

การวิเคราะห์ ปูนซีเมนต์ ปริมาณมากโดยใช้เทคนิคนิวตรอน

นางสาว ปานทิพย์ อัมพรรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-849-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

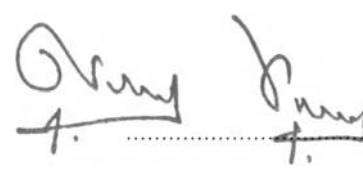
BULK ANALYSIS OF CEMENT USING NEUTRON TECHNIQUES

Miss Pantip Ampornrat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Nuclear Technology
Chulalongkorn University
Academic year 1996
ISBN 974-636-849-4

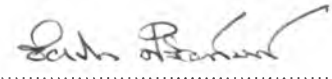
ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ปูนซีเมนต์ปริมาณมากโดยใช้เทคนิคนิวตรอน
โดย นางสาว ปานทิพย์ อัมพรรัตน์
ภาควิชา นิเวศศาสตร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุมิตร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

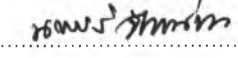
คนบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการ

ประธานกรรมการ


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุมิตร)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ปานทิพย์ อัมพรรัตน์ : การวิเคราะห์ปูนซีเมนต์ปริมาณมากโดยใช้เทคนิคนิวตรอน (BULK ANALYSIS OF CEMENT USING NEUTRON TECHNIQUES) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ. ที่ปรึกษารวม : รศ.ดร.รัชชัย สุมิตร, 109 หน้า, ISBN 974-636-849-4

ได้ทำการศึกษาทดลองวิเคราะห์ธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม และเหล็ก แบบไม่ทำลายในตัวอย่างซีเมนต์ผงปริมาณมาก โดยใช้เทคนิคนิวตรอน 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน และเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันแบบหมุนวน การวิเคราะห์ซิลิกอนและเหล็กใช้เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน โดยมีอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม ความแรง 90 มิลลิวูรี่ เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว การวิเคราะห์อะลูมิเนียมใช้เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันแบบหมุนวน ส่วนเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอนใช้ในการวิเคราะห์แคลเซียมและเหล็ก สำหรับเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันและเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอนได้ใช้เทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากพลูโทเนียม-238/เบริลเลียม ความแรง 5 คูรี ที่มีน้ำเป็นตัวหน่วงนิวตรอน การวัดรังสีแกมมาในการวิจัยนี้ใช้หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว พบว่า ซีดจำกัดในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม และเหล็ก มีค่าประมาณ 1, 10, 20 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปูนซีเมนต์ด้วยเทคนิคนิวตรอนมีค่าใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ ยังจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเทคนิคนิวตรอนบางส่วนก่อนการนำไปใช้งานจริงในการวิเคราะห์ตัวอย่างซีเมนต์ผง

ภาควิชา วิศวกรรมเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิศวกรรมเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากงานปฏิบัติและค้นคว้า รวมทั้งการหาตัวอย่างจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ และโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เริ่มตั้งแต่การได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุน จากท่านผู้ใหญ่หลายท่านด้วยกัน ซึ่งต้องกราบขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดช่วงเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุมิตร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณอเนก พรหมสูตร แผนกหัวหน้าวิเคราะห์ทาง X-Ray บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) อาจารย์ณฤพวัจก์ เงินวิจิตร ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คุณประภาส อัมพรรัตน์ อุตสาหกรรมจังหวัดสระบุรี พันเอกสุวิทย์ อัมพรรัตน์

ขอขอบคุณ คุณบุญนาค ผู้ช่วยเหลือในการทำอุปกรณ์วิจัยบางชิ้น คุณนิวัฒน์ คุณเสนีย์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คุณพรรัตน์ ศรีสวัสดิ์ และ คุณศศิพันธ์ ณ.สงขลาผู้ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี เพื่อนร่วมรุ่นทุกคน ที่ร่วมฟันฝ่าอุปสรรคมาด้วยกัน และรุ่นน้องทุกรุ่น เพื่อนผู้ชาย ผู้ช่วยเหลือในการทำวิจัย คุณบุญฉวี และคุณดวงพร ผู้ช่วยเหลือในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ และสุดท้าย คุณอารีย์พร คุณธนะพัทธ์ และ U2 ผู้ให้ความคิดสร้างสรรค์มาตลอด

