สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบาญตาราง	ฐ
สารบาญภาพ	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่นำไปสู่งานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์	9
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	9
1.5 สมมติฐานการวิจัย	9
1.6 ขอบเขตของการศึกษา	10
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แหล่งกำเนิดรังสี	11
2.2 ชนิดของรังสีและอนุภาค	12
2.3 รังสีที่ใช้ในทางการแพทย์	14
2.4 อันตรกิริยาของรังสีกับวัตถุ	15
2.5 ผลของรังสีต่อร่างกายมนุษย์	18
2.6 หลักการ ALARA	19
2.7 ปริมาณรังสีสูงสุดที่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีและสาธารณชนรับได้ ใน 1 ปี	21
2.8 อันตรกริยาของรังสีเมื่อเคลื่อนที่ผ่านวัสดุกำบังรังสี	22
2.9 วัตถุประสงค์ของการป้องกันอันตรายจากรังสี	23
2.10 อุปกรณ์ในการกำบังรังสี	23
2.11 หลักการในเลือกใช้วัสดุในการกำบังรังสี	24
2.12 ค่าความหนาครึ่งค่า (HVL)	25
2.13 การใช้อุปกรณ์กำบังรังสี	25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 โครงสร้างของวัตถุ	26
2.15 กระบวนการผลิตแก้ว	26
2.16 องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว	27
2.17 คุณสมบัติของแก้ว	28
2.18 ชนิดของแก้ว	30
2.19 หลักการทำงานของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer)	32
2.20 การหักเหของแสง (Refraction)	36
2.21 หลักการทำงานของเครื่องนับวัดรังสีชนิดซินทิลเลเตอร์ดีเทคเตอร์ (Scintillation detector)	37
2.22 ค่าความหนาแน่น	39
2.23 ความแข็ง	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	41
3.2 วิธีการทดลอง	
3.2.1 กระบวนการผลิตแก้ว	43
3.2.2 ขั้นตอนการวัดความหนาแน่นของแก้ว	45
3.2.3 ขั้นตอนการวัดความแข็งของแก้ว	45
3.2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้ว	46
3.2.5 ขั้นตอนการหาค่าความหนาครึ่งค่า	47
3.2.6 ขั้นตอนการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้ว	47
3.2.7 ขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม XCOM	47
3.2.8 ขั้นตอนการคำนวณอันตรกริยาย่อยของรังสีที่เกิดขึ้นในแก้ว	48
3.2.9 ขั้นตอนการวัดความสามารถในการดูดกลืนแสง	49
3.2.10 ขั้นตอนการวัดดรรชนีการหักเหแสง	49

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.11 ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วจากเครื่องเอกซ์เรย์	50
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการออกแบบและผลิตแก้ว	51
4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแก้ว	52
4.3 ผลการวัดค่าความแข็ง	53
4.4 อันตรกิริยาของรังสีกับวัตถุ	
4.4.1 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา	54
4.4.2 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากการวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์	56
4.5 ผลการศึกษาค่าความหนาครึ่งค่า	
4.5.1 ผลการศึกษาค่าความหนาครึ่งค่าจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา	59
4.5.2 ผลการศึกษาค่าความหนาครึ่งค่าจากการวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์	61
4.6 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล	
4.6.1 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา	63
4.6.2 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากการวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์	65
4.7 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลจากการทดลองและค่าจากทฤษฎี	68
4.8 ผลการวัดการดูดกลืนแสง	72
4.9 ผลการวัดดรรชนีการหักเหแสง	76
4.10 ผลการคำนวณค่าความคุ้มทุนในการเตรียมกระจก	78
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลองและสรุป	80

