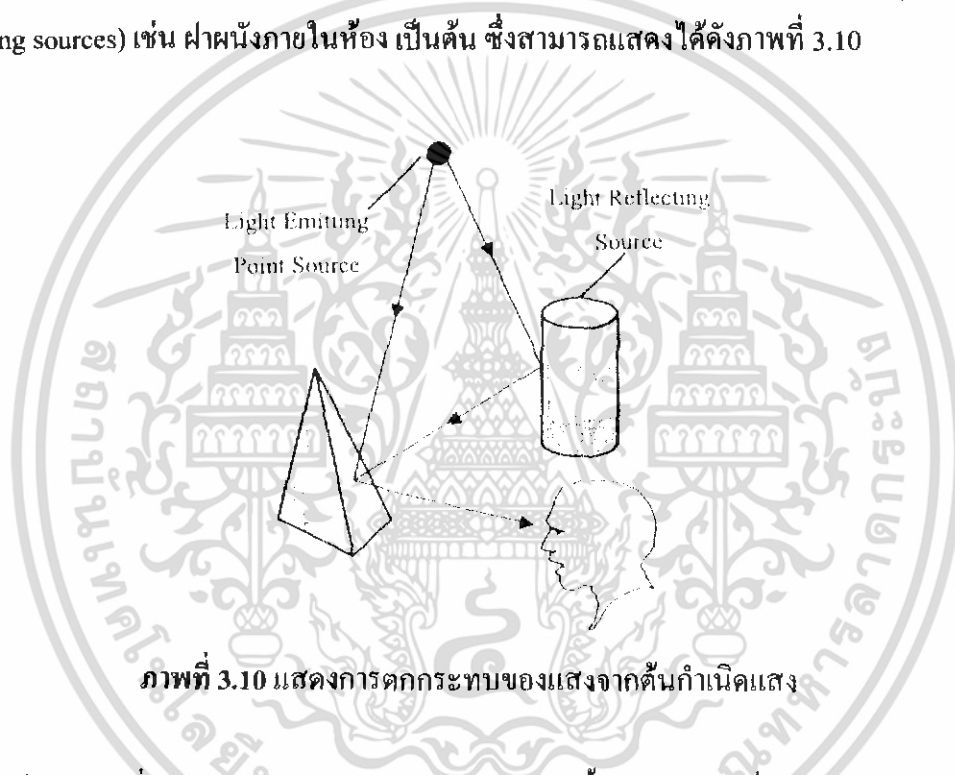
ในตามธรรมชาตินั้นเมื่อเรามองไปที่วัตถุใด ๆ ก็ตามนั้น จะพบว่าสิ่งที่เราสามารถมองเห็นภาพต่าง ๆ ใต้นั้นจะเป็นผลมาจากการที่มีโฟตรอนจากแหล่งกำเนิดแสงพุ่งมากระทบที่พื้นผิวของวัตถุนั้นแล้วทำปฏิกิริยากับวัตถุนั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นการหักเหแสง การสะท้อนแสง และการดูดกลืนแสง โดยสิ่งที่เหลือจากโฟตรอนตัวนั้นก็จะพุ่งมาเข้าตาเรา ทำให้เราสามารถมองเห็นภาพของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ ได้ ส่วนการที่ตาของคนเราสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีส้มต่าง ๆ ได้ก็เพราะว่าวัตถุนั้น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์ในการหักเหแสง การสะท้อนแสง และการดูดกลืนแสงไม่เท่ากันนั่นเอง ซึ่งจากปรากฏการณ์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะพบว่าแสงจะเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อการมองเห็นของมนุษย์ โดยจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในส่วนต่อไป

### 3.8.2 แหล่งกำเนิดแสง

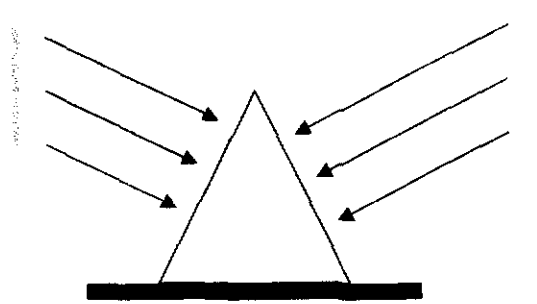
สำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องสว่างมายังวัตถุ สามารถแยกพิจารณาออกได้เป็น 2 ชนิดคือ แหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงมาตกกระทบกันพื้นผิวของวัตถุโดยตรง (Light emitting sources) เช่น หลอดไฟภายในห้อง และแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากการสะท้อนจากพื้นผิวของวัตถุอื่น (Light reflecting sources) เช่น ฝาผนังภายในห้อง เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 แสดงการตกกระทบของแสงจากต้นกำเนิดแสง

ถ้าในกรณีที่วัตถุถูกส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองชนิดดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยถ้ามีแสงสะท้อนจากวัตถุอื่นที่อยู่รอบข้างเข้ามาในหลาย ๆ ทิศทาง เราจะเรียกแสงชนิดนี้ว่าแสงโดยรอบ (Ambient light หรือ Background light) แสงโดยรอบสามารถที่จะเกิดขึ้นได้จากต้นกำเนิดแสงหลายชนิดด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นต้นกำเนิดแสงจุดเดียวหรือต้นกำเนิดแสงจำนวนมากก็ได้ แสงที่ส่องสว่างจากพื้นผิวนขนาดเล็ก เรียกว่าแสงจากต้นกำเนิดแสงแบบจุด (Point light source) แสงที่ส่องสว่างจากต้นกำเนิดแสงแบบจุดนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือ ทิศทางของแสงจากต้นกำเนิดจะมีทิศทางเดียวและมีค่าความเข้มของแสงเท่ากัน เมื่อสังเกตจากตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งใดในระบบ ส่วนแสงที่เกิดมาจากพื้นผิวใด ๆ จะเรียกต้นกำเนิดแสงนั้นว่า ต้นกำเนิดแสงแบบกระจาย (Distributed light source) ถ้าแสงต่าง ๆ ที่มาจากต้นกำเนิดแสงแบบกระจายจะกระทบจุดที่กำหนดจากหลายทิศทาง และยังมีค่าความเข้มของแสงต่างกันด้วย ดังภาพที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 แสดงการตกกระทบของแสงจากต้นกำเนิดแสงแบบกระจาย

ปริมาณความเข้มของแสงที่จะสะท้อนจากพื้นผิวของวัตถุนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นผิวของวัตถุ รวมถึงปริมาณความเข้มของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิว ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 3.14 ถ้าประมาณความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุคือ  $I_a$  และปริมาณความเข้มของแสงที่สะท้อนออกจากพื้นผิวคือ  $I$

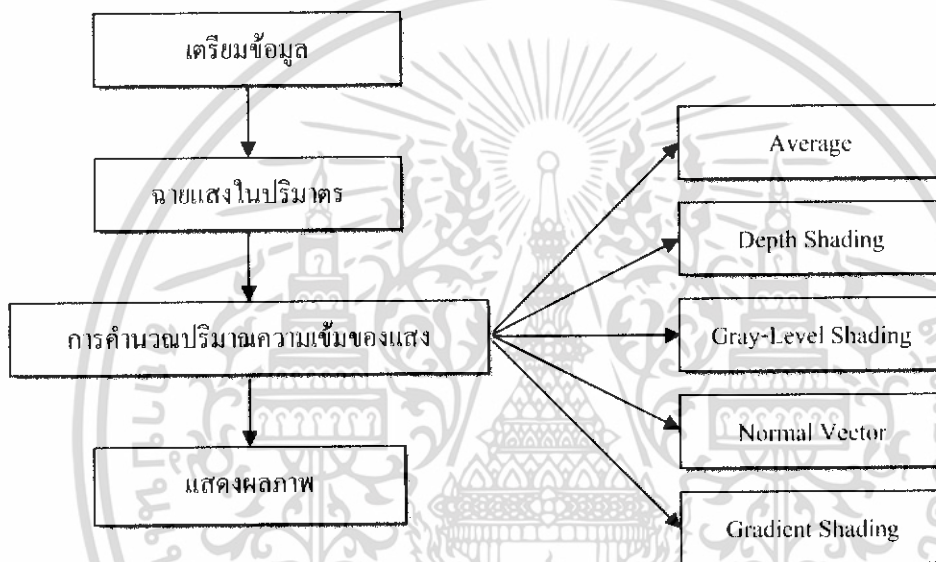
$$I = K_r I_a \quad (3.14)$$

เมื่อ  $K_r$  คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิววัตถุ (Coefficient of reflectivity, reflectivity) โดยวัตถุที่มีพื้นผิวสีขาวจะสามารถสะท้อนแสงได้เกือบทั้งหมดจากจำนวนของแสงที่มาตกกระทบ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงจะมีค่าใกล้เคียง 1 ส่วนวัตถุที่มีพื้นผิวสีดำจะดูดกลืนแสงที่มาตกกระทบเกือบทั้งหมด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงจึงมีค่าใกล้เคียง 0 วัตถุบางชนิดจะสะท้อนบางสีของแสงที่มาตกกระทบได้มากกว่าสีอื่น ๆ เมื่อมีแสงสีขาว (แสงสีขาวเป็นแสงที่มีปริมาณความเข้มของแสงทุกสีเท่ากัน) มาตกกระทบจะทำให้ส่วนของแสงสีแดงสะท้อนกลับได้มากกว่าสีอื่น ๆ จะทำให้เห็นวัตถุนั้นมีสีแดง ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นจะเป็นการอธิบายถึงพื้นฐานของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำหนดปริมาณของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ โดยในบทที่ 4 จะได้อธิบายถึงวิธีการต่าง ๆ ในการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ และผลการทดลองต่อไป

## บทที่ 4

### การคำนวณปริมาณความเข้มของแสงและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนของการคำนวณปริมาณความเข้มของแสง ด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยสีทุกจุด, วิธี Depth Shading, วิธี Gray-Level Shading, วิธีการใช้ข้อมูลของเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว และวิธี Gradient Shading ซึ่งแต่ละวิธีจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ในการสร้างภาพเชิงพื้นผิวแต่ละวิธีนั้นจะมีขั้นตอนในการประมวลผล ซึ่งสามารถแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงพื้นผิว

การเตรียมข้อมูลภาพเป็นขั้นตอนแรกในการสร้างภาพ ในการเตรียมข้อมูลภาพนั้นเราจะนำข้อมูลภาพซึ่งเป็นไฟล์ภาพทางการแพทย์ โหลดภาพมาทีละภาพ (ตามลำดับ) และทำการอ่านค่าโครงสร้างหรือองค์ประกอบต่างๆ ของจุดภาพ องค์ประกอบในโครงงานปัญหาพิเศษนี้คือ ความกว้าง ความยาว และค่าสีของแต่ละจุดภาพมาเก็บไว้ในตัวแปรหนึ่งๆ ดังนั้นเราควรจะต้องทราบโครงสร้างของภาพเสียก่อนดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

#### 4.1 โครงสร้างของภาพตัดขวาง

ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลภาพนั้น เราจำเป็นต้องทราบโครงสร้างของข้อมูลภาพก่อน ภาพที่เรานำมาใช้ในโครงการปัญหาพิเศษนี้ เป็นภาพตัดขวางของร่างกายมนุษย์ที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT : computer Tomography) เป็นภาพประเภทบิตแมพ (bitmap) แต่ละภาพมีขนาด 587 x 341 pixels แต่ละ pixel เก็บข้อมูลสีภาพแบบ RGB (24 bit) ภาพทั้งหมดที่นำมาใช้ในโครงการปัญหาพิเศษมีจำนวน 1878 รูป (มนุษย์ที่นำมาสร้างภาพตัดขวางสูง 187.8 ซม. แต่ละภาพตั้งแต่หัวจรดเท้าห่างกัน 1 มม. ดังนั้นจึงได้รูปทั้งหมด 1878 รูป) ภาพที่ 4.2 แสดงภาพตัดขวางส่วนศีรษะที่นำมาสร้างภาพเชิงพื้นผิวในโครงการพิเศษนี้ และตัวอย่างของภาพตัดขวางบางส่วนที่นำมาใช้ในการสร้างภาพเชิงพื้นผิวดังภาคผนวก

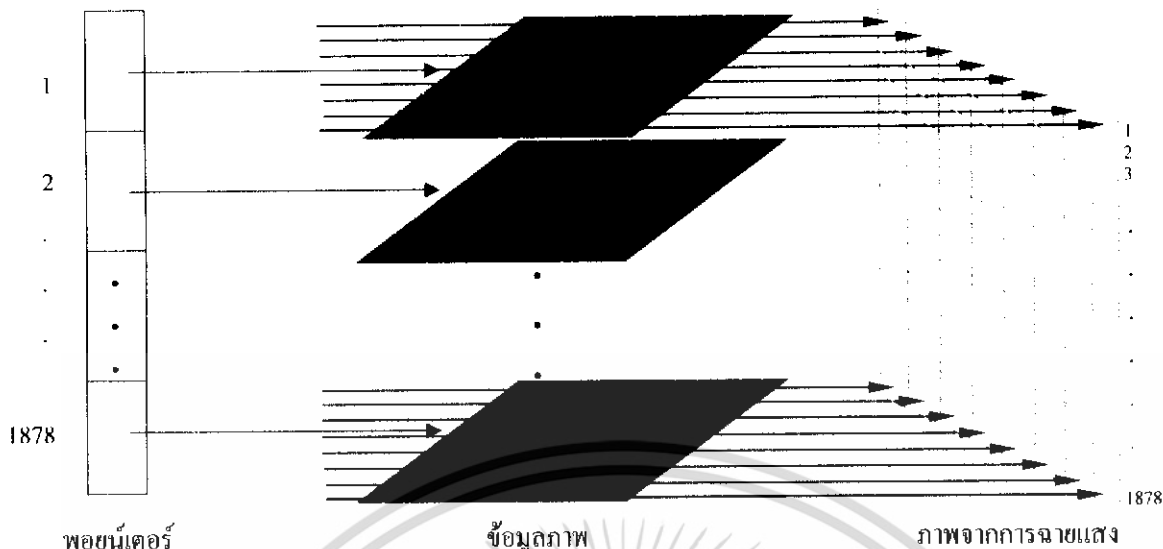


ภาพที่ 4.2 ภาพตัดขวางจากเครื่อง Computer Tomography ขนาดเท่าของจริง

#### 4.2 การออกแบบขั้นตอนวิธีเพื่อเก็บข้อมูลภาพ

ในการที่จะประมวลผลภาพนั้น ภาพที่จะนำไปประมวลผลจะต้องถูกเก็บเข้าสู่หน่วยความจำทั้งหมดก่อน ซึ่งภาพทางการแพทย์มีจำนวนข้อมูลมากเป็นพิเศษ เพราะในการเก็บค่าสีของแต่ละพิกเซล ต้องใช้หน่วยความจำ 4 Bytes ดังนั้น ภาพตัดขวาง 1 ภาพ จะใช้พื้นที่หน่วยความจำ  $587 \times 341 \times 4 = 800668$  Bytes และถ้าต้องการสร้างภาพทั้งร่างกายต้องใช้หน่วยความจำมากถึง  $587 \times 341 \times 4 \times 1878 = 1503654504$  Bytes หรือ ประมาณ 1503.65 MB ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการเก็บข้อมูลภาพ เพราะหน่วยความจำไม่เพียงพอ ดังนั้นในโครงการปัญหาพิเศษฉบับนี้จึงแก้ไขปัญหามาโดยให้มีการจองพื้นที่หน่วยความจำส่วนขยาย เพื่อใช้เก็บภาพเพิ่มในตอนต้นของการเขียนโปรแกรม โดยใช้พอยน์เตอร์ช่วย มีโครงสร้างดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างข้อมูลภาพแบบพอยน์เตอร์