และบุคคลที่สำคัญยิ่งจะลืมเสียไม่ได้ คือผู้ปกครองที่ให้ความสนับสนุนด้วยความรักและห่วงใยในทุก ๆ ด้าน ตั้งแต่เริ่มต้นการศึกษามาจนปัจจุบันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่ออังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มา ปัญหา และเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ต้นกำเนิดนิเวตรอน.....	10
2.2 ต้นกำเนิดนิเวตรอนแบบไอโซโทป.....	12
2.3 คุณสมบัติบางประการของนิเวตรอน.....	13
2.4 พลังงานของนิเวตรอน.....	14
2.5 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ของนิเวตรอน.....	15
2.6 การวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เทคนิคนิเวตรอน.....	16
2.7 พรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของนิเวตรอน.....	16
2.8 พรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจากนิเวตรอน.....	17
2.9 เทคนิคนิเวตรอนแอกติเวชัน.....	18

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และการทดลอง.....	21
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	22
ก. เครื่องมือวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	22
ข. ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน.....	22
ค. วัสดุกัมบ่งรังสีและหน่วยพลังงาน.....	22
ง. ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์.....	23
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
ก. การวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิคการวัดพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยา การชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน.....	27
ข. การวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิคการวัดพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยา การชนแบบการจับนิวตรอน.....	32
ค. การวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน.....	44
4 ผลการวิจัยการวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิคนิวตรอน.....	50
ก. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิควัดพรอมต์แกมมาจาก ปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน.....	50
ข. ผลการศึกษาการวิเคราะห์โดยเทคนิควัดพรอมต์แกมมาจาก ปฏิกิริยาการจับนิวตรอน.....	51
ค. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน.....	69
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	88
รายการอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก.....	97
ภาคผนวก ข.....	105
ภาคผนวก ค.....	107
ประวัติผู้เขียน.....	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบมวลและประจุของอนุภาคอิเล็กตรอน โปรตรอน และนิวตรอน...	10
2.2 คุณสมบัติของต้นกำเนิดนิวตรอนแบบสลายตัวให้อนุภาคอัลฟา.....	15
2.3 คุณสมบัติของต้นกำเนิดนิวตรอนแบบสลายตัวให้อนุภาคแกมมา.....	15
2.4 รังสีพรอมต์แกมมาที่เกิดจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน ที่ระดับพลังงานต่างๆ ของธาตุซิลิกอนและเหล็ก.....	19
2.5 ธาตุที่มีความไวสูงสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์ แกมมาจากปฏิกิริยาการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน.....	20
2.6 ธาตุที่มีความไวสูงสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์ แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน.....	22
2.7 ธาตุที่มีความไวสูงสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน.....	24
3.1 สเปกตรัมของแบคกราวด์ของระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาด้วยเทคนิคการวัด รังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน.....	41
3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน.....	50
4.1 ผลการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากระบบวิเคราะห์ที่เลือก.....	56
4.2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก.....	58
4.3 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ธาตุซิลิกอน.....	59
4.4 ผลการศึกษาผลของตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนกับห้วงวัดรังสีแกมมา ที่มีผลต่อแบคกราวด์.....	63
4.5 ผลการศึกษาผลของระยะห่างของต้นกำเนิดนิวตรอน กับปลายท่อ คอลลิเมเตอร์.....	68
4.6 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่าง กับค่าจำนวน นับรังสีสุทธิของแคลเซียม โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมสูง.....	70
4.7 ผลการทดสอบหาตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำสุดที่สามารถวัดได้.....	71
4.8 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวอย่าง กับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของ แคลเซียม โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำที่สุดที่สามารถวัดได้.....	72

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ผลการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน.....	74
4.10 ผลการนับจำนวนรังสีสุทธิของแคลเซียม ที่ได้จากการทดลองที่ 4.2	76
4.11 ผลการทดลองวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน ของเหล็ก.....	79
4.12 ผลการนับจำนวนรังสีสุทธิของเหล็ก ที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.....	80
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้วัด และจำนวนนับรังสีสุทธิ ของอะลูมิเนียม.....	82
4.14 ผลการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอาบนิวตรอนแบบหมุนวน.....	83
4.15 ผลการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอาบนิวตรอนแบบหมุนวน เพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบ.....	84
4.16 การทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอาบนิวตรอนแบบหมุนวนเพื่อ หาปริมาณของอะลูมิเนียมในตัวอย่าง.....	86

