

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	1
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องเอ็กซเรย์และภาพเอ็กซเรย์.....	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอ็กซเรย์	3
2.3 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดเอ็กซเรย์.....	4
2.4 ประเภทของเครื่องเอ็กซเรย์ที่ใช้ในการแพทย์	5
2.4.1 คอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟฟี (Computed Radiography, CR).....	5
2.4.2 ดิจิตอลเรดิโอกราฟฟี (Digital Radiography, DR).....	10
2.4.3 ดิจิตอลฟลูออโรสโคปี (Digital Fluoroscopy).....	18
2.5 คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ถ่ายภาพตัดขวาง	19
2.5.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การคูณ 19	
2.4.1 การอินทิเกรตในแนวเส้น (Line Integrals) และการ โปรเจคชัน (Projections)...	23
บทที่ 3 ทฤษฎีการสร้างภาพตัดขวางแบบกรวย.....	25
3.1 บทนำ	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การสร้างภาพตัดขวางจากโปรเจกชันแบบพัค.....	25
3.2.1 มุมระหว่างเส้นลำแสงเท่ากัน (equiangular ray).....	25
3.2.2 ระยะระหว่างเส้นลำแสงเท่ากัน (equally space collinear detectors)	30
3.3 การสร้างภาพตัดขวางแบบกรวย (cone-beam reconstruction)	35
3.3.1 โปรเจกชันของวัตถุ 3 มิติ.....	36
3.3.2 การสร้างภาพตัดขวางแบบกรวยของเฟลด์แคมป์.....	38
บทที่ 4 ทฤษฎีการปรับปรุงการสร้างภาพตัดขวางชนิดลำแสงกรวยกรณีหลอดเอ็กซ์เรย์อยู่ที่	
ตำแหน่งใดๆ.....	41
4.1 บทนำ.....	41
4.2 ฟังก์ชันน้ำหนักในสมการสร้างภาพตัดขวางสำหรับวัตถุ 3 มิติแบบลำแสงกรวยของ	
เฟลด์แคมป์.....	42
4.3 ขั้นตอนการคำนวณการสร้างตัดขวางแบบลำแสงกรวยของเฟลด์แคมป์หรือฟิลเตอร์	
เบ็คโปรเจกชัน 3 มิติ (Normal Feld camp).....	45
4.4 เชาวนิตของระบบเอ็กซ์เรย์ที่ใช้สำหรับการหาค่าตัวแปรการปรับทิศทาง	46
4.5 การปรับปรุงขั้นตอนการคำนวณการสร้างภาพตัดขวางแบบลำแสงกรวยของ	
เฟลด์แคมป์ (Modified Feldcamp)	50
4.6 การจำลองการฉายเอ็กซ์เรย์เมื่อหลอดเอ็กซ์เรย์อยู่ที่ตำแหน่งใดๆและใช้ขั้นตอนการ	
คำนวณการสร้างภาพตัดขวางแบบลำแสงกรวยของเฟลด์แคมป์ที่ปรับปรุงแล้ว	52
บทที่ 5 การทดลองเพื่อสร้างภาพตัดขวางของระบบเอ็กซ์เรย์กรณีหลอดเอ็กซ์เรย์อยู่ที่มุมใดๆ	56
5.1 บทนำ	56
5.2 ระบบเอ็กซ์เรย์ที่ใช้ทดลอง	56
5.3 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ภายในและภายนอก.....	57
5.4 ระบบการสร้างภาพตัดขวางด้วยวิธีเบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุง.....	59
5.5 การทดลองเพื่อสร้างภาพตัดขวางด้วยวิธีเบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุงกับวัตถุที่	