ภาพแต่ละภาพเหมือนอยู่บนระนาบ xy บนแนวแกน z และเมื่อนำภาพทั้งหมดมาซ้อนกันตามแนวแกน z การประมวลโดยการฉายแสงของแต่ละภาพ จะทำให้เกิดภาพใหม่บนแนวเส้นตรงหนึ่งระดับภาพ และเมื่อฉายแสงครบทุกภาพจะได้ภาพที่เกิดจากการฉายแสงบนระนาบ ซึ่งการฉายแสงก็คือการหาดำแหน่งของภาพในแนวลำแสงที่ตรงกัน

### 4.3 การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำ

เมื่อเราเตรียมข้อมูลต่างๆ เรียบร้อยแล้วต่อไปเราก็จะทำการอ่านภาพมาไว้ในหน่วยความจำ โดยขั้นแรกจะต้องทำการจองหน่วยความจำ โดยการวนลูปเท่าจำนวนรูปแล้วใช้พอยน์เตอร์ชี้ไปที่หน่วยความจำที่จองไว้ ขั้นต่อไปคือการนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำ โดยต้องเปลี่ยนภาพจาก RGB ให้เป็นภาพระดับเทา (Gray Scale) เนื่องจากในการเก็บค่าสีเราจะเก็บเฉพาะภาพระดับเทา ค่าสีของภาพตัดขวางที่เรานำมาสร้างภาพเป็นภาพสีแบบ RGB (Red Green Blue) ซึ่งจะถูเก็บเป็นเลขฐาน 16 จำนวน 8 บิต ตั้งแต่ 00 00 00 00 ถึง 00 FF FF FF แต่ที่เราต้องการคือภาพระดับเทา จึงต้องทำการหารด้วย 65793 เหตุที่ต้องหารด้วย 65793 ก็เพราะว่า

ค่าระดับเทาคือ 0 ภาพจะเก็บค่าสีเป็น 00 00 00 เป็นเลขฐานสิบเท่ากับ 0

ค่าระดับเทาคือ 1 ภาพจะเก็บค่าสีเป็น 01 01 01 เป็นเลขฐานสิบเท่ากับ 65793

ค่าระดับเทาคือ 2 ภาพจะเก็บค่าสีเป็น 02 02 02 เป็นเลขฐานสิบเท่ากับ  $65793 \times 2 = 131586$

การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำจะมีอัลกอริทึมดังนี้

```

For(จำนวนภาพ (Z) {
    อ่านค่าความกว้างของภาพ;
    อ่านค่าความยาวของภาพ;
    For( ความกว้างของภาพ (X) ){
        For(ความยาวของภาพ (Y) ){
            อ่านค่าสีของภาพที่ Z ในแถวที่ X คอลัมน์ที่ Y เก็บในตัวแปร (C);
        }
    }
}

```

เราจะวนลูปเก็บค่าสีของภาพแต่ละภาพทีละจุด จนครบทั้งแถว แล้วขึ้นแถวใหม่ ทำอย่างนี้จนครบทุกแถวจึงขึ้นภาพใหม่ ทำเช่นเดียวกันกับภาพอื่นๆ จนครบทุกภาพ เราก็จะได้ปริมาณข้อมูลภาพที่ต้องการ

ขั้นตอนสุดท้ายคือ การคืนหน่วยความจำ เมื่อประมวลผลภาพเสร็จจะต้องมีการคืนหน่วยความจำให้ระบบ

#### 4.4 การแสดงผลภาพ

เนื่องจากภาพผลลัพธ์เป็นภาพสี RGB (24 bit) แต่ผลลัพธ์ที่คำนวณได้เป็นค่าระดับเทา (gray scale) ที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เมื่อต้องการแสดงผล จึงต้องเปลี่ยนให้เป็นค่าสี RGB (24 bit) ด้วยการคูณด้วย 65793

#### 4.5 การคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสง

ในการสร้างภาพ 3 มิติจะสามารถทำการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะทำให้ได้ภาพที่มีลักษณะแตกต่าง ๆ กันออกไป ทั้งความชัดเจนและความสว่างของภาพ ซึ่งจะกล่าวต่อไป

##### 4.5.1 การคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุด

เป็นการรวมผลภาพโดยใช้การเฉลี่ยค่าสีในการคำนวณเมื่อเราทราบแนวเส้นแสงที่เราจะทำการรวมภาพแล้วเราจะนำค่าสีของทุกจุดมารวมกันแล้วจึงหารด้วยจำนวนจุดทั้งหมดที่แนวเส้นแสงผ่านผังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i / j	1	2	3	4	5	6	7
1	0						
2	20						
3	25						
4	26						
5	18						

ภาพขนาด กว้าง 7 pixels  
สูง 5 pixels  
n = 7 รุา!

P(j)	18						
------	----	--	--	--	--	--	--

ภาพที่ 4.4 การรวมค่าสีโดยวิธีการเฉลี่ยทุกจุด

เราจะทำการหาค่าสีคือ  $(0 + 25 + 26 + 18) / 5 = 17.8$  แต่เราต้องการเก็บค่าสีเป็นเลขจำนวนเต็มจึงปัดค่าเป็น 18 แล้วเก็บค่าสีที่ได้ไว้ตั้งสมการที่ 4.1

$$P_i = \frac{\sum_{i=0}^{Height-1} Pixel[i, j]}{Height} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $P(j)$  คือค่าสีที่ทำการเฉลี่ยแล้วในคอลัมน์ที่  $j$

$Pixel[i, j]$  คือค่าสีในแถวที่  $i$  หลักที่  $j$

$Height$  คือ ความสูงของภาพ

โดยสามารถแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการให้แสงด้วยวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุดได้ดังนี้



ภาพที่ 4.5 แสดงภาพ โครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

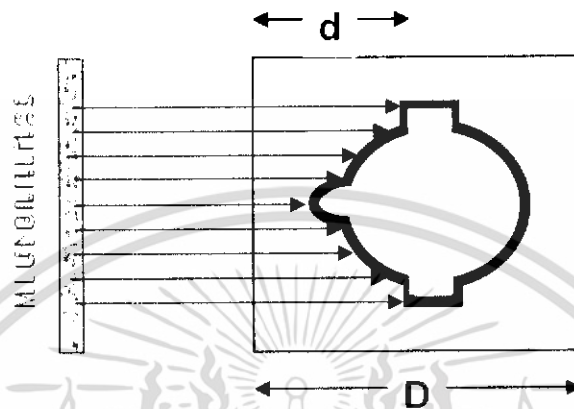


ภาพที่ 4.7 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายค้ำข้าง ที่ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสีทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Depth Shading

การคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ โดยวิธีของ Depth Shading จะใช้ข้อมูลของระยะทาง  $d$  จากระนาบของภาพถึงตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุเป็นตัวกำหนดค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แสดงระยะทางระนาบของการมองและตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิว

จากภาพที่ 4.8 เราสามารถจะคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุที่จะไปปรากฏบนระนาบของภาพได้ดังสมการที่ 4.2

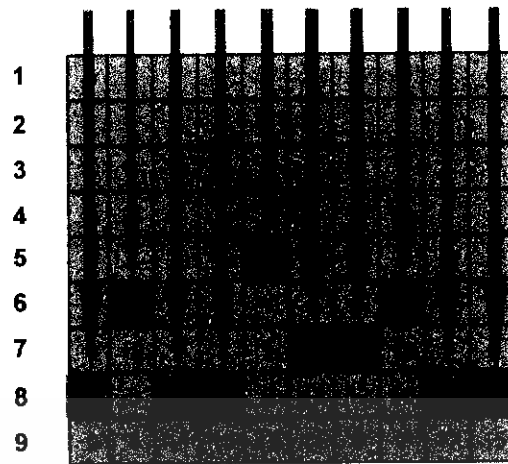
$$I(i, j) = I_{\max} \left( \frac{D - d(i, j)}{D} \right) \quad (4.2)$$

โดย  $I_{\max}$  จะเป็นค่าความสว่างสูงสุดที่จะมีได้ภายในภาพ (กำหนดให้เป็น 255)

$D$  คือความกว้างของภาพมีหน่วยเป็นพิกเซล

$d(i, j)$  คือระยะทางจากจุดเริ่มต้นของภาพถึงตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุมีหน่วยเป็นพิกเซล โดยมี Threshold Value เป็นตัวกำหนดระดับความลึก

ในการคำนวณค่า  $d(i, j)$  แต่ละภาพตัดขวาง โดยกำหนดให้ Threshold Value = 10 สามารถหาได้ดังต่อไปนี้



$$d(i, j) \begin{bmatrix} 7 & 5 & 7 & 7 & 4 & 6 & 7 & 5 & 7 & 7 \end{bmatrix}$$

ภาพที่ 4.9 แสดงการคำนวณหาระยะจากจุดเริ่มต้นของภาพถึงตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุ

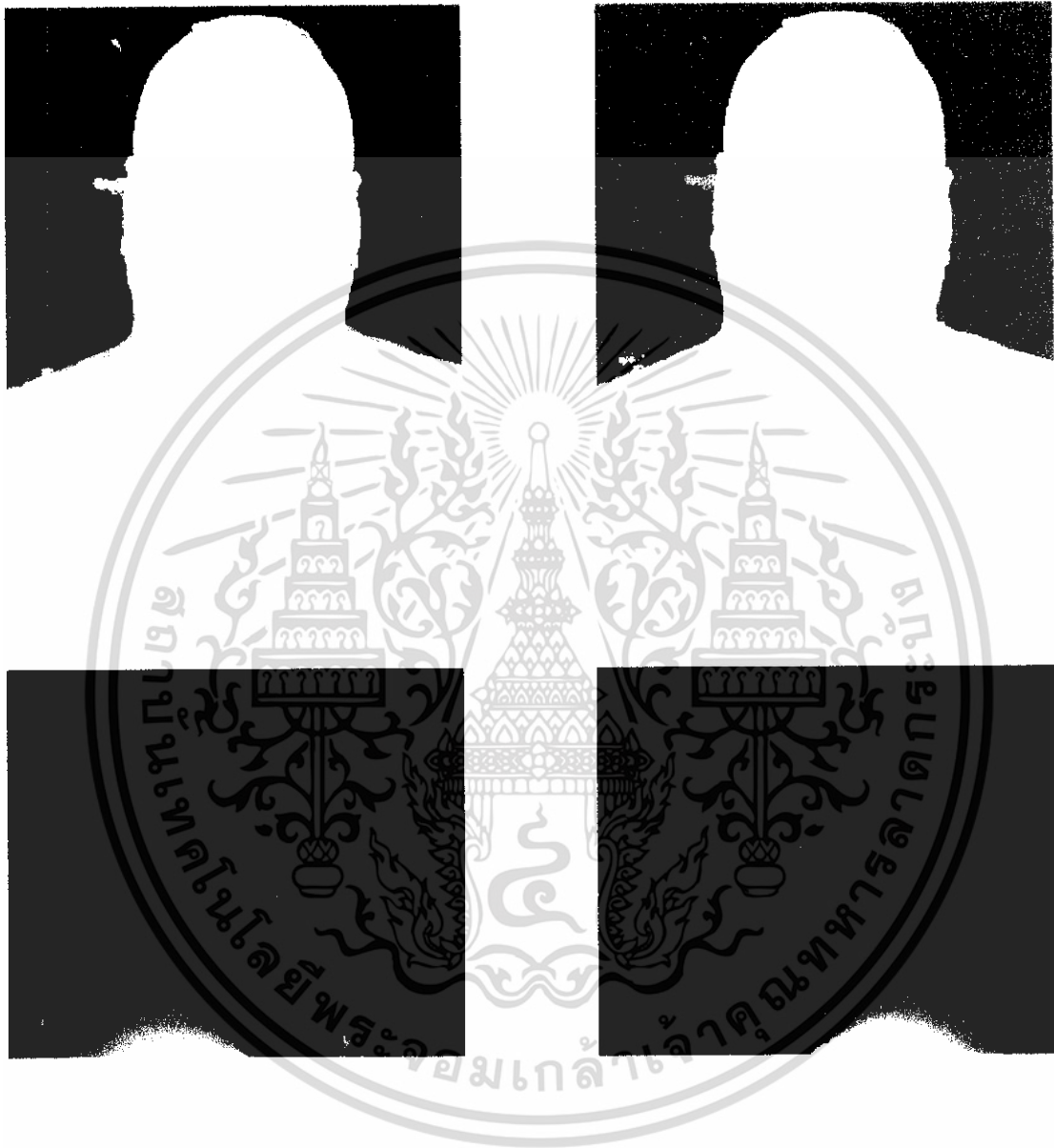
ในการหาค่า  $d(i, j)$  มีอัลกอริทึมดังนี้

```

For(จำนวนภาพ ( z )){
  For( ความยาวแกน ( y )){
    While(ค่าระยะต่ำ < Threshold Value ){
      ระยะทางเพิ่มขึ้น 1; }
    เก็บค่าระยะทางที่  $d(i, j)$  โดยที่  $i = z, j = y$ ;
  }
}

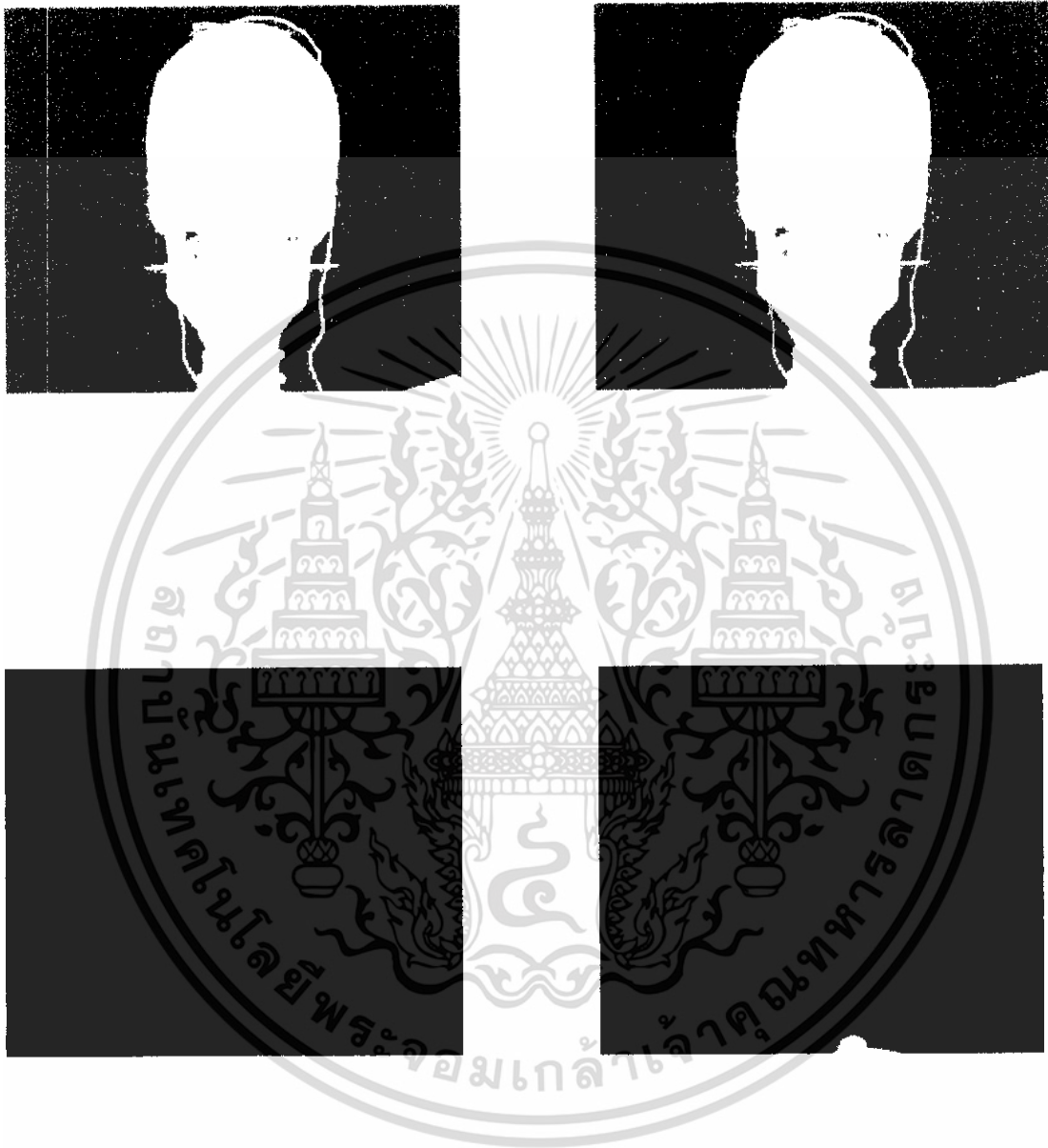
```

การคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธีนี้ ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีความราบเรียบ และค่าความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวก็จะมีค่าต่อเนื่องกันด้วย ข้อดีของวิธีการคำนวณนี้คือสามารถทำการคำนวณได้เร็ว แต่ก็มีข้อเสียคือ ในกรณีที่พื้นผิวหรือเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ระยะจากระนาบของการมองถึงพื้นผิวหรือเนื้อเยื่อมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย วิธีการนี้จะไม่สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของพื้นผิวหรือเนื้อเยื่อในส่วนนี้ได้ โดยสามารถแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการให้แสงด้วยวิธี Depth Shading ได้ดังนี้



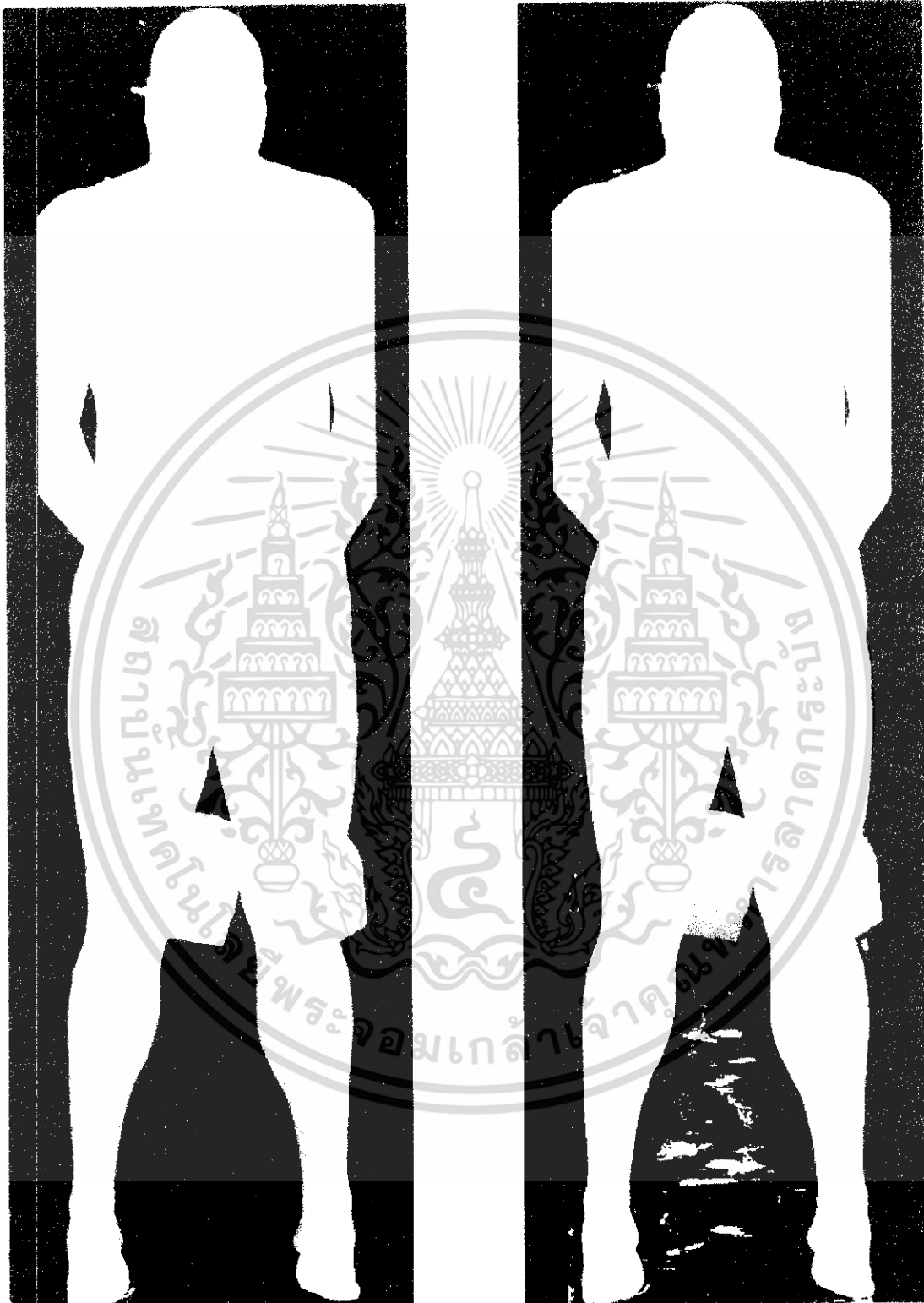
ภาพที่ 4.10 แสดงภาพ โครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Depth Shading  
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แสดงภาพโครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Depth Shading  
(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Depth Shading

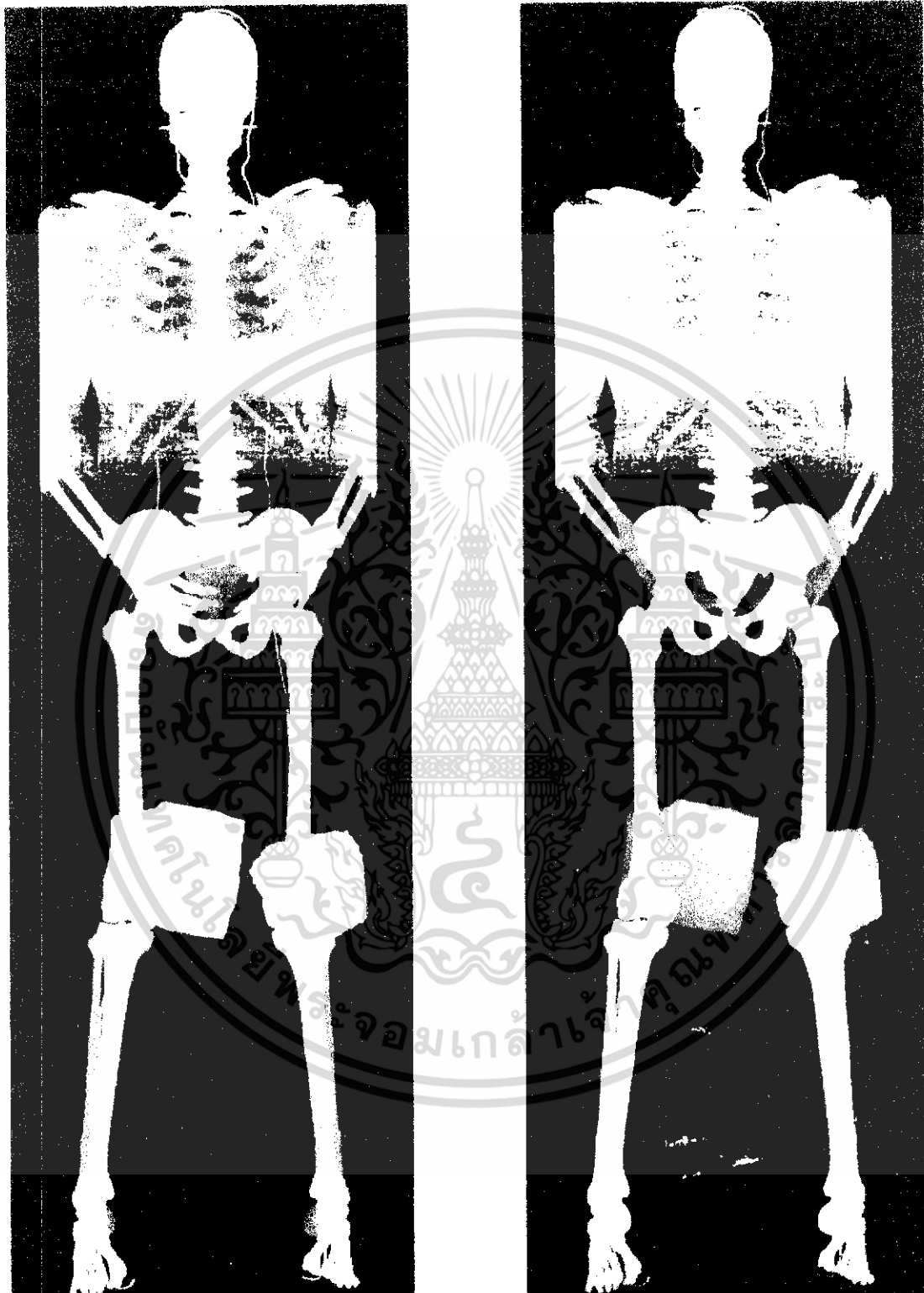
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้างที่ได้จากวิธี Depth Shading  
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Depth Shading

(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Depth Shading  
(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.5.3 การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Gray – Level Shading

การคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุโดยวิธีของ Gray – Level Shading จะอาศัยปรากฏการณ์พาเซิลวอลลุ่ม (Partial volume effect) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นเฉลี่ยภายในของแต่ละพิกเซลที่ประกอบอยู่ในภาพตัดขวางแต่ละภาพ มาใช้เป็นองค์ประกอบในการพิจารณาเพื่อกำหนดค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ โดยสามารถแสดงแบบจำลองของการให้แสงแก่พื้นผิวของวัตถุด้วยวิธีนี้ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 แสดงแบบจำลองของการคำนวณค่าปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธี Gray – Level Shading

จากภาพที่ 4.16 เมื่อฉายแสงถึง Threshold Value แล้วจะนำค่าระดับเทาของ pixel ที่อยู่ก่อนและหลังมาหาผลต่าง และนำไปคำนวณกับสเกลแฟกเตอร์ จะได้ค่าความเข้มของแสง เราจะสามารถคำนวณหาค่าความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุที่จะไปปรากฏบนระนาบของภาพได้ดังสมการที่ 4.3

$$I(i,j) = A \left( \frac{g(x+l, y, z) - g(x-l, y, z)}{B} \right) \quad (4.3)$$

โดย  $g(x(i, j), y, z)$  คือค่าระดับเทาของพื้นผิวที่ต้องการที่ระดับความลึกเท่ากับ  $x(i, j)$  ซึ่งค่าระดับความลึกนี้จะได้จากการกำหนดค่าตัดสินใจ

ตัวแปร  $A$  และ  $B$  จะเป็นค่าของสเกลแฟกเตอร์ โดยจะขึ้นอยู่กับช่วงของระดับเทาในภาพต้นฉบับ (โดยในที่นี้ได้กำหนดค่าที่เหมาะสมคือให้  $A$  มีค่าเท่ากับ 255 และ  $B$  มีค่าเท่ากับ 50 สำหรับภาพที่มีค่าระดับเทา 8 บิตต่อจุดภาพ)

4	9	12	12	15	$255 * ( 12-9 ) / 50$	15
3	7	10	12	11	$255 * ( 12-7 ) / 50$	26
1	5	9	13	15	$255 * ( 15-9 ) / 50$	31
2	4	6	11	16	$255 * ( 16-6 ) / 50$	51
8	12	11	15	16	$255 * ( 11-8 ) / 50$	15

ภาพตัดขวาง ฉ.ก

ภาพที่ 4.17 แสดงตัวอย่างในการคำนวณปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธี

#### Gray – Level Shading

จากภาพที่ 4.17 เมื่อฉายแสงถึงตำแหน่งพื้นผิวของภาพโดยกำหนดด้วย Threshold Value จะนำค่าระดับเทาที่ตำแหน่งก่อนและหลังมาหาผลต่าง และนำไปคำนวณตามสมการ (4.3)