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความแรงรังสี ขณะที่อาบรังสีและปล่อยให้ สลายตัว.....	27
3.1 อุปกรณ์วัดรังสีแกมมา (ก) เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง และแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (ข) หัววัด NaI (TI) 5"x5" และภาค ขยายส่วนหน้า.....	33
3.2 (ก) วัสดุกำบังรังสีแกมมา (ข-ค) แผ่นยางผสมโบรอน และโพลีเอทีลีน สำหรับกำบังรังสีนิวตรอน.....	34
3.3 ตัวอย่างที่บรรจุในถังพลาสติก.....	35
3.4 แสดงการจัดระบบวิเคราะห์ สำหรับเทคนิคการวัดพรอมต์แกมมา จากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน.....	37
3.5 ภาพจำลองการเดินทางของลำนิวตรอน สู่ปากท่อคอลลิเมเตอร์.....	40
3.6 สเปกตรัมแบบกราวด์ของระบบวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคการวัดรังสี- พรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน.....	41
3.7 ช่องตะกั่วกำบังรังสี.....	43
3.8 ภาพแสดงการทดสอบ ผลของตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน และหัววัดรังสีแกมมา.....	44
3.9 ภาพแสดงการทดสอบ ผลของระยะห่างของต้นกำเนิดนิวตรอนกับ ปลายท่อคอลลิเมเตอร์.....	45
3.10 ภาพแสดงการทดสอบ ผลของความสูงของตัวอย่าง.....	47
3.11 ภาพแสดงการจัดระบบวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์- แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน.....	48
3.12 การจัดระบบอาบรังสีนิวตรอน สำหรับเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน....	51
3.13 การจัดระบบวัดรังสีแกมมา.....	52

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสลายตัวให้รังสีแกมมา กับเวลา(หลังจากสิ้นสุดการอาบรังสี).....	53
4.1 สเปกตรัมของตัวอย่างปูนซีเมนต์ B จากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่น ของนิวตรอนและระบบวิเคราะห์ที่เลือก.....	57
4.2 กราฟเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก.....	59
4.3 กราฟเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ซิลิกอน.....	60
4.4 สเปกตรัมของตัวอย่าง จากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน	61
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน กับอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมา ต่อแบคกราวด์..	65
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมาและ อัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมา ต่อแบคกราวด์....	65
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนกับค่า จำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม.....	66
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมาและ จำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม.....	66
4.9 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของ แคลเซียมเมื่อต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนอยู่ที่ตำแหน่ง M, O และ I	67
4.10 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของ แคลเซียมจากหัววัดรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B และ C	67
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายท่อ คอลลิเมเตอร์และต้นกำเนิดนิวตรอน กับจำนวนนับรังสีสุทธิ ของแคลเซียม.....	69
4.12 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของ แคลเซียมเมื่อระยะระหว่างปลายท่อคอลลิเมเตอร์และต้นกำเนิด นิวตรอนเท่ากับ 0, 2 และ 4 เซนติเมตร.....	69

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่างที่มีปริมาณ แคลเซียมสูงและจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม.....	70
4.14 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมา จากการทดสอบความสูงของ ตัวอย่างปริมาณแคลเซียมสูง.....	71
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่างที่มีปริมาณ แคลเซียมต่ำและจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม.....	72
4.16 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมา จากการทดสอบความสูงของตัวอย่าง ปริมาณแคลเซียมต่ำ.....	73
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างและ จำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม.....	75
4.18 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมา จากตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียม ต่างกัน(จากการทดลองที่ 4.1).....	75
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมและจำนวนนับ รังสีสุทธิของแคลเซียมที่ใช้ในการเปรียบเทียบ.....	77
4.20 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน(จากการ ทดลอง 4.2).....	77
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในตัวอย่างและจำนวน นับรังสีสุทธิของเหล็ก.....	79
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก และจำนวนนับรังสี สุทธิของเหล็กที่ใช้ในการเปรียบเทียบ.....	81
4.23 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน(จากการ ทดลอง 5.2).....	81
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้วัด และ P/B ratio.....	82
4.25 สเปกตรัมของอะลูมิเนียม จากระบบวิเคราะห์ที่เลือกใช้.....	83

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่าง และจำนวนนับรังสีสุทธิของอะลูมิเนียม ที่ใช้ในการปรับเทียบในการ ทดสอบครั้งที่ 1.....	85
4.27 สเปกตรัมของอะลูมิเนียม จากตัวอย่างที่มีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน (จากการทดลองที่ 3).....	85
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณอะลูมิเนียมและจำนวนนับ รังสีสุทธิของอะลูมิเนียม ที่ใช้ในการปรับเทียบ.....	87