

81

การหาปริมาณไฮโดรเจนโดยการวัดรังสีพร้อมดัมมา พลังงาน 2.223 MeV

จากปฏิกิริยา ${}^1\text{H} (n, \gamma) {}^2\text{H}$



นายถาวร สุนทรปกาสิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-204-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 16132634

DETERMINATION OF HYDROGEN CONTENT BY MEASURING 2.223 MeV
PROMPT GAMMA-RAY FROM $^1\text{H} (n, \gamma) ^2\text{H}$ REACTION

Mr. Kumton Soontopagasid

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-631-204-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาปริมาณไฮโดรเจนโดยการวัดรังสีพรอมต์แกมมา

พลังงาน 2.223 MeV จากปฏิกิริยา $^1\text{H} (\text{n}, \gamma) ^2\text{H}$

โดย

นายกำธร สุนทรปกาสิต

ภาควิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุดสุวรรณ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

กรรมการ

.....
(อาจารย์อรรถพร ภัทรสมันต์)

กรรมการ

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

กำธร สุนทรปกาสิต : การหาปริมาณไฮโดรเจนโดยการวัดรังสีพรอมต์แกมมาพลังงาน 2.223 MeV จากปฏิกิริยา ${}^1\text{H}(n,\gamma){}^2\text{H}$ (DETERMINATION OF HYDROGEN CONTENT BY MEASURING 2.223 MeV PROMPT GAMMA-RAY FROM ${}^1\text{H}(n,\gamma){}^2\text{H}$ REACTION) อ.ที่ปรึกษา : ผ.ศ.เนเรศร์ จันทน์ขาว, 90 หน้า. ISBN 974-631-207-9

การวิจัยนี้เป็นการทดลองหาปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างของเหลว โดยการวัดรังสีพรอมต์แกมมาพลังงาน 2.223 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์จากไฮโดรเจน นิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนชนิดอะเมริเซียม-เบริลเลียม ความแรง 3.33 กิกะเบคเคอเรล (90 มิลลิคูรี) ถูกท่วงพลังงานโดยใช้กราฟไฟต์เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนของไฮโดรเจนจากตัวท่วงนิวตรอนที่เป็นสารประกอบไฮโดรเจน โดยมีตัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) ขนาด 5 นิ้ว X 5 นิ้ว สำหรับวัดรังสีแกมมา ได้ทำการศึกษาผลของตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี ตำแหน่งของตัววัดรังสี ปริมาตรของตัวอย่าง และขนาดของภาชนะใส่ตัวอย่าง ต่อความเข้มรังสีแกมมา ตัวอย่างของเหลวที่นำมาทดสอบในการวิจัยนี้ เช่น น้ำชนิดหนัก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายแอมโมเนีย และน้ำมันพาราฟิน ชัดจำกัดในการวัดปริมาณไฮโดรเจนในน้ำชนิดหนักและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.383 และ 0.234 โดยโมล ตามลำดับ สำหรับเวลาในการนับรังสี 5000 วินาที นอกจากนี้ได้ทดลองวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากตัวอย่างถ่านหินที่บดแล้ว จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีปริมาณไฮโดรเจนประมาณร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก และพบว่าสามารถเห็นพีครังสีแกมมาพลังงาน 2.223 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ได้ชัดเจนภายหลังการหักลบแมคกราวด์ออกแล้ว ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้วิธีนี้สำหรับการหาปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบไฮโดรเจนโดยไม่ทำลายตัวอย่าง และให้ผลได้รวดเร็ว



ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2537

ลายมือชื่อนิสิต *Thi Luangthana*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *พญ. อัทสนันท์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม =

C518122 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: GRAPHITE MODERATOR/ HYDROGEN/ NEUTRON CAPTURE/PROMPT GAMMA-RAY
KAMTON SOONTONPAGASID : DETERMINATION OF HYDROGEN CONTENT BY
MEASURING 2.223 MeV PROMPT GAMMA-RAY FROM $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$ REACTION.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NARES CHANKOW, M. Eng. 90 pp.
ISBN 974-631-207-9

A method for determining hydrogen content in liquid samples by measurement of 2.223 MeV prompt captured gamma-rays from hydrogen was investigated. Fast neutrons from a 3.33 GBq (90 mCi) $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ neutron source were moderated by using graphite so as to avoid interference from hydrogen in homogeneous moderator. A 5 in. X 5 in. NaI(Tl) scintillation detector was used to detect the gamma-rays. The effect of the source position, the detector position, the sample volume and the size of the sample container on the gamma-ray intensity was also investigated. The liquid samples such as heavy water, hydrogen peroxide, ammonia solution and paraffin oil were used for testing in this research. The detection limits of hydrogen content in heavy water and hydrogen peroxide for 5000 second counting time were found to be 0.518 and 0.343 % by mole respectively. Furthermore, the method was also applied to 3 ground coal samples with total hydrogen content of about 6 % by weight. The 2.223 MeV gamma-ray peak was clearly seen after background subtraction. The results indicated the possible use of this method for nondestructive and rapid determination of hydrogen content in hydrogen homogeneous materials.



ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....

สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....

ปีการศึกษา.....2537.....

ลายมือชื่อนิสิต *Pior Suntham*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *น.พ. น.พ. ช. น.พ.*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ และการสนับสนุนของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ขอขอบพระคุณอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรีกษา และ ตรวจสอบรายงานการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคุณบัญญัติ อุนพานิช ที่กรุณาให้ คำแนะนำปรีกษาเกี่ยวกับการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณอุทิศ ทองกลิ้ง ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับเครื่องบดตัวอย่าง และเครื่องสุ่มตัวอย่าง

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความเมตตา กรุณา เป็นกำลังใจ ให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	2
ขั้นตอนการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
สถานที่ทำการวิจัย	3
การสำรวจงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้กระทำมาแล้ว	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคพรอมต์แกมมาเอกติเวชัน	12
ต้นกำเนิดนิวตรอน	13
พลังงานของนิวตรอน	16
ปฏิกิริยานิวเคลียร์ของนิวตรอน	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 (ต่อ)	
การเกิดไอโซโทปกัมมันตรังสีและการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี	23
ภาคตัดขวาง	26
อันตรกิริยาของรังสีแกมมา กับสสาร	29
อุปกรณ์การวัดรังสีแกมมา	35
เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยวิธีนิวตรอนแคปเจอร์พรอมต์แกมมาเอกติเวชัน	37
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย	
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	41
วิธีดำเนินงานวิจัย	44
ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน	
และแบบคร่าวๆ	46
การสร้างกราฟเปรียบเทียบและการทดลองหาปริมาณไฮโดรเจนในสารตัวอย่าง	50
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการทดลอง	
ผลการศึกษานาฬิกาขณะที่ใช้ในการบรรจุตัวอย่าง	52
ผลการศึกษาดำแหน่งในการวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน	54
ผลการศึกษาดำแหน่งในการวางหัววัดรังสี NaI(Tl)	58
ผลการศึกษาปริมาตรของตัวอย่าง	60
ผลการศึกษาทดสอบปริมาณไฮโดรเจนในน้ำ	64
ผลการศึกษาการวัดรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ	
ของน้ำชนิดหนัก	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 (ต่อ)	
ผลการศึกษาการวัดรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	68
ผลการศึกษาการวัดรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนในตัวอย่างต่างๆ	71
ผลการศึกษาการวัดรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนในถ่านหิน	72
การหาค่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์	73
บทที่ 5 บทสรุป วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ	
สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย	76
ข้อเสนอแนะ	77
รายการอ้างอิง	79
ภาคผนวก	82
ประวัติผู้เขียน	90

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์	10
2.1	แสดงต้นกำเนิดนิวตรอนแบบ α -emitter source	14
2.2	แสดงต้นกำเนิดนิวตรอนแบบ Photonuclear sources	15
2.3	ปฏิกิริยาผลิตนิวตรอนของเครื่องเร่งอนุภาค	16
2.4	คุณสมบัติของธาตุในการลดพลังงานของนิวตรอน	20
4.1	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนกับภาชนะขนาดต่าง ๆ	52
4.2	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในการต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน	55
4.3	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในการวางหัววัดรังสี	58
4.4	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ปริมาตรต่าง ๆ ของตัวอย่าง	61
4.5	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่วัดได้จากน้ำ	64
4.6	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ น้ำชนิดหนัก	65
4.7	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	69
4.8	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจนต่าง ๆ	72
4.9	ความเข้มของรังสีฟอรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของถ่านหินที่มีเปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจนต่าง ๆ	73