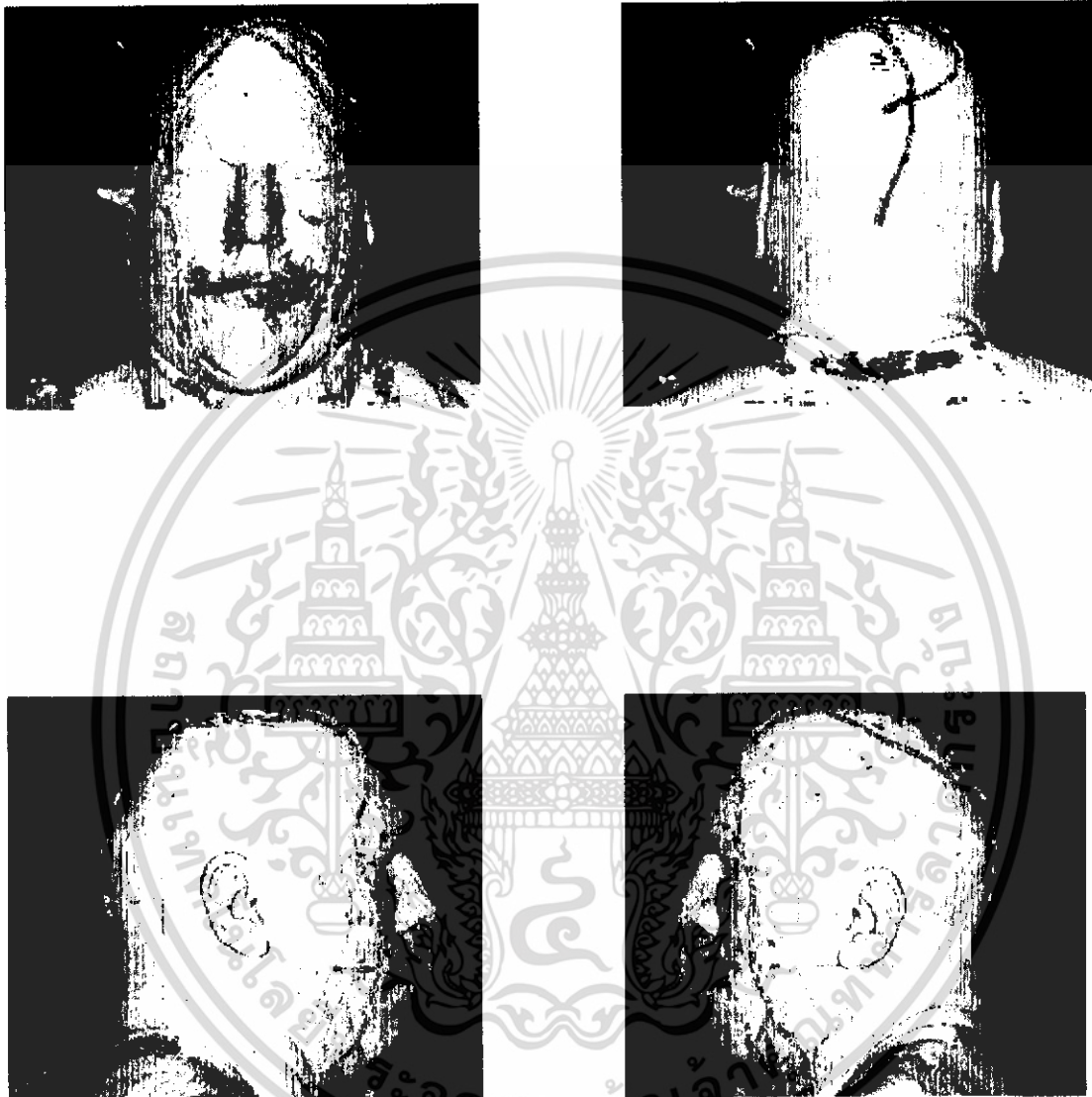
ในการหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธี Gray – Level Shading มีอัลกอริทึมดังนี้

```

For(จำนวนภาพ (Z)) {
  For( ความยาวแกน (Y)) {
    While(ค่าระดับเทา < Threshold Value) {
      ระยะทางเพิ่มขึ้น (d) 1;
      นำค่าระดับเทา  $G(d+1, y, z) - G(d-1, y, z)$  ไปคำนวณตามสูตร;
    }
  }
}

```

โดยสามารถแสดงภาพผลลัพธ์ของการกำหนดปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุด้วยวิธี Gray – Level Shading ดังนี้



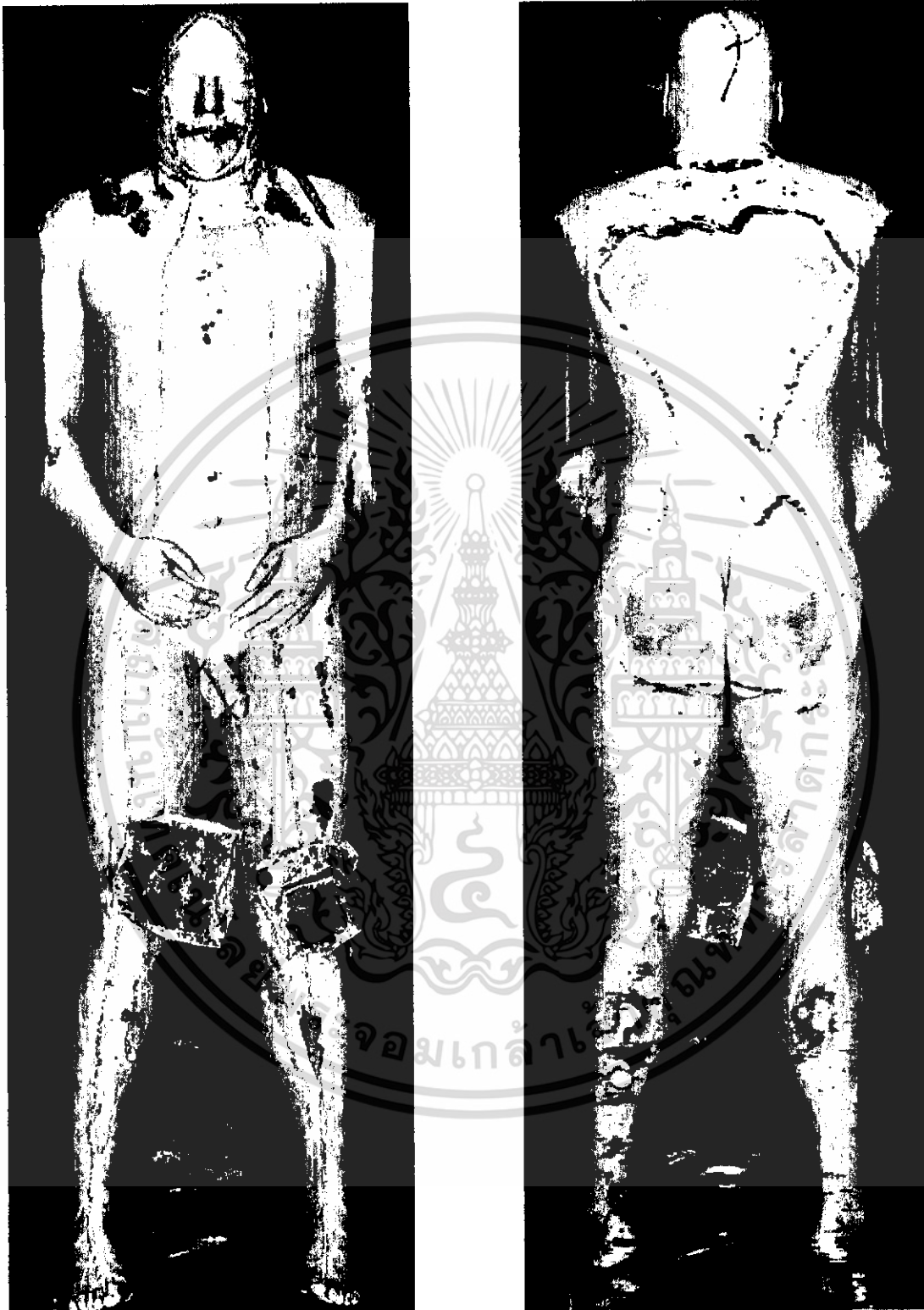
ภาพที่ 4.18 แสดงภาพโครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading  
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.19 แสดงภาพโครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading  
(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading

(Threshold Value = 30)

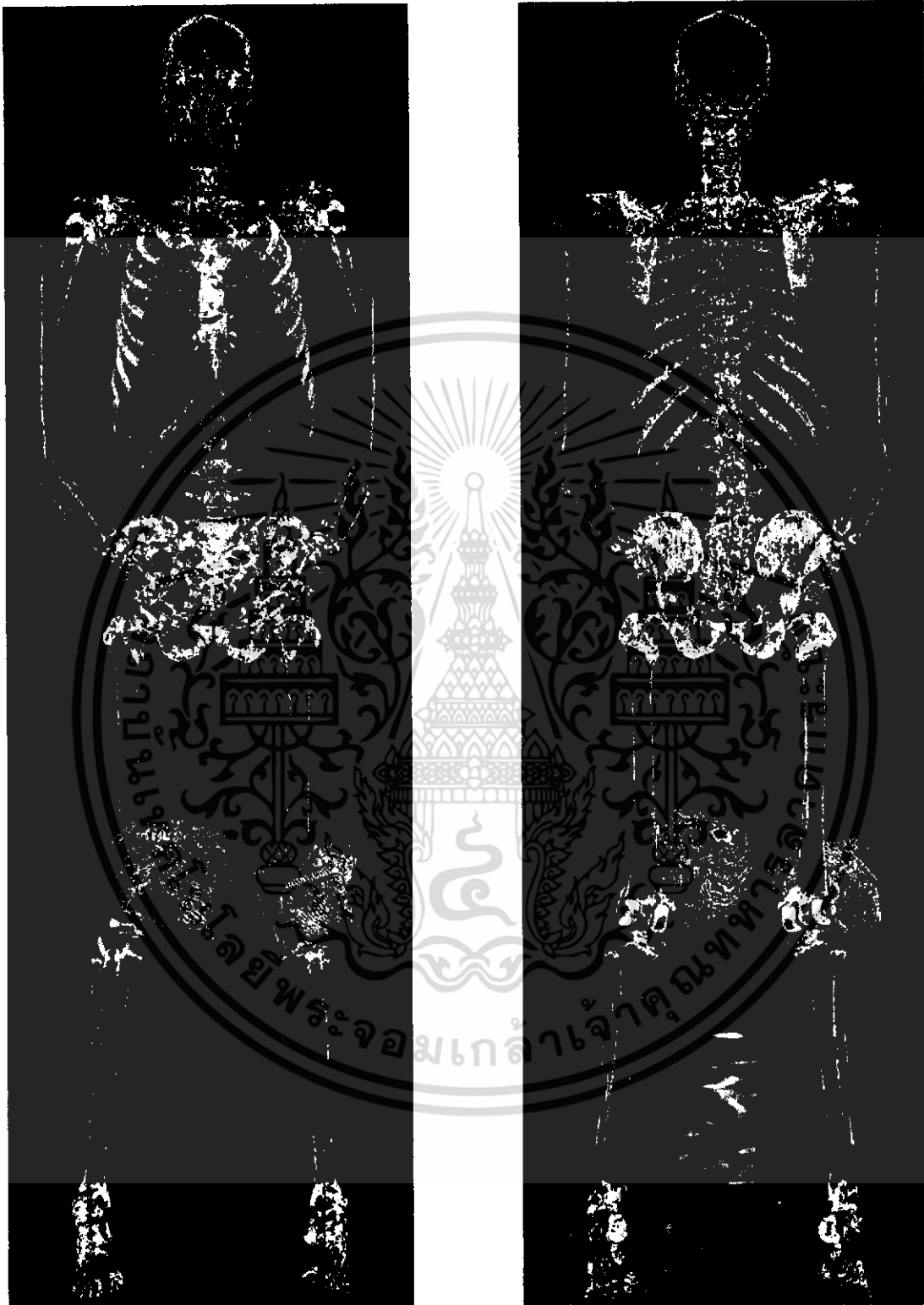
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading

(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.22 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading

(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



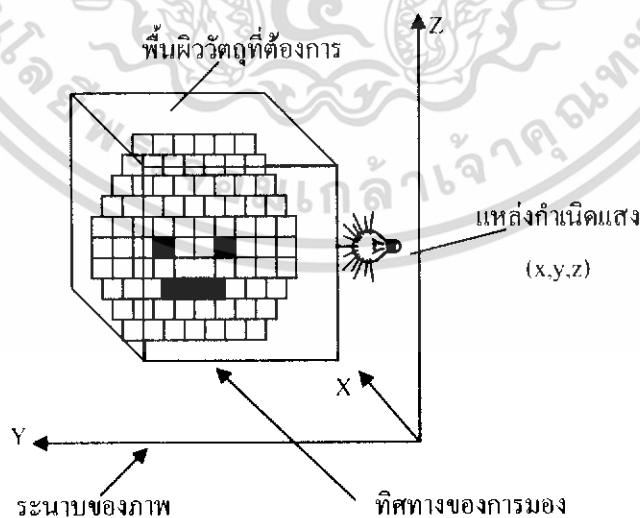
ภาพที่ 4.23 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Gray – Level Shading  
(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 การให้แสงแก่พื้นผิวของวัตถุโดยใช้ข้อมูลของเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

สำหรับการคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุจะอาศัยคุณสมบัติพื้นฐานของแสงที่กล่าวไว้ว่า แสงจากแหล่งกำเนิดที่มาตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุด้วยมุมต่าง ๆ กันนั้นจะมีผลให้พื้นผิวของวัตถุถูกส่องสว่างด้วยค่าความสว่างที่ไม่เท่ากัน โดยในการคำนวณนั้นจะเป็นการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องสว่างมายังวัตถุและทิศทางของเวกเตอร์ปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุมาเป็นตัวกำหนดค่าปริมาณความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งจะได้กล่าวถึงขั้นตอนและรายละเอียดต่าง ๆ ต่อไป

จากที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าแบบจำลองที่ใช้ในการกำหนดปริมาณของแสงบนพื้นผิวของวัตถุนั้นจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการคือ แหล่งกำเนิดแสง และ คุณสมบัติของพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งจะต้องใช้องค์ประกอบทั้งสองนี้มาใช้ในการพิจารณาหาค่าปริมาณความเข้มของแสงที่เหมาะสมกับตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุ โดยในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในแบบจำลองที่นำเสนอนี้ เราจะกำหนดให้วัตถุถูกส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดจุด และสำหรับพื้นผิวของวัตถุนั้นจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นพื้นผิวแบบแลมเบิร์ต (Lambertian surface) กล่าวคือ คุณสมบัติของพื้นผิวชนิดนี้ แสงสว่างที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุจะมีค่าเท่ากันในทุกทิศทางไม่ว่าจะมองจากจุดใด ๆ ในสเปซ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือค่าความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุจะไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางของผู้มองนั่นเอง และนอกจากนั้น คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของพื้นผิวชนิดนี้ก็คือ จะไม่มีการดูดกลืนแสงที่มาตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุ โดยสามารถแสดงแบบจำลองที่ใช้คำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุได้ดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 แสดงแบบจำลองที่ใช้คำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ ด้วยวิธีพิจารณาจากเวกเตอร์ปกติบนพื้นผิวของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.24 เราสามารถกำหนดค่าปริมาณความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุได้โดยอาศัยทฤษฎีของแลมเบิร์ตหรือ Lambert's cosine law ซึ่งกล่าวไว้ว่า ปริมาณความเข้มของแสงที่สะท้อนออกจากพื้นผิวของวัตถุที่ถูกส่องสว่างด้วยแหล่งกำเนิดแสงแบบจุดนั้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าโคไซน์ (Cosine) ของมุมระหว่างเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุและเวกเตอร์ที่แสดงถึงทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง โดยสามารถแสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณได้ดังสมการที่ 4.4

$$I = I_0 K_a \cos \theta \quad , 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (4.4)$$

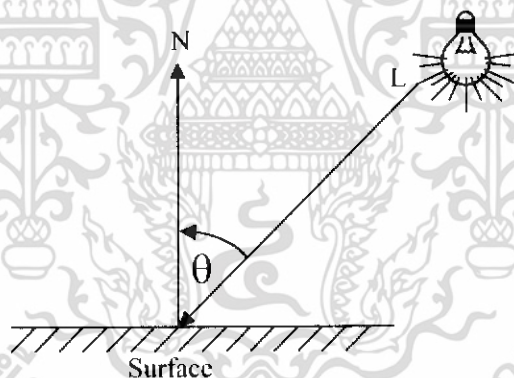
โดย  $I$  คือค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกจากพื้นผิว