มีตำแหน่งอ้างอิงล้อมรอบ	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.6 การทดลองเพื่อสร้างภาพตัดขวางด้วยวิธีแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุงกับวัตถุทรงกลมเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดเชิงปริมาตร	65
บทที่ 6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
6.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
หนังสืออ้างอิง.....	69
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	71
ประวัติผู้เขียน	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การเปลี่ยนทิศทางบนแกน x, y เมื่อหลอดอิเล็กทรอนิกส์รัย้หมุนรอบแกน z 360 องศา	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (a) ผู้ที่ค้นพบเอ็กซ์เรย์เป็นคนแรก วิลเฮม คอนราด เรินท์เก้น (Wilhelm Conrad Roentgen)....	3
(b) ภาพเอ็กซ์เรย์ภาพแรก.....	3
2.2 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์	5
2.3 ฟังก์ชันการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ไดอิกราฟฟี (CR).....	6
2.4 โครงสร้างและลักษณะของอิมเมจเพลต	6
2.5 พลิกเบอร์เรียมฟลูออโรฮาไลด์นำไปโคป ด้วยยูโรเปียม เมื่อรับรังสีจะแตกตัวให้ อิเล็กตรอน $\text{Eu}^{2+} \rightarrow \text{x-ray radiation} \rightarrow \text{Eu}^{3+} + \text{e}^-$	7
2.6 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องอ่านภาพ	7
2.7 ระบบเครื่องอ่านภาพ	8
2.8 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องประมวลผลภาพ	9
2.9 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องบันทึกภาพ	9
2.10 ฟังก์ชันการทำงานของระบบดิจิตอลเรดิโอกราฟฟีแบบทางอ้อม ซึ่งใช้ตัวรับเอ็กซ์เรย์เป็น	11
2.11 (a) การเรียงตัวของโฟโตไดโอด บน ซีซีดี แบบเมตริก	11
(b) รูปร่างของชิปซีซีดี ที่ใช้งานจริง	11
(c) แต่ละพิกเซลรับแสงในแต่ละตำแหน่งต่างกัน	11
2.12 ภาพหน้าตัดโครงสร้างซีซีดี บริเวณโฟโตไดโอด 1 เซลล์	12
2.13 (a) วงจรไบแอสกลับที่ป้อนให้กับโฟโตไดโอด	12
(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลผ่านโฟโตไดโอดกับความเข้มแสง ที่ได้รับ.....	12
2.14 กราฟคุณลักษณะของโฟโตไดโอด.....	13
2.15 ฟังก์ชันการทำงานของระบบดิจิตอลเรดิโอกราฟฟีแบบทางอ้อม โดยใช้ทีเอฟทีที่เคลือบด้วย สารเรืองแสงเป็นตัวรับเอ็กซ์เรย์	13
2.16 แผ่นเรืองแสงและทีเอฟทีในระบบดิจิตอลเรดิโอกราฟฟีแบบทางอ้อม	14
2.17 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นตัวรับเอ็กซ์เรย์แบบทีเอฟที.....	15
2.18 ฟังก์ชันการทำงานของระบบดิจิตอลเรดิโอกราฟฟีแบบทางตรง	16
2.19 โครงสร้างระบบดิจิตอลเรดิโอกราฟฟีแบบทางตรงโดยใช้ตัวรับเอ็กซ์เรย์แบบโฟโต คอนดัคเตอร์ทีเอฟที.....	17

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 ความถี่ของระยะ (spatial frequency) และ DQE ของระบบดิจิทัลเรดิโอกราฟฟีเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ	17
2.21 ฝั่งการทำงานของเครื่องดิจิทัลฟลูออโรสโคปี	18
2.22 ลำเอ็กซ์เรย์ที่ฉายไปยังวัตถุที่มีเนื้อเดียวกันตลอด	20
2.23 ฉายรังสีไปยังวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนหลายค่า.....	21
2.24 ฉายรังสีไปยังวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนหลายค่าและมีการฉายรังสีหลายทิศทาง.....	22
2.25 ภาพตัดขวางของร่างกายมนุษย์.....	23
2.26 โปรเจกชันของวัตถุ $f(x, y)$ ที่มุม θ	24
3.1 (a) เส้นทางเดินของลำแสง แบบพัด	25
(b) เส้นทางเดินของลำแสง แบบกรวย.....	25
3.2 ข้อมูลโปรเจกชันเมื่อวิเคราะห์ทางเดินลำแสงแบบพัดที่มีมุมระหว่างเส้นรังสีเท่ากัน	26
3.3 เรขาคณิตของทางเดินลำแสงแบบพัดที่มีมุมระหว่างเส้นรังสีเท่ากัน	27
3.4 ข้อมูลโปรเจกชันเมื่อวิเคราะห์ทางเดินลำแสงแบบพัดที่มีระยะระหว่างเส้นรังสีเท่ากัน	30
3.5 เรขาคณิตของทางเดินลำแสงแบบพัดที่มีระยะระหว่างเส้นรังสีเท่ากัน.....	31
3.6 เรขาคณิตสำหรับการสร้างตัวแปรขึ้นใหม่ของทางเดินลำแสงแบบพัดที่มีระยะระหว่างเส้นรังสีเท่ากัน	33
3.7 การสร้างภาพตัดขวางของวัตถุแบบ 3 มิติ.....	35
3.8 การวิเคราะห์ทางเดินแสงแบบกรวยในรูปแบบทางเดินแสงแบบพัด.....	36
3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบแกนหมุนของแหล่งกำเนิดเอ็กซ์เรย์และลำแสง (t, s, r) รอบระบบแกนวัตถุ (x, y, z)	37
3.10 ระบบแกน (t', s') และแสดงตำแหน่งจุดภายในวัตถุซึ่งสัมพันธ์กับระนาบเอียงรูปพัดของลำแสง.....	39
4.1 วัตถุซึ่งอยู่บนระบบแกน (x, y, z) ได้รับเอ็กซ์เรย์จากหลอดเอ็กซ์เรย์แบบลำแสงกรวย เกิดเป็นข้อมูลโปรเจกชันบนระบบแกนของตัวรับภาพ (ρ, ζ)	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2	ค่าฟังก์ชันน้ำหนักตามระยะห่างซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่าระยะ z ในแต่ละค่า D_{so} 42
4.3	กราฟความเข้มของฟังก์ชันน้ำหนักตามระยะที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ 43
4.4	ค่าฟังก์ชันน้ำหนักแบบโคไซน์ซึ่งจะกระจายบนแกนของตัวรับภาพ ρ, ζ ในแต่ละค่า D_{so} 44
4.5	กราฟความเข้มของฟังก์ชันน้ำหนักโคไซน์ที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ 44
4.6	ระบบแกนของหอดอเค็กซ์เรย์ (u, v, w) และระบบแกนโลก (x, y, z) (a) ที่อยู่ในแนวเดียวกัน (b) ไม่อยู่ในแนวเดียวกัน..... 46
4.7	ระบบแกนของหอดอเค็กซ์เรย์ (u, v, w) และระบบแกนโลก (x, y, z) 47
4.8	ฟังก์ชันสัมพันธ์ของค่าพิกัดบนแกนวัตถุ (x, y, z) ซึ่งถูกแปลงเป็นค่าพิกัดบนแกนของระนาบรับภาพผ่านตัวแปรการแปลง M 49
4.9	การเปลี่ยนทิศทางบนแกน x, y, z ของหอดอเค็กซ์เรย์ที่ใช้กับแบบจำลองในการฉายเอ็กซ์เรย์..... 52
4.10	ตัวอย่างภาพโปรเจกชันเมื่อหอดอเค็กซ์เรย์มีการเปลี่ยนทิศทางบนแกน x และแกน y จาก 0-60 องศา และมุมในการเก็บภาพโปรเจกชันจาก 0-360 องศา..... 53
4.11	ภาพตัดขวางโดยใช้ขั้นตอนเบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปกติ..... 54