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังอุปกรณ์วัดความชื้นและปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างขนาดเล็ก ของ Wada (1974)	4
1.2	แผนผังอุปกรณ์วัดปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างขนาดเล็ก ที่ใช้ในงานวิจัย ของ Wada (1976)	5
1.3	แผนผังอุปกรณ์หาปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างขนาดเล็ก ที่ใช้ในงานวิจัย ของ Wada (1978)	6
1.4	แผนผังการจัดอุปกรณ์วัดปริมาณ H_2SO_4 โดยวิจัยการหน่วงพลังงาน และ การกระเจิงกลับของนิวตรอนพลังงานปานกลาง ของ Ciechanowski et al.	7
1.5	แผนผังอุปกรณ์หาปริมาณน้ำชนิดหนักที่ใช้ในงานวิจัยของ Wada (1988)	8
1.6	แผนผังการวัดปริมาณของธาตุต่าง ๆ ด้วยวิธีนิวตรอนพรมต์แกมมา เอกติเวชัน ที่ใช้ในงานวิจัยของ Yuren et al. (1994)	9
2.1	แสดงภาคตัดขวางรวมต่ออะตอมไฮโดรเจนของน้ำสำหรับพลังงานของ นิวตรอน ในช่วง 0.002 ถึง 100 eV	28
2.2	แสดงภาคตัดขวางรวมของนิวตรอนสำหรับไฮโดรเจนในช่วง 0.01 ถึง 100 MeV	28
2.3	แสดงภาคตัดขวางรวมของวัสดุคูกกลืนนิวตรอนบางชนิด ที่พลังงานต่าง ๆ ของนิวตรอน	29
2.4	แสดงกระบวนการเกิดโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคต์	30
2.5	แสดงสเปกตรัมที่วัดได้จากกระบวนการเกิดโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคต์	31
2.6	แสดงกระบวนการเกิดการกระเจิงคอมป์ตัน	33
2.7	แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่วัดได้จากกระบวนการเกิด การกระเจิงคอมป์ตัน	33
2.8	แสดงกระบวนการเกิดอิเล็กตรอนคู่ และปรากฏการณ์ Annihilation	34

รูปที่		หน้า
2.9	แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่วัดได้ จากกระบวนการเกิดอิเล็กตรอนคู่	34
2.10	รูปภาพแสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบวัดรังสีแกมมา	36
2.11	แสดงลักษณะของหัววัดรังสีชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (ทาลเลียม) พร้อมหลอดทวิคูณอิเล็กตรอน	36
3.1	ภาชนะขนาดต่าง ๆ สำหรับใส่ตัวอย่าง ทำด้วย สเตนเลส สตีล	43
3.2 (ก)	MCA Card ของ Nuclear Data รุ่น ND-NSIC 50-1327-01	43
3.2 (ข)	เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์	43
3.3	แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบอาบรังสีนิวตรอน	44
3.4	แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฮโดรเจน โดยวิธีวัดรังสีพรอมต์แกมมา	44
3.5	แผนผังการจัดระบบวัดรังสีพรอมต์แกมมา	45
3.6	ระบบอาบรังสีนิวตรอนในระยะที่เริ่มศึกษาวิจัย	46
3.7	แผนภาพแสดงระบบอาบรังสีนิวตรอนสำหรับภาชนะขนาดต่าง ๆ	47
3.8	แผนภาพแสดงตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน	48
3.9	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมา NaI(Tl)	49
3.10	แผนภาพแสดงระบบอาบรังสีนิวตรอนและระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัย	50
4.1	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนสำหรับภาชนะ ขนาด 4 นิ้ว X 5 นิ้ว	53
4.2	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนสำหรับภาชนะ ขนาด 5 นิ้ว X 6 นิ้ว	53
4.3	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจนสำหรับภาชนะ ขนาด 7.5 นิ้ว X 8.5 นิ้ว	54
4.4	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางต้นกำเนิดรังสี นิวตรอนที่ระยะ 11 เซนติเมตร	55
4.5	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางต้นกำเนิดรังสี นิวตรอนที่ระยะ 13 เซนติเมตร	56

รูปที่	หน้า
4.6	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางต้นกำเนิดรังสี นิวตรอนที่ระยะ 16 เซนติเมตร 56
4.7	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางต้นกำเนิดรังสี นิวตรอนที่ระยะ 18 เซนติเมตร 57
4.8	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางต้นกำเนิดรังสี นิวตรอนที่ระยะ 21 เซนติเมตร 57
4.9	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางหัววัดรังสี ที่ระยะ 0 เซนติเมตร 59
4.10	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางหัววัดรังสี ที่ระยะ 2 เซนติเมตร 59
4.11	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน จากการวางหัววัดรังสี ที่ระยะ 4 เซนติเมตร 60
4.12	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ของตัวอย่าง 61
4.13	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ของตัวอย่าง 62
4.14	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ปริมาตร 950 มิลลิลิตร ของตัวอย่าง 62
4.15	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ของตัวอย่าง 63
4.16	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่ปริมาตร 1130 มิลลิลิตร ของตัวอย่าง 63
4.17	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ที่วัดได้จากน้ำ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร 64
4.18	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของน้ำชนิดหนัก ที่ความเข้มข้น 0.015 % 66

รูปที่	หน้า
4.19	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของน้ำชนิดหนัก ที่ความเข้มข้น 5 % 66
4.20	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของน้ำชนิดหนัก ที่ความเข้มข้น 10.0 % 67
4.21	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของน้ำชนิดหนัก ที่ความเข้มข้น 15.75 % 67
4.22	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมาสุทธิ และ เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนในน้ำชนิดหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ปริมาตรตัวอย่าง 1000 มิลลิลิตร 68
4.23	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 15 % 69
4.24	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 25 % 70
4.25	สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาของไฮโดรเจน ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 35 % 70
4.26	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมาสุทธิ และ เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร 71