$I_0$  คือความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุซึ่งได้จากแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด

$K_a$  คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงของพื้นผิววัตถุซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง

$$0 \leq K_a \leq 1$$

$\theta$  คือค่ามุมระหว่างเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุ  $N$  และเวกเตอร์ที่แสดงถึงทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง  $L$  ดังแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 แสดงค่ามุมระหว่างเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว  $N$  และเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง  $L$

สำหรับการคำนวณเราจะใช้สมการที่ 4.4 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงโดยเราจะกำหนดให้ค่าของ  $K_a$  มีค่าเท่ากับหนึ่ง คือ พื้นผิวไม่มีการดูดกลืนแสง และค่าของ  $I_0$  เราจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 255 เนื่องจากในการแสดงผลนั้นเราจะแสดงภาพให้อยู่ในลักษณะค่าระดับเทาที่ 256 ระดับหรือ 8 บิตต่อจุดภาพ และสำหรับค่าของ  $\cos \theta$  นั้นเราสามารถที่จะทำการคำนวณได้ดังสมการที่ 4.5

$$\cos \theta = \frac{N \cdot L}{\|N\| \|L\|} \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

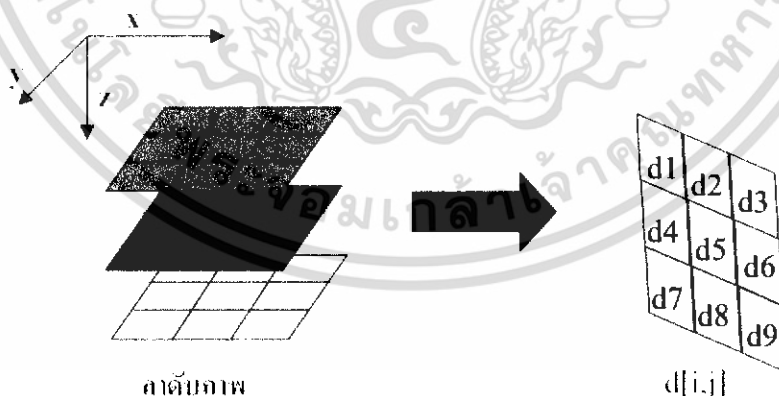
จากสมการที่ 4.5 ก่อนที่เราจะทำการคำนวณค่าของ  $\cos\theta$  ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุได้นั้นเราจะต้องกำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงก่อนว่าจะให้อยู่ที่ตำแหน่งใดในฉาก และเมื่อกำหนดพิกัดของแหล่งกำเนิดแสงเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำค่าพิกัดของแหล่งกำเนิดแสงที่กำหนดขึ้นไปหาค่าผลคูณภายในกับเวกเตอร์ปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุต่อไป ซึ่งในที่นี้จะสมมติให้เวกเตอร์ N และเวกเตอร์ L มีส่วนประกอบเป็น  $(N_x, N_y, N_z)$  และ  $(L_x, L_y, L_z)$  ตามลำดับ โดยสามารถแสดงสมการที่ใช้ในการหาผลคูณภายในระหว่างเวกเตอร์ทั้งสองได้ดังนี้

$$\frac{N \cdot L}{\|N\| \|L\|} = \frac{N_x L_x + N_y L_y + N_z L_z}{\left(\sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2}\right) \times \left(\sqrt{L_x^2 + L_y^2 + L_z^2}\right)} \quad (4.6)$$

การกำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่มีส่วนประกอบ  $(L_x, L_y, L_z)$  จะมีหลักในการกำหนดตำแหน่งดังนี้

- ค่า  $L_x$  เป็นการกำหนดค่าแสงจากแหล่งกำเนิดของทั้งภาพ เนื่องจากแสงจะฉายตามแนวแกน X และภาพเริ่มที่  $X=0$  ดังนั้นแสงต้องฉายจาก X เป็นลบ
- ค่า  $L_y$  เป็นการกำหนดทิศทางแสงเงาของภาพ ในแนวนอน
- ค่า  $L_z$  เป็นการกำหนดทิศทางแสงเงาของภาพ ในแนวตั้ง

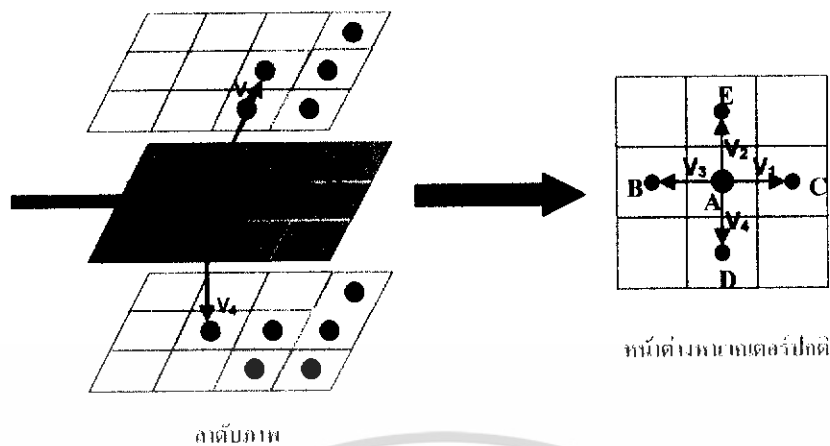
ในที่นี้ ได้กำหนดให้เวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง L ไม่มีทิศทางของแสงเงา  $(-100, 0, 0)$  ส่วนการหาเวกเตอร์ปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุนั้นได้กล่าวไว้ที่การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว (3.7) บทที่ 3 ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างในการคำนวณได้ดังนี้



ภาพที่ 4.26 แสดงการคำนวณหาระดับความลึก  $d$  ที่กำหนดโดยค่า Threshold Value ของแต่ละแผ่นภาพตัดขวาง

จากภาพที่ 4.26 เมื่อเราได้ค่า  $d$  ครบทุกจุดแล้ว จากนั้นให้เรากำหนดหน้าตาต่างขนาด  $3 \times 3$  ขึ้นมา เพื่อหาเวกเตอร์ปกติซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองได้ดังภาพที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.27 แสดงแบบจำลองในการหาเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

ในหน้าตัดหาเวกเตอร์ปกตินั้น จะมีเวกเตอร์อยู่ 4 เวกเตอร์ ซึ่งจะมีขนาดจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่ง ในที่นี้จุดแต่ละจุดบนพื้นผิวของวัตถุจะมีค่าพิกัด ดังนี้

$$A = (x, y, z) = (d_5, y, z)$$

$$B = (x, y, z) = (d_4, y-1, z)$$

$$C = (x, y, z) = (d_6, y+1, z)$$

$$D = (x, y, z) = (d_8, y, z+1)$$

$$E = (x, y, z) = (d_2, y, z-1)$$

จากพิกัดที่ได้ เราสามารถหาเวกเตอร์ทั้ง 4 เวกเตอร์ที่อยู่ในหน้าตัดเวกเตอร์ปกติได้ดังนี้

$$V_1 = C - A = (d_6 - d_5)i + j = (d_6 - d_5, 1, 0)$$

$$V_2 = E - A = (d_2 - d_5)i - k = (d_2 - d_5, 0, -1)$$

$$V_3 = B - A = (d_4 - d_5)i - j = (d_4 - d_5, -1, 0)$$

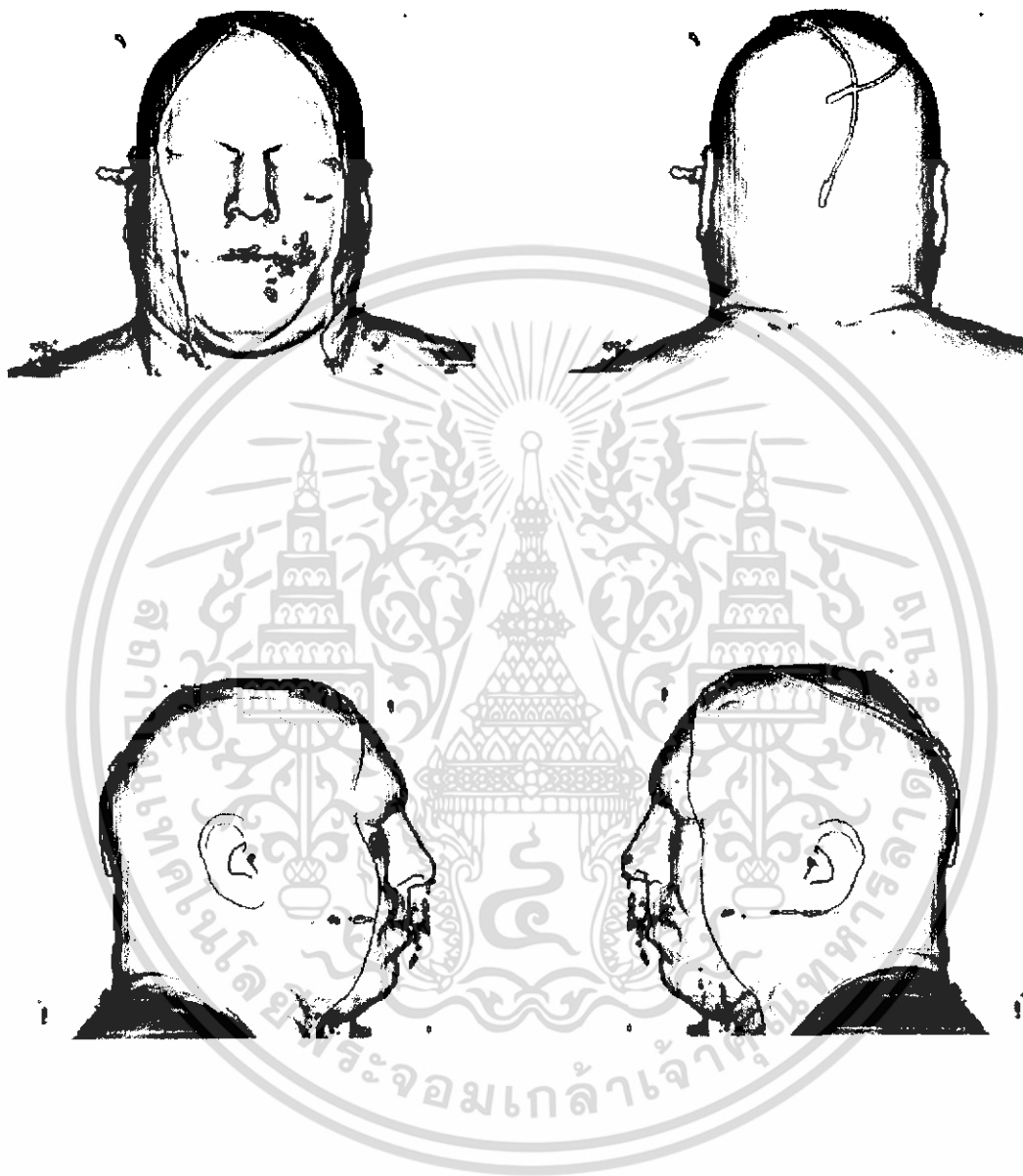
$$V_4 = D - A = (d_8 - d_5)i + k = (d_8 - d_5, 0, 1)$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าเวกเตอร์ปกติ  $N$  ของพื้นผิวที่จุดกึ่งกลางของหน้าตัดจากสมการ 3.10 ซึ่งได้จากการคูณไขว้ระหว่างเวกเตอร์ ได้ดังนี้

$$N = -4i + 2(d_6 - d_4)j + 2(d_8 - d_2)k$$

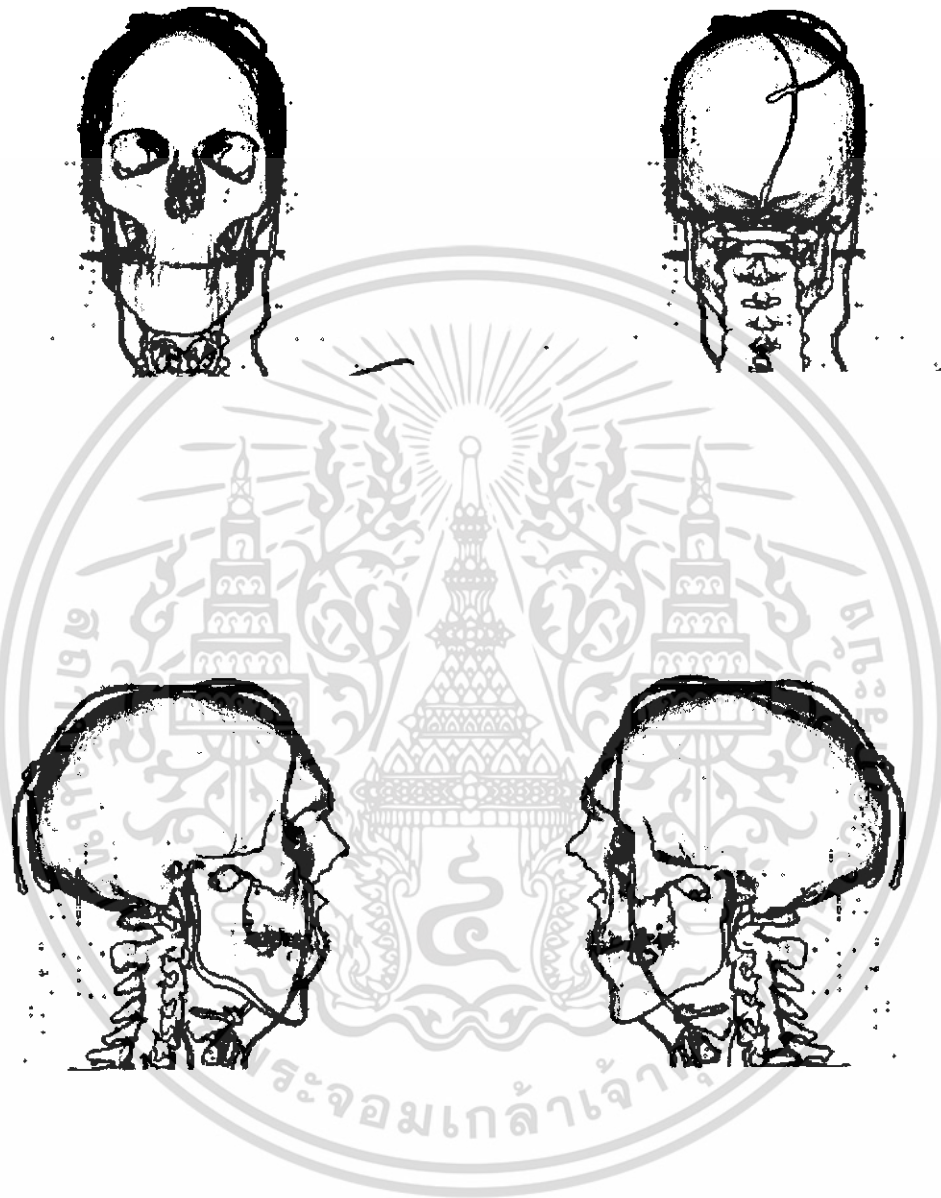
โดยสามารถแสดงภาพผลลัพธ์ของการกำหนดปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ ด้วยวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.28 แสดงภาพโครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว  
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 แสดงภาพโครงสร้างของหูระยะ ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว  
(Threshold Value = 50)