4.12	แสดงภาพตัดขวางโดยใช้ขั้นตอนเบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุงแล้ว..... 54
4.13	เปรียบเทียบภาพตัดขวางของรูปต้นฉบับ, ภาพตัดขวางวิธีเบ็คโปรเจกชัน 3 มิติ แบบปกติ ภาพตัดขวางวิธีเบ็คโปรเจกชัน 3 มิติ แบบปรับปรุง 55
5.1	แผนผังของระบบเอ็กซ์เรย์ที่ใช้วัตถุหมุน 56
5.2	การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ภายในและภายนอกที่ระยะต่างๆ 57
5.3	ผลภาพโปรเจกชันที่ได้จะถูกนำมาเก็บพิกัดตำแหน่งของจุดอ้างอิงบนตาราง 58
5.4	ผังระบบการสร้างภาพตัดขวางด้วยวิธีเบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุง..... 59
5.5	ภาพโปรเจกชันที่มีความผิดเพี้ยน (ซ้าย) หลังทำการแก้ไขด้วยวิธีโพลีโนเมียล (ขวา) 60
5.6	ระบบเอ็กซ์เรย์พร้อมวัตถุที่อยู่ในโครงอ้างอิงที่ใช้ในการทดลองจริง 60
5.7	วัตถุ (กระดูกหมู) ที่อยู่ในโครงที่มีจุดอ้างอิงทำด้วยลวดทั้งหมด 8 ตำแหน่ง 61
5.8	พิกัดจุดของวัตถุที่ใช้ในการหาตัวแปรการปรับทิศทาง..... 61
5.9	ข้อมูลโปรเจกชันที่ได้จากมุมในการหมุนวัตถุตั้งแต่ 0-360 องศา..... 62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 ภาพโปรเจกชันกับการหาค่าตัวแปรการปรับทิศทางหรือเมตริก M โดยจะต้องเลือกจุดพิกต์ตำแหน่งอ้างอิง 8 จุดตั้งในรูปบน (กากบาทสีแดง) ล่างการพล็อตค่ากลับคืนจากเมตริก M เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง.....	62
5.11 ตัวอย่างภาพโปรเจกชันกับการหาตัวแปรการปรับทิศทาง.....	63
5.12 การพล็อตค่ากลับคืนจากเมตริก M เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง.....	63
5.13 ภาพตัดขวางที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุง.....	64
5.14 ภาพตัดขวางที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปกติ.....	64
5.15 โมเดล 3 มิติของภาพตัดขวางที่ใช้วิธีแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุง ภาพบนเป็นโมเดลเชิงปริมาตร ภาพล่างเป็นโมเดลเชิงพื้นผิว	64
5.16 ระบบเอ็กซ์เรย์พร้อมวัตถุทรงกลมที่อยู่ในโครงอ้างอิงที่ใช้ในการทดลองจริง	65
5.17 ตัวอย่างภาพโปรเจกชันของวัตถุทรงกลมที่ใช้ทดลองหาความผิดพลาดเชิงปริมาตร	66
5.18 ตัวอย่างภาพตัดขวางของวัตถุทรงกลมที่ใช้ทดลองหาความผิดพลาดเชิงปริมาตร	66
5.19 ขนาดของวัตถุทรงกลมที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาความผิดพลาดเชิงปริมาตร	67
6.1 เปรียบเทียบภาพตัดขวางของแบบจำลองเซฟโลแกน เมื่อใช้ขั้นตอนแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปกติ (บน) เมื่อใช้ ขั้นตอนขั้นตอนแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุง (ล่าง)	68
6.1 เปรียบเทียบภาพตัดขวางของกระดูก เมื่อใช้ขั้นตอนแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปกติ (ซ้าย) เมื่อใช้ขั้นตอนขั้นตอนแบ็คโปรเจกชัน 3 มิติแบบปรับปรุง (ขวา).....	69