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เลขอะตอมของสารประกอบที่ใช้ในการขึ้นรูปของแก้ว แบเรียม บิสมัท และตะกั่ว	88
ภาคผนวก ข การคำนวณมวลโมเลกุลของสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปของแก้วที่มีส่วนผสมของ แบเรียม บิสมัท และตะกั่ว	89
ภาคผนวก ค การคำนวณเศษส่วนโมลของสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท และตะกั่ว	92
ภาคผนวก ง การคำนวณการชั่งน้ำหนักของสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท และตะกั่ว	95
ภาคผนวก จ การวัดค่าความหนาแน่นของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	98
ภาคผนวก ฉ การวัดค่าความแข็งของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	101
ภาคผนวก ช การวัดค่าความเข้มของรังสีแกมมาของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	104
ภาคผนวก ซ การวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรย์ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 120 kVp 100 mA 2 sec ของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	106
ภาคผนวก ฌ การวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรย์ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 kVp 100 mA 2 sec ของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	108
ภาคผนวก ญ การวัดค่าดรรชนีหักเหแสงของแก้วที่มีส่วนผสมของแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	110
ภาคผนวก ฎ การคำนวณสารเคมีของแก้วที่มีส่วนผสมของ แบเรียม บิสมัท และตะกั่ว	113
ประวัติผู้เขียน	119

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่มีส่วนผสมของบิสมัทออกไซด์และแบเรียมออกไซด์เปรียบเทียบกับแก้วที่มีส่วนผสมของตะกั่วออกไซด์	7
2.1 ค่าขีดจำกัดของปริมาณรังสี ตามหลัก ICRP No.103	18
2.2 ผลของรังสีต่อมนุษย์เมื่อได้รับรังสีทั้งตัว	19
2.3 ชนิดของเครื่องกำบังรังสีแบ่งตามชนิดของรังสี	24
2.4 ค่าความหนาครึ่งค่าของตะกั่วสำหรับใช้ในการกันรังสีที่ระดับพลังงานต่างๆ	25
2.5 ค่าดรรชนีหักเหแสงของตัวกลางชนิดต่างๆ ที่ความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร	37
4.1 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และความหนาแน่นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท และตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	52
4.2 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และความแข็งของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา	53
4.3 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV	55
4.4 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตัม ที่พลังงาน 120 kVp	56
4.5 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตัม ที่พลังงาน 100 kVp	58
4.6 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV	59
4.7 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 120 kVp	61
4.8 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา ที่พลังงาน 100 kVp	62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

4.9 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาพลังงาน 662 keV 64

4.10 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมที่พลังงาน 120 kVp 65

4.11 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาจากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมที่พลังงาน 100 kVp 67

4.12 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ของแก้วที่เติมแบเรียมกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี และอันตรกริยาย่อยที่ได้จากการคำนวณ 68

4.13 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ของแก้วที่เติมบิสมัทกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี และอันตรกริยาย่อยที่ได้จากการคำนวณ 70

4.14 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ของแก้วที่เติมตะกั่วกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี และอันตรกริยาย่อยที่ได้จากการคำนวณ 71

4.15 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าความยาวคลื่นขีดเริ่ม (Cut-off wavelength) ของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา 72

4.16 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น และค่าดรรชนิการหักเหแสงของแก้วที่มีส่วนผสมของแก้วที่เติมแบเรียม บิสมัท ตะกั่ว และกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยา 77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	กระจกบริเวณที่ปฏิบัติงานทางด้านรังสีวิทยาที่มีความโปร่งแสงช่วยเพิ่มความสะดวก	3
1.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง เศษส่วนโดยมวลของบิสมัท (Bi) ต่อ ตะกั่ว (Pb) จากแก้ว Bi_2O_3-PbO-B_2O_3 ในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (μ/ρ)ในแกน y	4
1.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของ ตะกั่ว (Pb) จากแก้ว PbO-B_2O_3 ในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่า (HVL) ในแกน y	5
1.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของบิสมัท (Bi) ต่อ ตะกั่ว (Pb) จากแก้ว Bi_2O_3-PbO-B_2O_3ในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่า (HVL) ในแกน y	5
1.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของบิสมัท (Bi) ต่อ ตะกั่ว (Pb) จากแก้ว Bi_2O_3-PbO-B_2O_3ในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่า (HVL) ในแกน y	6
1.6	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารประกอบในแกน x และความหนาครึ่งค่าในแกน y	7
1.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาครึ่งค่าในแกน x และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารประกอบในแกน y	8
2.1	การเกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ	13
2.2	การเกิดรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง	14
2.3	รังสีและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ	15
2.4	การเกิดโฟโตอิเล็กทริก	16
2.5	การกระเจิงแบบคอมป์ตัน	17
2.6	การเกิดแพร โพดักชัน	17
2.7	โครงสร้างผลึกของซิลิเกตแบบตาข่าย (Framework Structure) และโครงสร้างแบบสุ่ม (Random Structure)	26
2.8	การแข็งตัวของแก้วหรือโครงสร้างวัสดุที่ไม่มีผลึก และวัสดุที่มีผลึก	27
2.9	หลักการทำงานของระบบวัดรังสีแกมมาแบบซิลทิลเลชั่น	38
2.10	เครื่องชั่งชนิดสี่ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการคำนวณความหนาแน่น	39
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมแก้วและการทดสอบคุณสมบัติในงานวิจัยนี้	43
3.2	กระบวนการหลอมแก้ว	44
3.3	ขั้นตอนการวัดความหนาแน่นด้วยเครื่อง density measurement apparatus	45