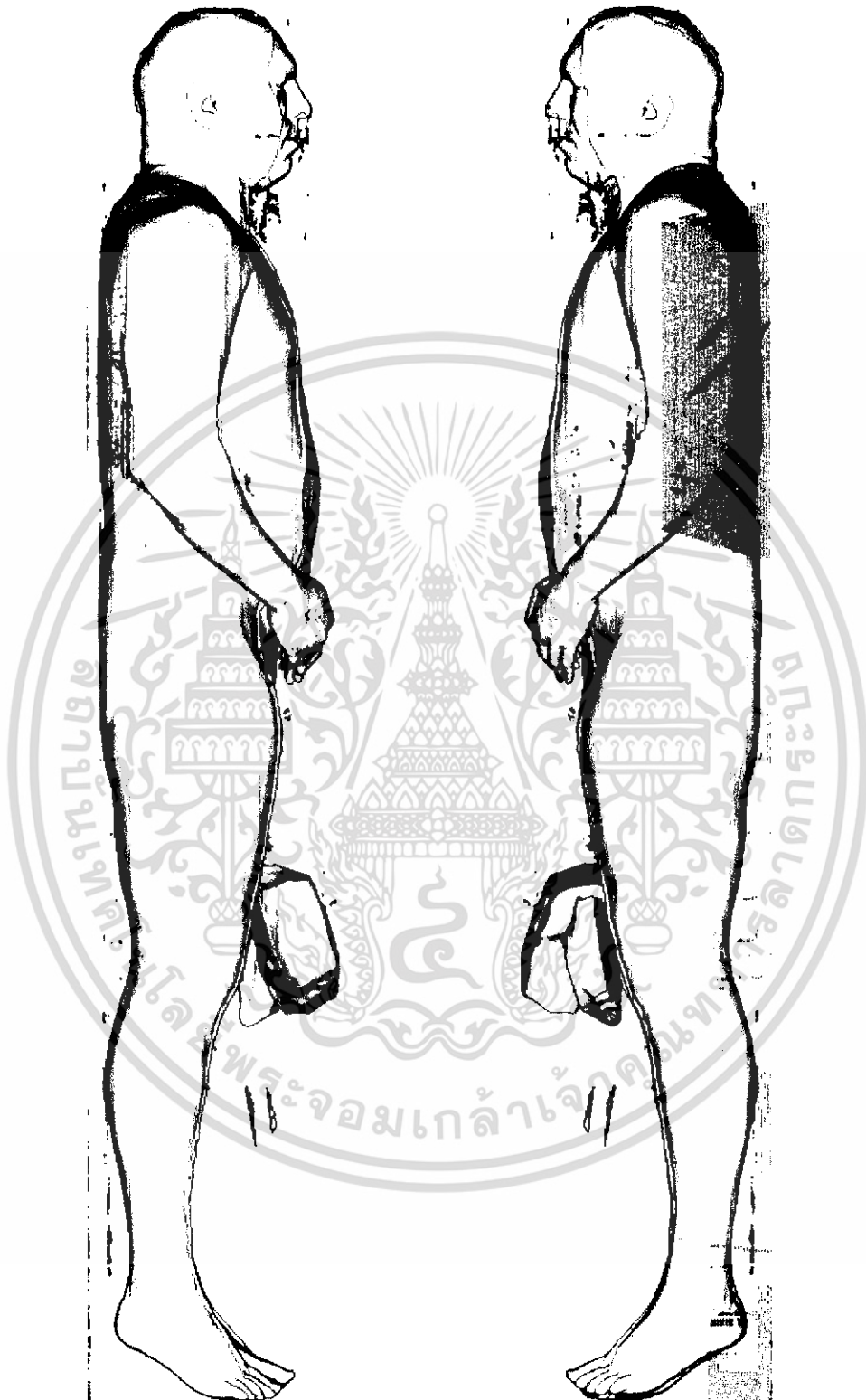
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.30 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

(Threshold Value = 30)

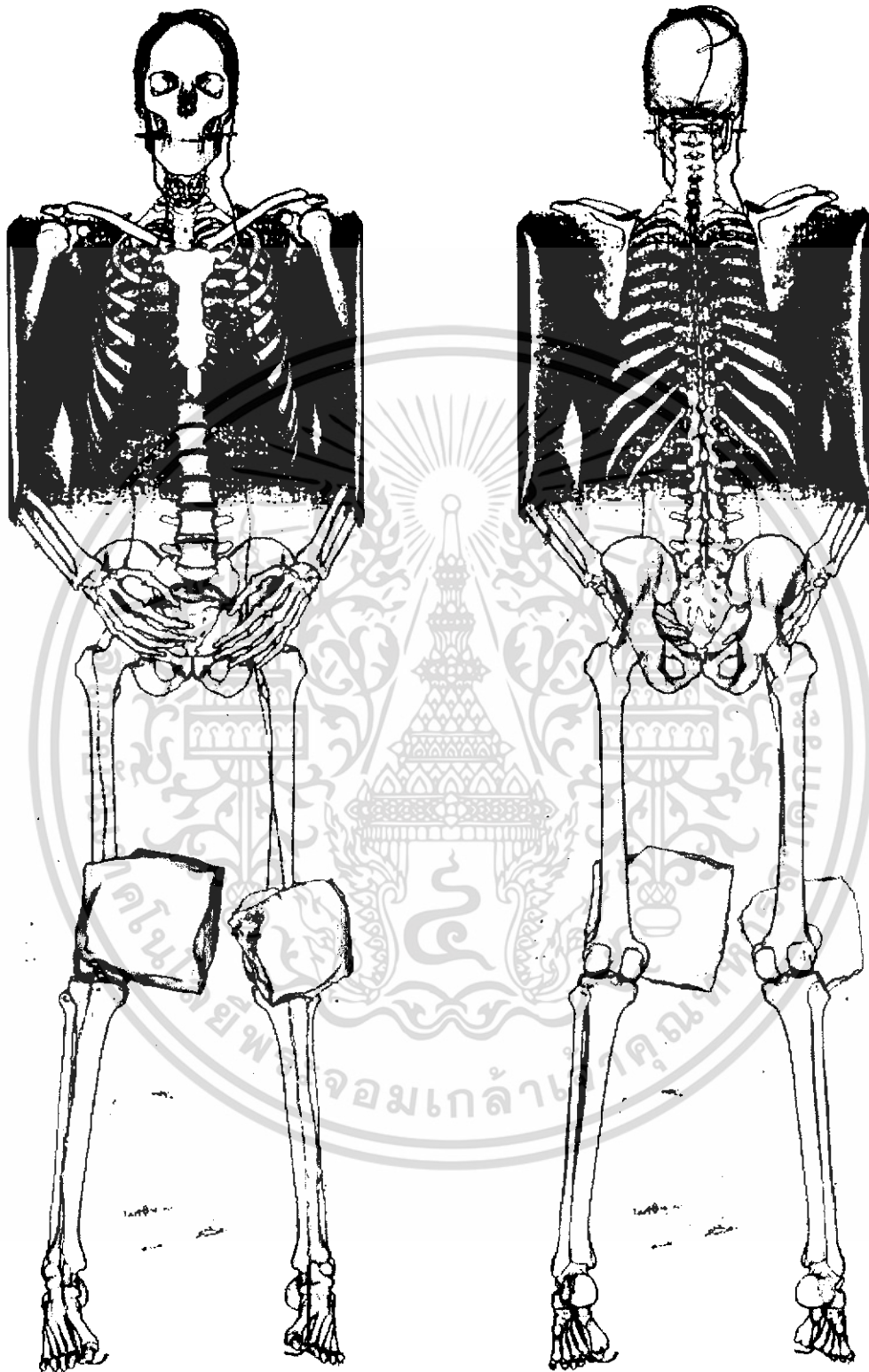
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.31 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

(Threshold Value = 30)

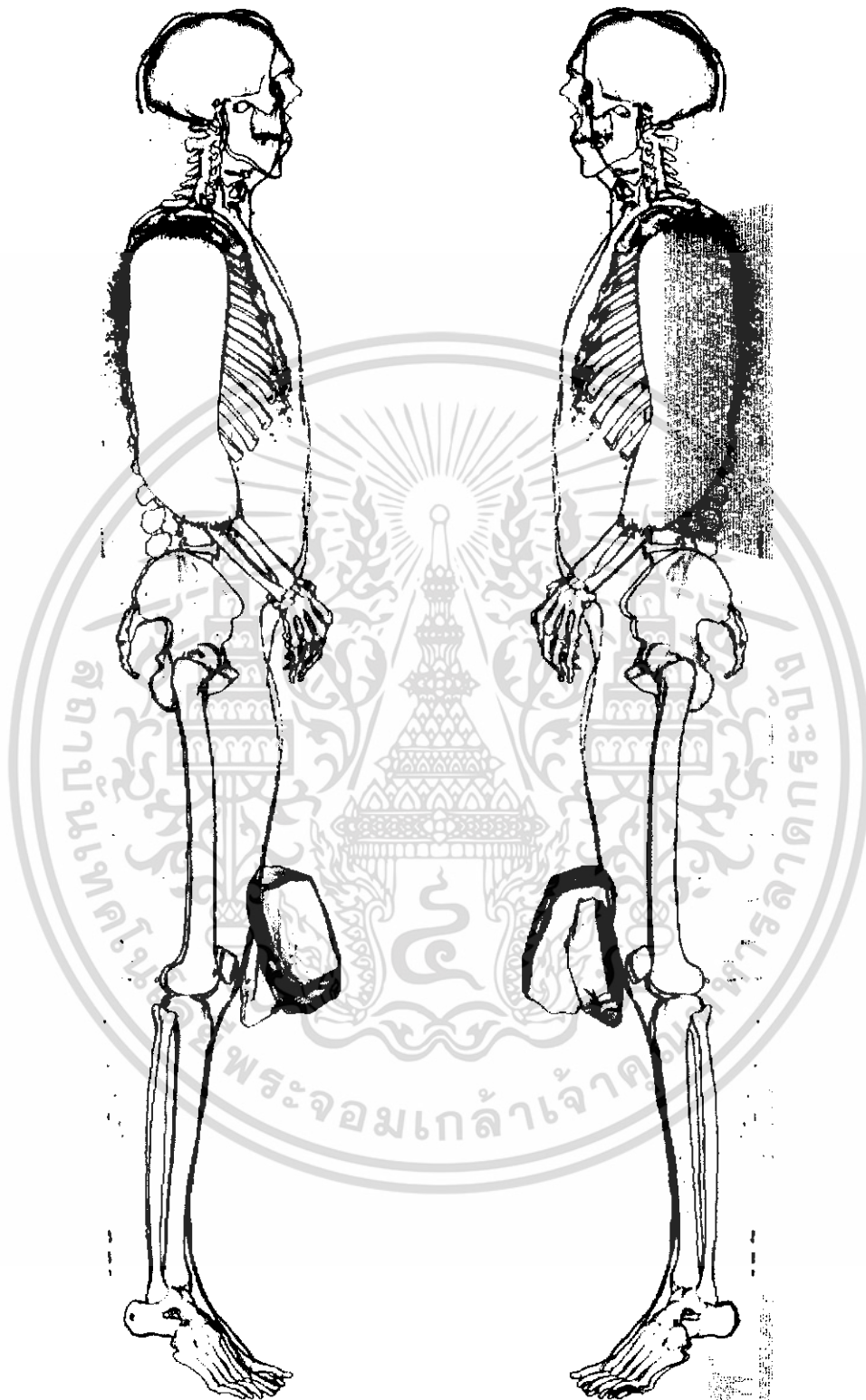
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.32 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.33 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.5 การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Gradient Shading

สำหรับการคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวด้วยวิธี Gradient Shading นั้น จะใช้คุณสมบัติพื้นฐานของของแสงในวิธีเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว และการให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Gray-Level Shading หรือเรียกได้ว่าเป็นการประยุกต์ระหว่างสองวิธีที่กล่าวไปแล้ว มาใช้ในการคำนวณ โดยจะสามารถอธิบายได้ดังนี้

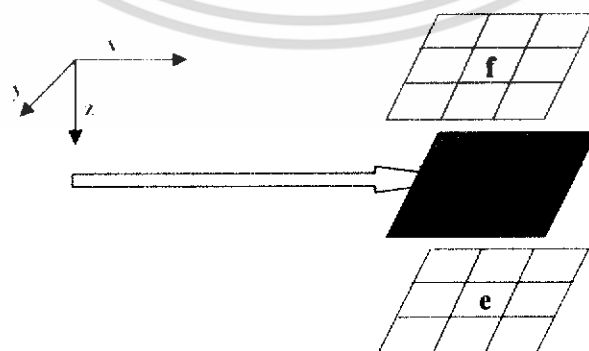
วิธี Gradient Shading ได้นำหลักการของวิธี Gray-Level Shading ที่ว่าให้หาผลต่างซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นเฉลี่ยภายในของแต่ละพิกเซลที่ประกอบอยู่ในภาพตัดขวางแต่ละภาพ ซึ่งจะหาเพียงแกนเดียว แต่วิธี Gradient Shading จะเป็นการหาผลต่างของค่าระดับเทาทั้งสามแกนที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อหาค่าผลต่างของแต่ละแกนได้แล้วมาเขียนให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ของเวกเตอร์ตามแนวแกน หลังจากนั้นจะนำหลักการพื้นฐานของวิธี Normal Vector และทฤษฎีของแลมเบิร์ต

$$I = I_a K_a \cos \theta, \quad 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (4.7)$$

มาใช้โดย นำค่าผลต่างที่เขียนในรูปเวกเตอร์มาหาผลคูณภายในกับเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง  $L$  ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ ได้ดังนี้

$$\cos \theta = \frac{G \cdot L}{\|G\| \|L\|} \quad (4.8)$$

โดยที่  $G$  คือ  $(G_x, G_y, G_z)$  หรือ  $G = G_x i + G_y j + G_z k$  ซึ่ง  $G_x$ ,  $G_y$  และ  $G_z$  คือ ผลต่างของค่าระดับเทาบนแกน  $x$ , แกน  $y$  และแกน  $z$  ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองในการหาเวกเตอร์  $G$  ดังภาพที่ 4.34



ภาพที่ 4.34 แสดงแบบจำลองในการหาเวกเตอร์  $G$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพ 4.34 จะทำให้เราได้เวกเตอร์  $G$  เป็นดังนี้

$$G_x = |a - b|$$

$$G_y = |c - d|$$

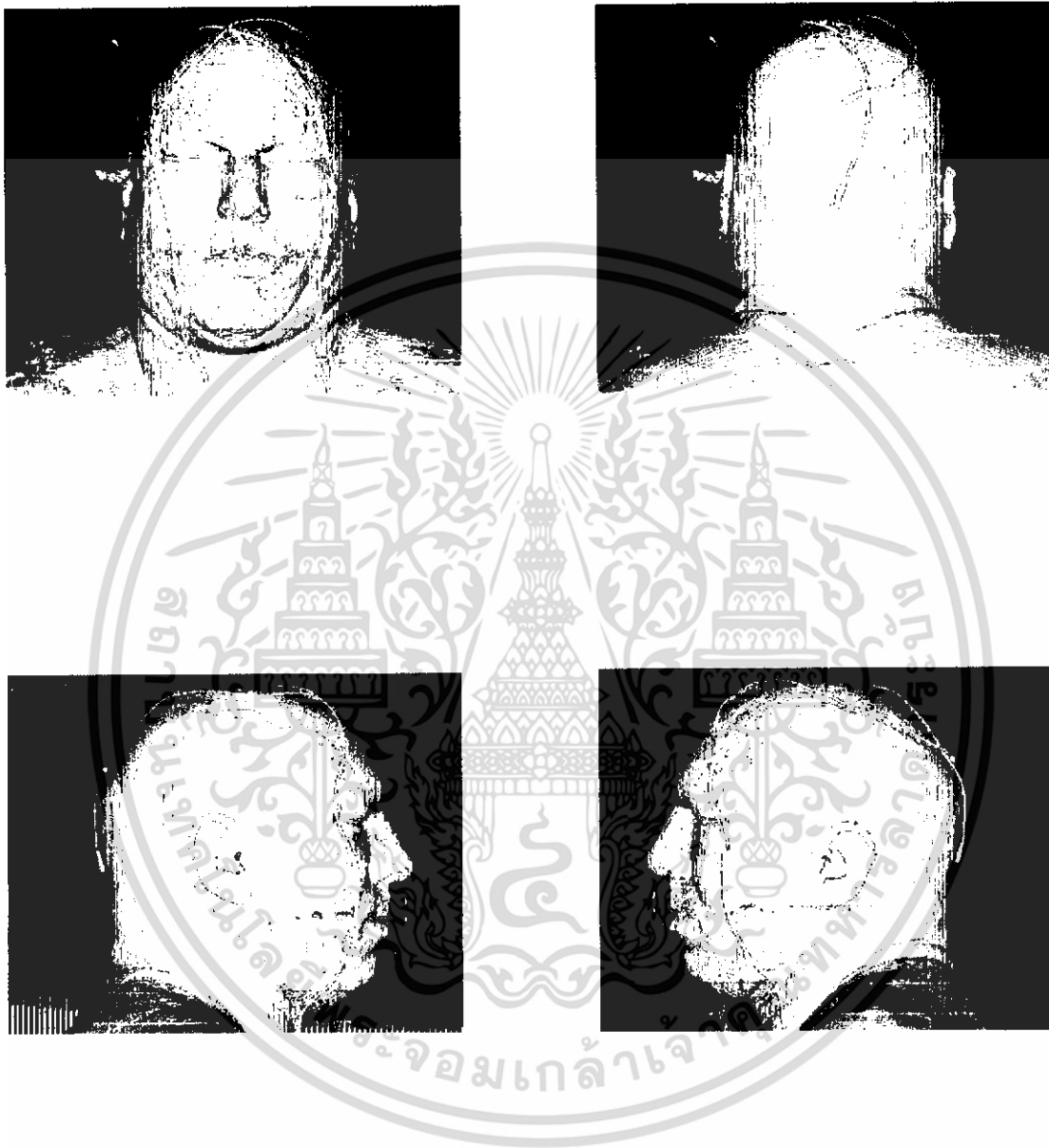
$$G_z = |e - f|$$

และ  $L$  คือ  $(L_x, L_y, L_z)$  เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เราต้องทำการกำหนดพิกัดขึ้นมา ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็น  $L_x = -100$ ,  $L_y = 0$  และ  $L_z = 0$

การหาค่าผลคูณภายในระหว่างเวกเตอร์สามารถใช้สมการที่ 4.6 ได้แต่เปลี่ยนตัวแปรเป็น

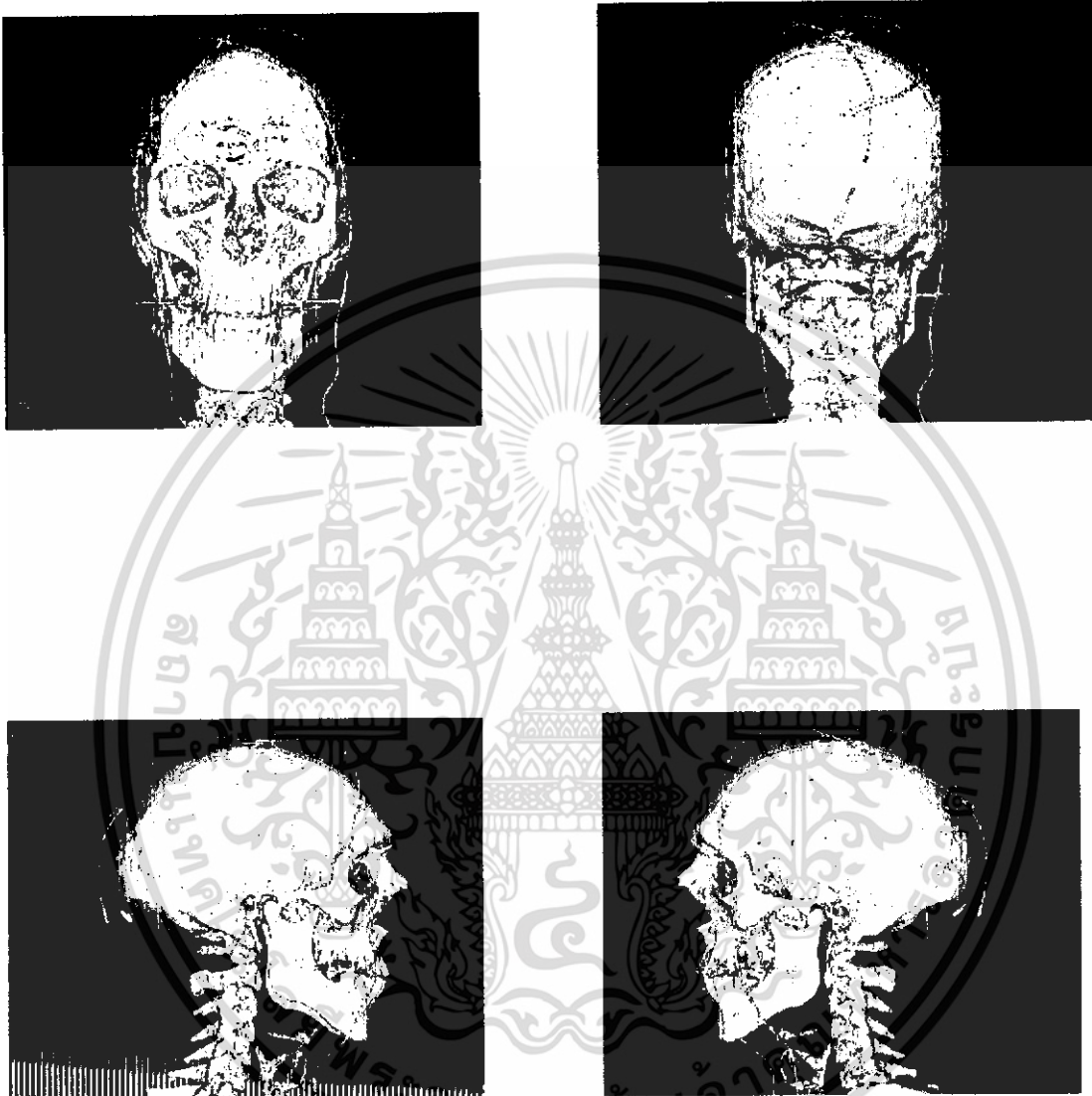
$$\frac{G \cdot L}{\|G\| \|L\|} = \frac{G_x L_x + G_y L_y + G_z L_z}{\left(\sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}\right) \times \left(\sqrt{L_x^2 + L_y^2 + L_z^2}\right)} \quad (4.9)$$

จากนั้นนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 4.4 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธี Normal Vector โดยสามารถแสดงผลลัพธ์ของการกำหนดปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุด้วยวิธี Gradient Shading ได้ดังนี้



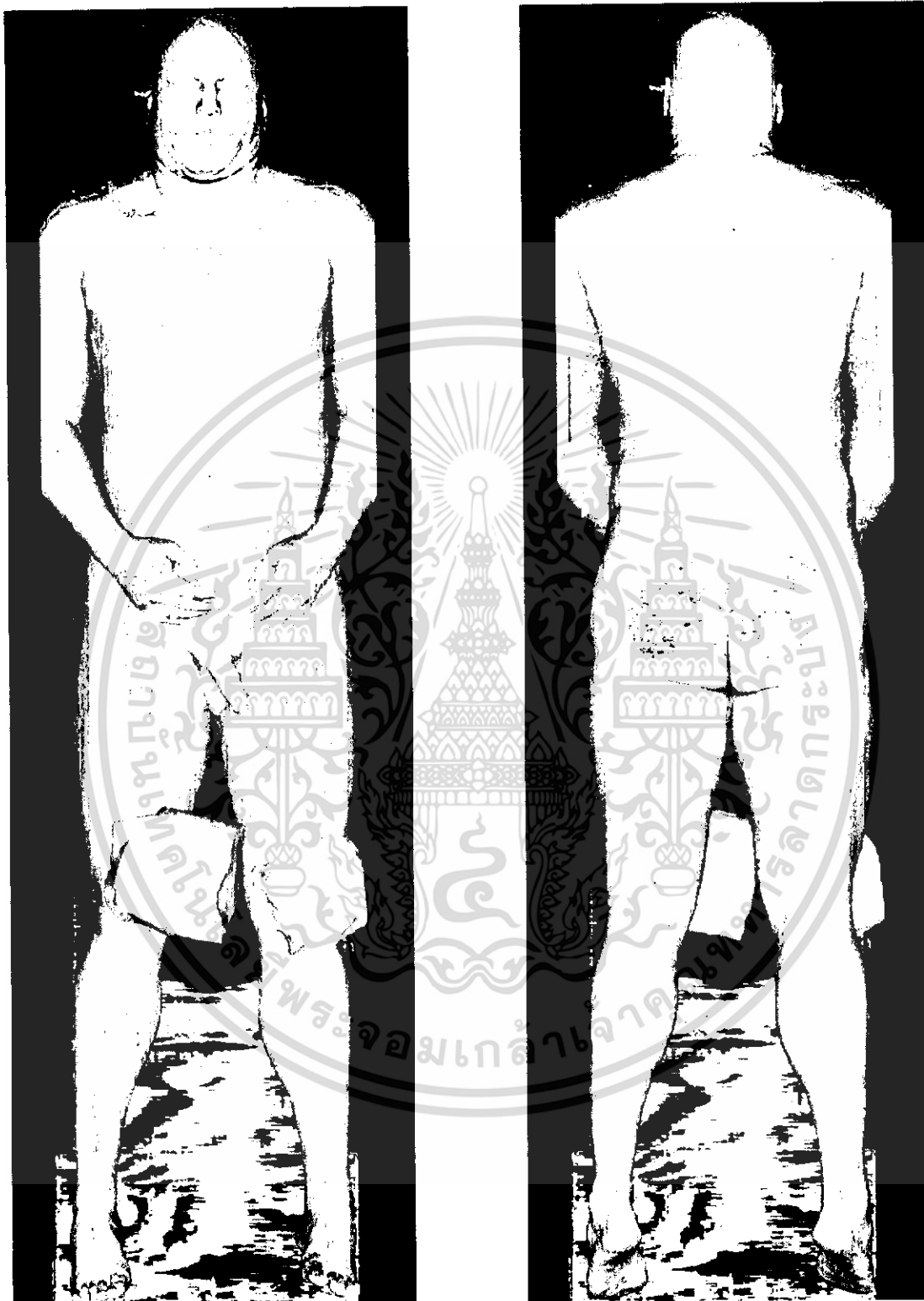
ภาพที่ 4.35 แสดงภาพโครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Gradient Shading  
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.36 แสดงภาพโครงสร้างของศีรษะ ที่ได้จากวิธี Gradient Shading  
(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



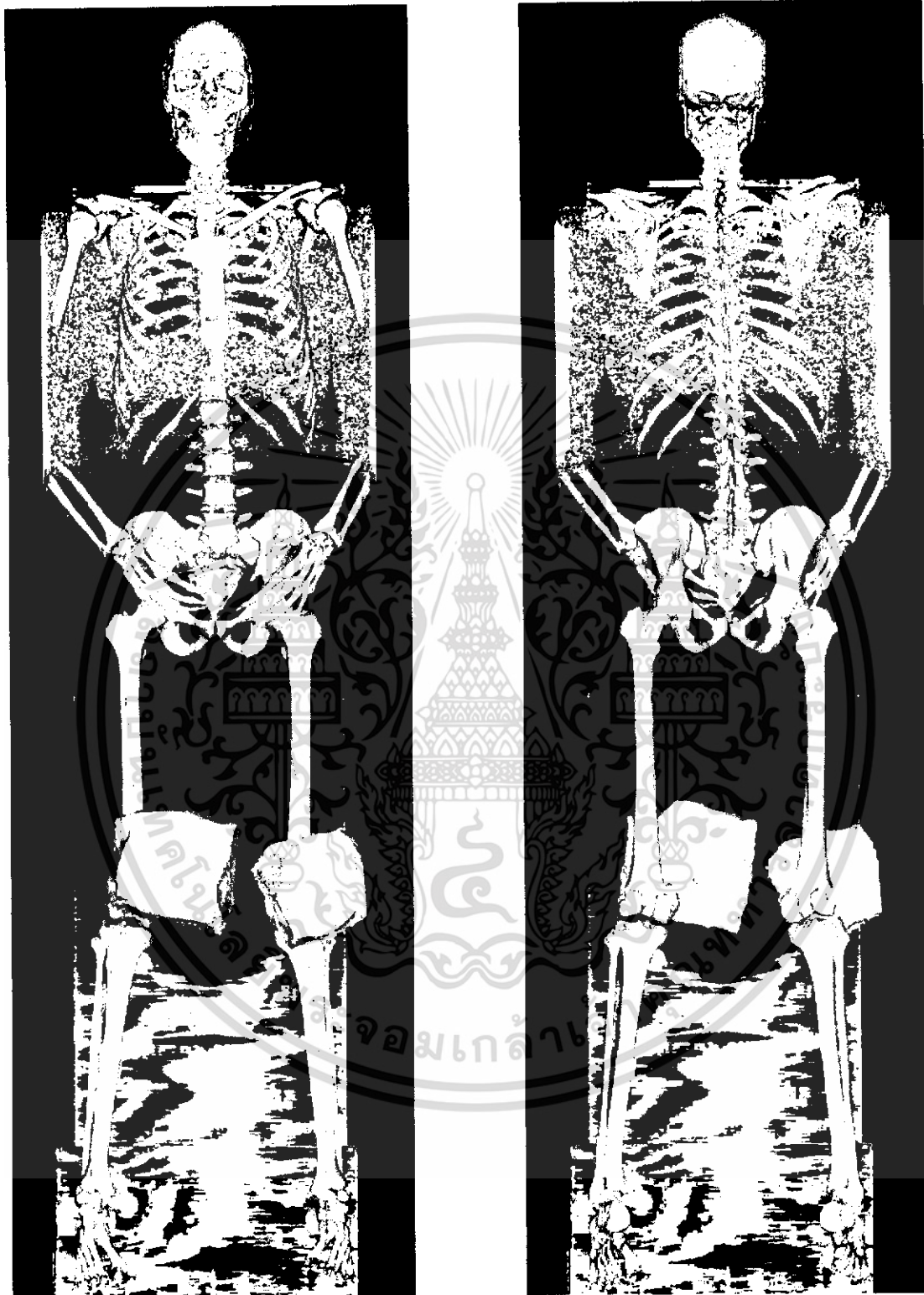
ภาพที่ 4.37 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading  
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.38 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading  
(Threshold Value = 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.39 แสดงภาพโครงสร้างของร่างกายด้านหน้า-หลัง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading  
(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.40 แสดงภาพ โครงสร้างของร่างกายด้านข้าง ที่ได้จากวิธี Gradient Shading

(Threshold Value = 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและแนวทางการพัฒนา

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากการสร้างภาพ 3 มิติเชิงพื้นผิวด้วยวิธีการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงจากหลาย ๆ วิธีด้วยค่า Threshold Value ที่เท่า ๆ กัน ในโครงการปัญญาพิเศษฉบับนี้ ดังที่แสดงในบทที่ 4 นั้น จะพบว่า การคำนวณปริมาณความเข้มด้วยวิธีค่าเฉลี่ยทุกจุด ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมองเห็นทั้ง โครงสร้างภายในและภายนอก แต่ยังไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างพื้นผิวได้มากนักเนื่องจากไม่ได้นำค่า Threshold Value มาคำนวณร่วมด้วย สำหรับวิธีการที่สองคือ การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Depth Shading ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีความราบเรียบและค่าความเข้มของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวก็มีความต่อเนื่องกันด้วย ข้อดีของวิธีการคำนวณนี้คือสามารถทำการคำนวณได้เร็ว เนื่องจากมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนจึงง่ายต่อการทำความเข้าใจ แต่ข้อเสียของการสร้างภาพด้วยวิธีนี้ก็คือ ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างพื้นผิวหรือเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้การสร้างภาพชิ้นส่วนของอวัยวะภายในร่างกาย เพราะการสร้างภาพชิ้นส่วนของอวัยวะภายในร่างกายนั้นต้องแสดงสามารถส่วนต่าง ๆ ได้อย่างละเอียดและอย่างชัดเจน

วิธีการที่สามคือ การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Gray - Level Shading ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ค่าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นเฉลี่ยภายในของแต่ละพิกเซลที่ประกอบอยู่ในภาพตัดขวางแต่ละภาพ มาใช้เป็นองค์ประกอบในการพิจารณาเพื่อกำหนดค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุ กล่าวคือ หากค่าผลต่างระหว่างค่าระดับเทาที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นผิวหรือเนื้อเยื่อ จากนั้นนำค่าผลต่างที่ได้ไปกำหนดเป็นค่าปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวของวัตถุต่อไป โดยค่าระดับที่พื้นผิวหรือเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ จะแสดงถึงความหนาแน่นของเนื้อเยื่อบริเวณนั้น ๆ ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธีนี้จะพบว่า ภาพที่ได้มีความสว่างน้อย ขาดความคมชัดและรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ภายในภาพหายไป เนื่องจากไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาอย่างทันทีทันใดจึงส่งผลให้ เมื่อนำค่าระดับเทาที่บริเวณต่าง ๆ มาหาผลต่างกัน จะทำให้ได้ค่าผลลัพธ์เป็นศูนย์ จึงเห็นเป็นจุดดำปรากฏอยู่ทั่วไปของภาพ

วิธีการที่สี่ที่ใช้ในการสร้างภาพ 3 มิติเชิงพื้นผิวด้วยวิธีการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงในโครงการปัญญาพิเศษฉบับนี้ คือ การให้แสงแก่พื้นผิวของวัตถุโดยใช้ข้อมูลของเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวหรือ Normal Vector ซึ่งจะเป็นการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องสว่างมายังวัตถุและทิศทางของเวกเตอร์ปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของวัตถุ และทำการคำนวณหาเวกเตอร์ปกติที่แต่ละจุดบนพื้นผิวของวัตถุโดยนำเอาจุดต่าง ๆ ที่อยู่

ข้างเคียงมาพิจารณา ซึ่งข้อมูลของเวกเตอร์ปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวนั้นสามารถนำมาใช้เป็นตัวกำหนดค่าปริมาณความเข้มของแสงได้ ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธีนี้จะพบว่า ภาพมีความคมชัดของพื้นผิว เห็นความลึกตื้นของพื้นผิวนั้น เห็นเส้นขอบของภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นและสามารถแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ได้มาก

สำหรับวิธีการสุดท้ายที่ใช้ในการสร้างภาพ 3 มิติเชิงพื้นผิว คือ การให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธีการ Gradient Shading ซึ่งเป็นนำพื้นฐานของวิธี Gray-Level Shading และวิธี Normal Vector มาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน โดยการนำค่าผลต่างของค่าระดับเทาของแต่ละแกนมาเขียนให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ของเวกเตอร์ตามแนวแกน แล้วนำมาหาผลคูณภายในกับเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธีนี้จะพบว่า ภาพจะมีความสว่างและความละเอียดมากกว่าวิธีการให้แสงแก่พื้นผิวด้วยวิธี Gray – Level Shading แต่น้อยกว่าวิธี Normal Vector ซึ่งสามารถเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบได้ดังนี้

วิธีการประมวลผล	ความสว่าง	รายละเอียด	ความคมชัด	เส้นขอบ	แยกพื้นผิว
Average	3	1	1	1	1
Depth Shading	2	2	2	2	2
Gray-Level Shading	1	3	3	3	3
Normal Vector	5	5	5	5	5
Gradient Shading	4	4	4	4	4

ความหมายของค่าในระดับต่างๆ

5	ดีที่สุด	2	น้อย
4	ดี	1	น้อยมาก
3	ปานกลาง		

ดังนั้นในโครงการปัญหาพิเศษฉบับนี้ การสร้างภาพ 3 มิติเชิงพื้นผิวด้วยวิธีการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงจากหลาย ๆ วิธีด้วยค่า Threshold Value ที่เท่า ๆ กันจะพบว่า วิธี Normal Vector จะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และส่วนที่มีความสำคัญมากในการสร้างภาพก็คือ จำนวนของภาพตัดขวางต้นฉบับที่จะนำมาใช้การสร้างภาพ เพราะถ้าจำนวนของภาพตัดขวางต้นฉบับมีจำนวนมาก ก็จะทำให้การสร้างภาพสาม มิติด้วยวิธีวิธีการคำนวณหาปริมาณความเข้มของแสงด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ภาพที่มีความละเอียดและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

## 5.2 แนวทางในการพัฒนา

ในขั้นตอนการสร้างภาพพื้นผิวที่ได้นำเสนอนี้จะพบว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้ อาจจะมี ความคมชัดไม่เพียงพอ และขั้นตอนในการ โหลดภาพเข้าสู่หน่วยความจำการทำงานที่ช้า ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปคือ

1. หาวิธีการสร้างภาพเชิงพื้นผิวที่สามารถทำให้ภาพผลลัพธ์มีความคมชัด และชัดเจนมากยิ่งขึ้น
2. พัฒนาขั้นตอนวิธีในการ โหลดภาพให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น
3. พัฒนาขั้นตอนในการให้สีแก่ภาพ
4. พัฒนาขั้นตอนการหมุนภาพตามมุมมองต่าง ๆ



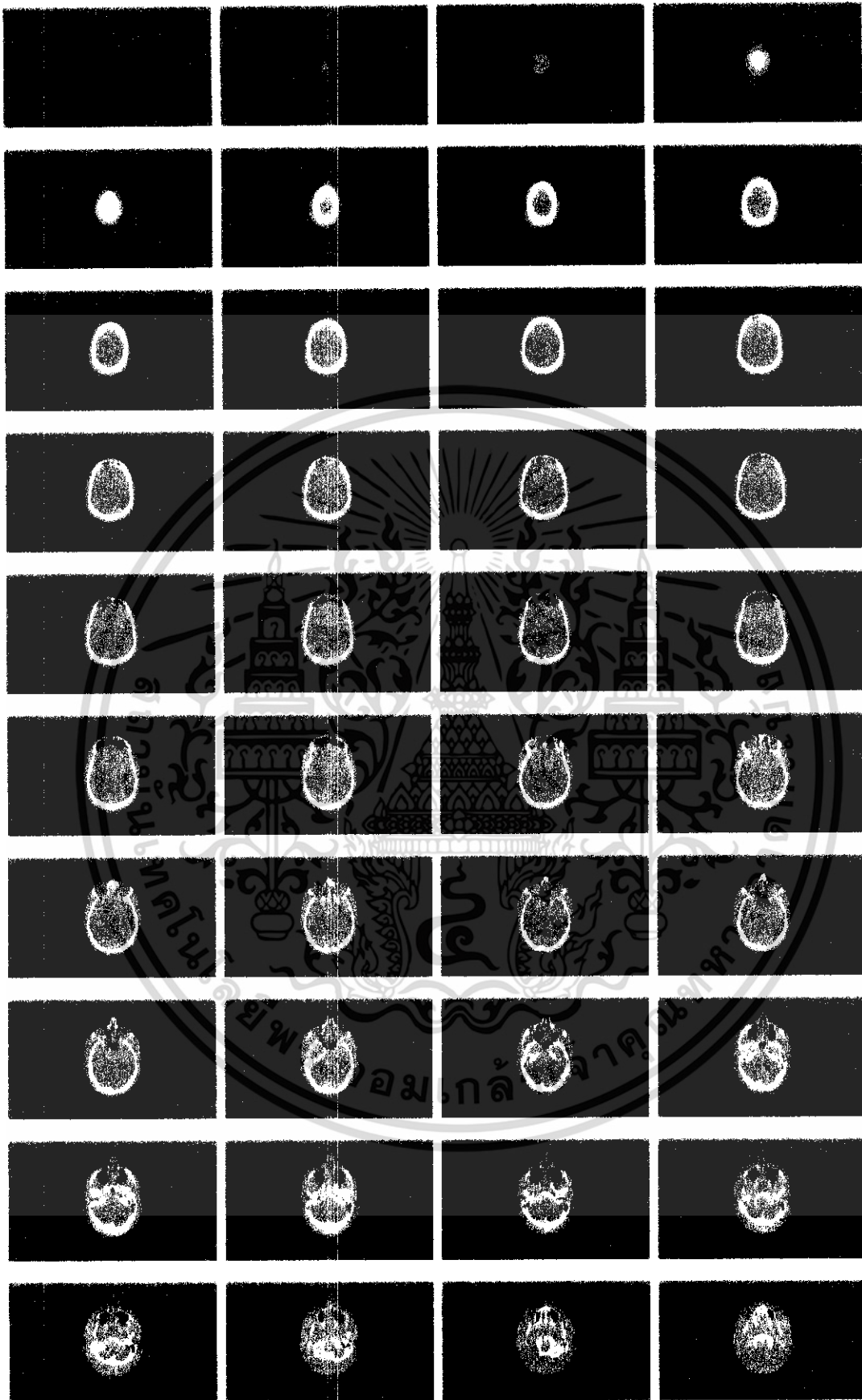
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

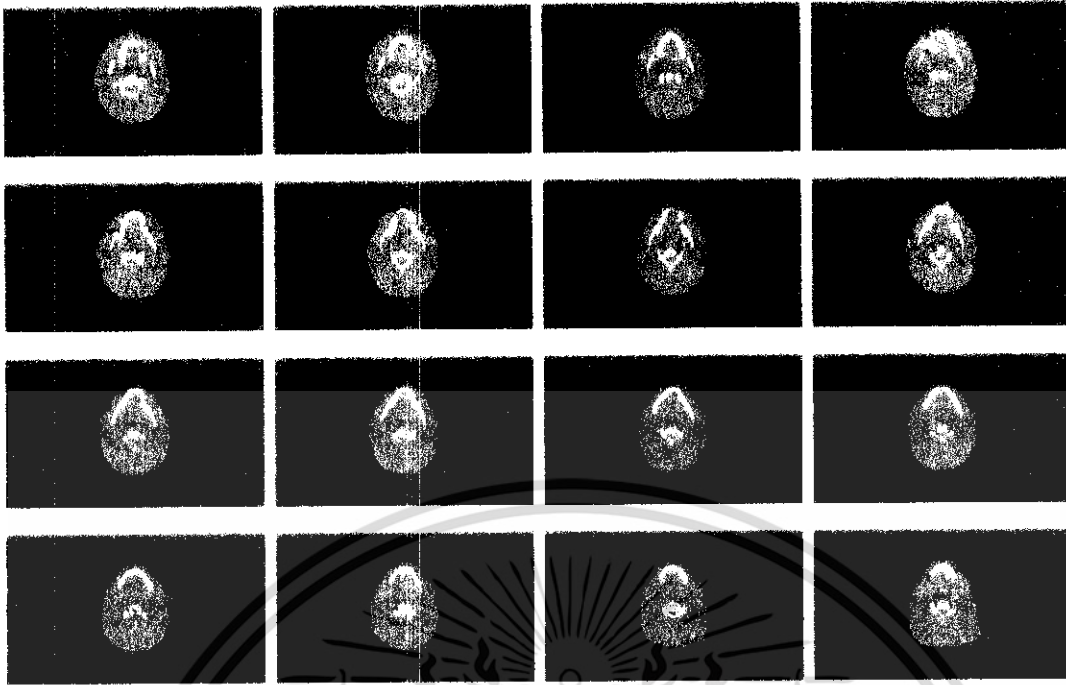
- [1] ธนาภรณ์ รัตนเมธาวิ “การเพิ่มความเร็วในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์ด้วยการแปลงระยะทางสองทิศทาง” วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545
- [2] นนท์ บัณฑิตวงษ์ “การศึกษาการประมวลผลแบบขนานบนระบบคลัสเตอร์ในการสร้างภาพเชิงปริมาตร” วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545
- [3] ยิ่งยศ ศรีบุญเรือง “การหาพิกัดพื้นผิววัตถุสามมิติจากภาพถ่ายสเตอริโอ” วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545
- [4] วรเทพ ไพบูลย์รัตนกร “การเพิ่มความเร็วให้การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์โดยใช้การแปลงระยะทาง” วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2544
- [5] สุพจน์ จันทร์วิวัฒน์ “การสร้างภาพสามมิติ จากลำดับของข้อมูลภาพตัดขวางโดยวิธีพิจารณาจากเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว” วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541
- [6] สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์ “การสร้างภาพพื้นผิววัตถุด้วยหลักการเซลล์ฟังก์ชันในเลเซอร์ไดโอด” วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้