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.4	ขั้นตอนการวัดความแข็งด้วยเครื่อง Digital Micro Vickers Hardness Tester	46
3.5	การทดสอบความสามารถในการลดทอนปริมาณรังสีของแก้วตัวอย่าง	46
3.6	การจัดวางอุปกรณ์เพื่อนับวัดรังสีในการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้ว	47
3.7	ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม XCOM	48
3.8	แผนภาพวิธีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่เกิดขึ้นในแก้วที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบค่าทางทฤษฎี	48
3.9	หลักการทำงานของเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น Cary50 Varian	49
3.10	การวัดดรรชนีหักเหแสงด้วยเครื่อง Abbe Refractometer รุ่น ATAGO	49
3.11	การจัดวางอุปกรณ์เพื่อนับวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วโดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์	50
4.1	แสดงแก้วตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารเติมต่างๆ	51
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และความหนาแน่นของแก้วในแกน y	52
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างและกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาในแกน x และค่าความแข็งของแก้วในแกน y	54
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วจากการทดสอบในแกน y จากการวัดจากแหล่งกำเนิดรังสีชนิดแกมมาที่พลังงาน 662 keV	55
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 120 kVp	57
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 100 kVp	58

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้ว จากการทดสอบในแกน y จากการวัดด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV 60
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 120 kVp 61
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าความหนาครึ่งค่าของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 100 kVp 63
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วจากการทดสอบในแกน y จากการทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV 64
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 120 kVp 66
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วจากการทดสอบในแกน y ที่พลังงาน 100 kVp 67
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมแบเรียมในแกน x แลอันตรกริยาย่อยในแกน y 69
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมบิสมัทในแกน x แลอันตรกริยาย่อยในแกน y 70
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วที่เติมตะกั่วในแกน x แลอันตรกริยาย่อยในแกน y 72
4.16 กราฟแสดงความยาวคลื่นขีดเริ่มของแก้วที่เติมแบเรียมในช่วง 300 - 1100 นาโนเมตรในแกน x และค่าการดูดกลืนแสงในแกน y 73
4.17 กราฟแสดงความยาวคลื่นขีดเริ่มของแก้วที่เติมบิสมัทในช่วง 300 - 1100 นาโนเมตรในแกน x และค่าการดูดกลืนแสงในแกน y 74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.18 กราฟแสดงความยาวคลื่นขีดเริ่มของแก้วที่เติมตะกั่วในช่วง 300 - 1100 นาโนเมตร ในแกน x และค่าการดูดกลืนแสงในแกน y 75

4.19 กราฟแสดงความยาวคลื่นขีดเริ่มของกระจกตะกั่วที่ใช้ในแผนกรังสีวิทยาในช่วง 300 - 1100 นาโนเมตรในแกน x และค่าการดูดกลืนแสงในแกน y 76

4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าดรรชนีหักเหของแก้วในแกน y 77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved