การหาปริมาณสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

นางสาวเพ็ญนภา เครือเขียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543
ISBN 974-347-091-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF GAMMA-RAY EMITTERS IN PRIMARY WATER COOLANT OF THE THAI RESEARCH REACTOR TRR-1/M1

Miss Pennapa Kruakheo

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2000
ISBN 974-347-091-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาปริมาณสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย
โดย	นางสาว เพ็ญนภา เครือเขียว
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นาย โกมล เซียสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทรโยธา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นาย โกมล เซียสกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สัญชัย นิลสุวรรณโฆษิต)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพ็ญนภา เครือเขียว : การหาปริมาณสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 . (DETERMINATION OF GAMMA-RAY EMITTERS IN PRIMARY WATER COOLANT OF THAI RESEARCH REACTOR TRR-1/M1) อ. ที่ปรึกษา : รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว , อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายโกมล เซียสกุล จำนวนหน้า 61 หน้า . ISBN 974-347-091-3

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 โดยใช้สารละลายเรเดียม-226 ปริมาตร 1 ลิตร ความแรงรังสีรวม 22280.748 เบคเคอเรล เป็นสารรังสีมาตรฐาน หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) ขนาด 3 นิ้ว x 3 นิ้ว ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในตำแหน่งและเงื่อนไขต่างๆกัน โดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่างน้ำไปวัดรังสีและวิธีใช้ระบบเก็บตัวอย่างโดยอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมโดยพีแอลซี จากการวิจัยพบว่า มีไอโซโทปที่ปล่อยรังสีแกมมาจำนวน 3 ชนิด คือ โซเดียม-24 แมกนีเซียม–56 และอาร์กอน-41 ซึ่งมีความแรงรังสีอยู่ในช่วง 12139-43174 , 6882 – 12586 และ 450396 – 646152 เบคเคอเรลต่อลิตร ตามลำดับ จากการวิจัยโดยสุ่มเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งและระดับความลึกต่างๆ พบว่า ความแรงรังสีของสารปล่อยรังสีแกมมาทั้งสามชนิด ไม่ขึ้นกับบริเวณที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ความสัมพันธ์ของความแรงรังสีกับกำลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์ยังได้ผลไม่แน่นอน เนื่องจากข้อมูลไม่สามารถสรุปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่อนิสิต……..
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา……
ปีการศึกษา 2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม……..

4070361121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: REACTOR / REACTOR POOL / COOLING SYSTEM / GAMMA EMITTERS / PLC

PENNAPA KRUAKHEO : DETERMINATION OF GAMMA-RAY EMITTERS IN PRIMARY WATER COOLANT OF THAI RESEARCH REACTOR TRR-1/M1 (DETERMINATION OF GAMMA-RAY EMITTERS IN PRIMARY WATER COOLANT OF THAI RESEARCH REACTOR TRR-1/M1) THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. NARES CHANKOW , THESIS COADVISOR : KOMOL SAESAKUL , 61 pp. ISBN 974-347-091-3

This research was carried out to investigate type and amount of gamma-ray emitters in the primary water coolant of the Thai Research Reactor (TRR-1/M1). Water samples were collected at different positions and conditions manually and by using an automatic sampling system controlled by PLC.The samples were then analysed by a 3" x 3" NaI(Tl) detector using 1 l Ra-226 standard solution of 22280.748 Bq total activity as the standard solution. Three elements were found to be the gamma-ray emitters , namely , Na-24 , Mn-56 and Ar-41 within the range of activities 12139-43174 , 6882 – 12586 and 450396 – 646152 Bq/l respectively.

It was also found that the activities released by these three emitters were not dependent on position and depth in the reactor pool where samples were collected. However,the relation between activities and reactor power were currently, not of certainly due to lack of data collected for the analysis.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Nuclear Technology Student's signature..……..

Field of study Nuclear Technology Advisor's signature……

Academic Year 2000 Co-advisor's signature ……..

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ คุณโกมล เซียสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษา แนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ มาโดยตลอด อาจารย์ทุกท่านที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ผู้ทำวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่อำนวยความสะดวกด้วยดี ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ กองสุขภาพ และกองปฏิกรณ์ปฏิบัติ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำวิจัย และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยทุกอย่าง ขอขอบคุณข้าราชการกองสุขภาพทุกท่านที่ให้คำแนะนำโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณคูณ สุทธศิริและคุณรุ่งธรรม ทาคำ ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการเก็บตัวอย่าง และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ความห่วงใยและกำลังใจ

ท้ายที่สุดขอขอบคุณ บิดา มารดาและครอบครัวที่ให้ความห่วงใย ดูแล และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1. ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3. ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 2

1.5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

1.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2. ทฤษฎี 4

2.1. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู 4

2.1.1. ความหมายของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู 4

2.1.2. ประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู 4

2.1.3. การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (Fission Chain Reaction) ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู 5

2.1.4. การควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ 5

2.2. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1) 6

2.2.1. ประวัติ 6

2.2.2. ส่วนประกอบหลักของเครื่องปฏิกรณ์ 7

2.3. การเกิดสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อน 10

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
3.	วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย..... ……	16
	3.1. วัสดุและอุปกรณ์วิจัย……..……	16
	3.1 วิธีดำเนินการวิจัย.....…….....	18
	3.1.1 การปรับเทียบระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา…….	18
	3.1.2 การแก้การรบกวนของรังสีแกมมาจากโซเดียม-24 ต่อรังสีแกมมาจาก……. อาร์กอน-41…….....	18
	3.1.3 การออกแบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติ.....	18
	3.1.4 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์รังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำ….....	19
4	ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย..... ……..……	23
	4.1 ผลการหาค่าประสิทธิภาพของระบบวัด…….……....	23
	4.2 ผลการค่าแก้การรบกวนของรังสีแกมมาจากโซเดียม-24 ต่อรังสีแกมมาจาก…..... อาร์กอน-41……..……	25 24
	4.3 ผลทดสอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติ.....……	25
	4.4 ผลการวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของ…….. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย.....……..	25
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ……..……	34
	5.1 ข้อสรุปและวิจารณ์……..	34
	5.1.1 ค่าประสิทธิภาพของระบบวัด…….……....	34
	5.1.2 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาที่พบในตัวอย่าง…….. น้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยโดย…… วิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี…….	35
	5.1.3 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาที่พบในตัวอย่าง…….. น้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยโดย…… วิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง…..…….	36

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1.4 ค่าความแรงรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ…….. 38
หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ เป็นเวลา……..
2 4 6 8 10 และ 12 โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี……..…

5.1.5 ค่าความแรงรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ…….. 38
หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ เป็นเวลา……
2 4 6 8 10 และ 12 โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง……..…

5.1.6 ค่าความแรงรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ…… 39
ขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 700 1,000 และ 1,200 กิโลวัตต์…….
โดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง…..

5.2 ข้อเสนอแนะ…….…….. 40

รายการอ้างอิง …… 41

ภาคผนวก ……. 42

ภาคผนวก ก - สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมา…….…….. 43

ภาคผนวก ข - คุณสมบัติของหัววัดโซเดียมไอโอไดด์(แทลเลียม).....…… 53

ภาคผนวก ค - การสลายตัวของเรเดียม-226…….....…. 55

ภาคผนวก ง - การโปรแกรมคำสั่งของเครื่อง PLC.....…… 58

ประวัติผู้วิจัย…….. 61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สารกัมมันตรังสีที่พบในขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 ที่กำลัง1,200 KW..... 11

4.1 จำนวนนับรังสีสุทธิและประสิทธิภาพในการนับรังสีแกมมา..... 24
จากสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร.....

4.2 ผลการหาค่าแก้การรบกวนของรังสีแกมมาจากโซเดียม-24 ต่อ รังสีแกมมา..... 25
จากอาร์กอน-41.....

4.3 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับผิวน้ำ..... 27
ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี.....

4.4 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก..... 27
จากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย.....
วิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี.....

4.5 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก..... 28
จากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย.....
วิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี.....

4.6 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับผิวน้ำ..... 28
ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง.....

4.7 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก..... 28
จากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย.....
วิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง.....

4.8 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก..... 28
จากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย.....
วิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง.....

4.9 ความแรงรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับผิวน้ำ..... 29
ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบไปวัดรังสี.....

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.10 ความแรงรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก.. 29
จากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย…….
วิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี…..……...…
4.11 ความแรงรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก…… 29
จากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย…….
วิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี……..……..……
4.12 ความแรงรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับผิวน้ำ…… 30
ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง…….
4.13 ความแรงรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก.. 30
จากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย…….
วิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง…..……
4.14 ความแรงรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A B C D ที่ระดับความลึก…… 30
จากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์โดย…….
วิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง..…..……..…….
4.15 ผลการวัดรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A ซึ่งวัดที่ระดับผิวน้ำ……..…… 31
หลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 2 4 6 8 10 และ 12 ชั่วโมง…….
ที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี……..…
4.16 ผลการวัดรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A ซึ่งวัดที่ระดับผิวน้ำ……..…… 31
หลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 2 4 6 8 10 และ 12 ชั่วโมง…….
ที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง…..……..…
4.17 ผลการวัดรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ซึ่งวัดที่ระดับผิวน้ำ……. 32
หลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 2 4 6 8 10 และ 12 ชั่วโมง…….
ที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี……..……..…

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.18 ความแรงรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ซึ่งวัดที่ระดับผิวน้ำ..... 32
หลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 2 4 6 8 10 และ 12 ชั่วโมง.....
ที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี.....
4.19 ผลการวัดรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ซึ่งวัดที่ระดับผิวน้ำ..... 33
หลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....
ที่กำลัง 700 900 และ 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง.....
4.20 ความแรงรังสีวัดรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ซึ่งวัดที่ระดับผิวน้ำ..... 33
หลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....
ที่กำลัง 700 900 และ 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 อาคารปฏิกรณ์ (REACTOR BUILDING)……. 12
2.2 บ่อปฏิกรณ์ (REACTOR POOL)…… 13
2.3 ระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ……. 14
2.4 รูปจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1)…….. 15
3.1 แผนผังอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี…… 17
3.2 แผนผังอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย PLC…….. 19
3.3 แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง……. 20
3.4 ภาพอุปกรณ์หลักของระบบวัดรังสีแกมมา…… 20
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการนับวัดรังสีแกมมา…… 24
กับค่าพลังงานของรังสีแกมมา……..

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยทุกครั้ง จำเป็นต้องมีมาตรการการเฝ้าระวังความปลอดภัยของระบบต่างๆ ทั้งก่อนการเดินเครื่องและในระหว่างที่เครื่องกำลังเดินอยู่ หากพบสิ่งผิดปกติจะได้ทำการแก้ไขได้ทันท่วงที การวัดไอโซโทปรังสีในน้ำระบายความร้อนเป็นอีกทางหนึ่งที่สามารถทราบถึงความผิดปกติของเครื่องปฏิกรณ์ได้ Na-24 , Mn-56 และ Ar-41 เป็นไอโซโทปรังสีที่พบในน้ำระบายความร้อน Na-24 เกิดจากปฏิกิริยาของนิวตรอนเร็วกับอะลูมิเนียมซึ่งเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของแกนของเครื่องปฏิกรณ์ (threshold 3.13 MeV) โดยปฏิกิริยา $^{27}Al\,(n,\alpha)\,^{24}Na$ Mn-56 เกิดจากนิวตรอนทำปฏิกิริยากับโลหะเหล็กซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกหุ้มชื้อเพลิง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ $^{56}Fe(n,p)\,^{56}Mn$ Ar-41 เกิดจาก Ar-40 ซึ่งละลายอยู่ในน้ำจับนิวตรอนช้าได้ ^{41}Ar ปฏิกิริยาคือ $^{40}Ar\,(n,\gamma)\,^{41}Ar$ ไอโซโทปรังสี Na-24 สลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1369 keV , 2754 keV Mn-56 สลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 847 keV , 1811 keV และ Ar-41 สลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1294 keV

ในการวัดไอโซโทปรังสีนั้นทำโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี ซึ่งไม่สามารถควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากวิธีการเก็บตัวอย่างได้ และการเก็บตัวอย่างไปวัดรังสีนั้นไม่สะดวกต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาเทคนิคการเก็บตัวอย่างโดยวิธีเก็บตัวอย่างอัตโนมัติ ซึ่งใช้ PLC เป็นตัวควบคุมการเก็บตัวอย่าง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาเทคนิคการวัดความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของสารปล่อยรังสีแกมมากับตัวแปรกำลังเครื่องปฏิกรณ์และตำแหน่งที่สุ่มตัวอย่าง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัดความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาได้แก่ Na-24 , Mn-56 และ Ar-41 ฯลฯ ในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมาแบบหลายช่อง และหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์

1.3.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมา ในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 กับตัวแปรกำลังเครื่องปฏิกรณ์และตำแหน่งที่สุ่มตัวอย่าง

1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาพื้นฐานระบบเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

1.4.1.1 โครงสร้าง/ส่วนประกอบโดยสังเขป

1.4.1.2 กำลังและเวลาในการเดินเครื่องปฏิกรณ์

1.4.1.3 ระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์

1.4.1.4 การเกิดไอโซโทปรังสี (radioisotope) ในน้ำระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์

1.4.2. จัดเตรียมอุปกรณ์วัดและวิเคราะห์รังสีแบบต่อเนื่อง

1.4.2.1 อุปกรณ์วัดและวิเคราะห์รังสี

1.4.2.2 อุปกรณ์สุ่มตัวอย่างน้ำแบบอัตโนมัติควบคุมด้วย PLC

1.4.3 ปรับเทียบระบบวัดและวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

1.4.4 วัดความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยที่เงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ตัวแปรกำลังเครื่องปฏิกรณ์และตำแหน่งที่สุ่มตัวอย่าง

1.4.5 สรุปและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ได้เทคนิคการวัดความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

1.5.2 ได้ข้อมูลพื้นฐานในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ฝ่ายป้องกันอันตรายจากรังสี กองสุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้ทำการวัดน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมาที่ใช้หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (high purity germanium , HPGe) เพื่อตรวจหาสารปล่อยรังสีแกมมาน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ ไอโซโทปรังสีที่พบได้แก่ Na-24 , Mn-56 และ Ar-41

1.6.2 Idris Bin Besar [5] ได้ทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยโอเรกอนสเตทในปี 1981 โดยติดตั้งระบบเพื่อตรวจวัดค่าความแรงรังสีสำหรับน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย TRIGA ขนาด 1 เมกกะวัตต์ ซึ่งใช้ระบบวัดที่มีหัววัดรังสีแกมมาเจอร์มาเนียม (ลิเธียม) และใช้สารละลาย Eu-152 เป็นมาตรฐาน ได้ความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย คือ Ar-41 = 6.16×10^{-4} $\mu Ci\ ml^{-1}$
Mn-56 = 1.15×10^{-4} $\mu Ci\ ml^{-1}$ และ Na-24 = 1.40×10^{-4} $\mu Ci\ ml^{-1}$

1.6.2 วิทิต เกษคุปต์ [8] กองสุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้ทำการตรวจสอบการรั่วของแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 ในระหว่างการหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์เพื่อซ่อมบำรุงประจำปี โดยการให้น้ำไหลวนเวียนแท่งเชื้อเพลิง แล้วเก็บน้ำตัวอย่างเมื่อมีการไหลเวียนแล้ว 3 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง นำมาวัดรังสีโดยแบ่งตัวอย่างน้ำที่เก็บมาเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งวัดรังสีทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง ส่วนที่สองนำไปเคี่ยวให้แห้งเหลือปริมาตรเพียง 5 ลูกบาศ์กเซนติเมตร นำไปอบให้แห้งแล้วจึงนำไปวัดรังสี ปรากฏว่าพบแท่งเชื้อเพลิงที่รั่วมากสมควรเปลี่ยน 5 แท่ง

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

2.1.1 ความหมายของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู คือ อุปกรณ์ที่ปฏิกิริยาลูกโซ่สามารถที่จะรักษาสภาพให้คงอยู่ และสามารถที่จะควบคุมปฏิกิริยาได้ มีองค์ประกอบที่สำคัญๆ คือ แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (Reactor Core) แท่งเชื้อเพลิง (Fuel Elements) ปกติแล้ว จะมีตัวหน่วงความเร็วนิวตรอน (Moderator) ตัวสะท้อนนิวตรอน (Reflector) สิ่งกำบังรังสี (Shielding) ตัวระบายความร้อน (Coolant) และอุปกรณ์กลควบคุมปฏิกิริยา (Control Mechanisms) ในบางครั้งเราเรียกเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูว่า "เตาปฏิกรณ์ปรมาณู" (Atomic Furnace)

ความหมายโดยสรุปแล้ว เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูก็คือ แหล่งกำเนิดอนุภาคนิวตรอนจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาลูกโซ่นั่นเอง

2.1.2 ประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (Research Reactor) และเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูกำลัง (Power Reactor) ซึ่งแต่ละประเภทยังแยกออกเป็นแบบต่างๆ อีกมากมายตามลักษณะและจุดประสงค์ของการใช้งาน สำหรับความแตกต่างระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย และเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูกำลัง แตกต่างกันมาก กล่าวคือ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย มุ่งใช้ประโยชน์จากนิวตรอน ความร้อนที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจะถูกระบายทิ้งไป ตรงข้ามกับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูกำลังซึ่งมุ่งใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เกิดขึ้น โดยนำพลังงานความร้อนเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า อีกทั้งกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบนี้ ก็ใหญ่กว่าเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยมาก กล่าวคือเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยจะมีกำลังอยู่ในช่วงประมาณไม่เกิน 30 เมกะวัตต์ความร้อน ส่วนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูกำลังสำหรับผลิตไฟฟ้า จะมีกำลังอยู่ในช่วงประมาณ 500-1200 เมกะวัตต์ความร้อน

2.1.3 การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (Fission Chain Reaction) ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

ปฏิกิริยาลูกโซ่ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเกิดขึ้นได้ เนื่องจากนิวเคลียส (Nucleus) ของวัสดุนิวเคลียร์พิเศษ (Special nuclear material) เช่น พลูโทเนียม-239 , ยูเรเนียม-233 หรือ ยูเรเนียม-235 ดูดจับเอานิวตรอน แล้วจะทำให้นิวเคลียสแตกตัว พร้อมกับปลดปล่อยนิวตรอนเพิ่มขึ้นมาอีก 2-3 ตัว และพลังงานประมาณ 200 MeV ในกรณีที่ความเข้มข้นของ วัสดุนิวเคลียร์เหล่านี้สูงเพียงพอที่เรียกว่ามวลวิกฤต (critical mass) นิวตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมานี้ ก็มีโอกาสถูกจับโดยนิวเคลียสของอะตอมอื่นๆ อีก ปฏิกิริยาก็เกิดซ้ำอีกจนเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้จำนวนนิวตรอนเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อยๆ ปฏิกิริยาเช่นนี้จะรักษาสภาพตัวมันเอง (self-sustaining) เมื่อจำนวนนิวตรอนที่ปลดปล่อยออกมาในเวลาหนึ่งๆ เท่ากับหรือใกล้เคียงกับจำนวนนิวตรอนที่หายไป โดยการถูกจับเข้าไปในวัสดุที่ไม่สามารถแตกตัวได้ (non-fissioning material) หรือโดยการหนีออกไปจากระบบ

2.1.4 การควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่

ถ้าหากปล่อยให้มีปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปเรื่อยๆ ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู จำนวนนิวตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากปฏิกิริยา ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ พลังงานความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาก็จะสะสมขึ้นในแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมากขึ้น จนอาจทำให้แกนเครื่องปฏิกรณ์ร้อนขึ้นเป็นลำดับ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปฏิกิริยาให้คงที่ในระดับกำลังที่เหมาะสม โดยการใช้ตัวดูดจับนิวตรอน (Neutron Absorber) ทำเป็นแท่งใส่เข้าไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯเรียกว่า “ แท่งควบคุม (Control rod) ” ในการควบคุม ถ้าต้องการเพิ่มปฏิกิริยา ก็ดึงแท่งควบคุมขึ้นจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ถ้าต้องการลดปฏิกิริยาหรือดับเครื่องปฏิกรณ์ฯก็ปล่อยแท่งควบคุมลงไปเรื่อยๆจนสุด

จากหลักการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ และการควบคุมปฏิกิริยานี้ จึงเป็นที่มาของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (Nuclear Reactor)

2.2 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1)

2.2.1 ประวัติ

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1) (THAI RESEARCH REACTOR-1/MODIFICATION 1 (TRR-1/M1)) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ฯ แบบ TRIGA Mark III (Training Research Reactor and Isotope Production) สร้างโดยบริษัท General Atomic ประเทศสหรัฐอเมริกา สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติได้เริ่มติดตั้งตั้งแต่วันที่ 29 กันยายน 2520 เครื่องปฏิกรณ์ฯถึงระดับวิกฤต (Critical) วันที่ 7 พฤศจิกายน 2520 มีมวลวิกฤต (Critical Mass) ของ U-235 เท่ากับ 2697.06 กรัม และได้รับการบรรจุแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มลงในแกนเครื่องฯครบ 100 แท่ง เพื่อเดินเครื่องฯจริง วันที่ 9 พฤศจิกายน 2520 รวมมวลของ U-235 ที่บรรจุครั้งแรกทั้งหมด 3789.96 กรัม

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์ฯคือ

ก. งานผลิตไอโซโทป (Radioisotope) เพื่อใช้ในทางการแพทย์ เช่น ไอโอดีน-131 ซึ่งทำการเดินเครื่องที่กำลัง 1200 kW เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ข. งานทดลองการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน (Neutron Radiography, NR) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของการทดสอบโดยไม่ทำลายชิ้นงาน (Non-destructive Testing, NDT) ซึ่งทำการเดินเครื่องที่กำลัง 500 700 และ 900 กิโลวัตต์

ค. งานศึกษาด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ (Nuclear Physics)

ง. การกระเจิงนิวตรอน (Neutron Scattering, NS)

จ. งานการวิเคราะห์ธาตุ โดยใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ (Neutron Activation Analysis, NAA) เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

ฉ. การวิเคราะห์แกมมาเฉียบพลัน (Prompt Gamma Analysis, PGA)

ช. การฝึกอบรมสำหรับเจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor Operator Training) เพื่อเป็นเจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบวิจัยและยังเป็นเครื่องมือสำหรับการศึกษาในด้านต่างๆของเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อเตรียมการสำหรับโครงการโรงไฟฟ้าปรมาณูอีกด้วย

2.2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องปฏิกรณ์

ก. บ่อปฏิกรณ์ (Reactor Pool)

บ่อปฏิกรณ์เป็นบ่อเปิด รูปสี่เหลี่ยม ทำจากคอนกรีตชนิดที่มีความหนาแน่นสูง กว้าง 3.5 เมตร ยาว 12 เมตร ลึก 8.5 เมตร ผนังบ่อส่วนล่างสุดหนา 1.35 เมตร และลดความหนาเป็นขั้นๆ ตามความสูง ผนังบ่อด้านบนสุดหนา 45 เซนติเมตร ความจุของบ่อ 245 ลูกบาศก์ ตัวบ่อสามารถกั้นแยกเป็นสองส่วนด้วยประตูน้ำขนาดใหญ่ เพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ ในบ่อ

ข. แกนเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor Core)

โครงสร้างของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำจากอะลูมิเนียมทรงกระบอกเรียกว่า Core Shroud ห้อยจาก Reactor Bridge โดยมี Core Support Channel ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งอะลูมิเนียมรูปตัว U ขนาดใหญ่ 2 แท่งเป็นตัวยึดระหว่างแกนเครื่องฯ กับ Reactor Bridge ภายในเครื่องมีแผ่น Plate 3 แผ่น คือ Upper Grid Plate, Lower Grid Plate และ Safety Plate ทำหน้าที่ยึดและประคองส่วนประกอบต่างๆในแกนเครื่องฯได้แก่ แท่งเชื้อเพลิง แท่งควบคุม หัววัดนิวตรอน ท่ออาบรังสีในแกนเครื่องฯ และต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน (Neutron Source)

Upper Grid Plate อยู่ภายใน Core Shroud ห่างจากขอบบนประมาณ 1 เมตรทำจากแผ่นอะลูมิเนียมเจาะเป็นรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 121 รู เรียงกันในลักษณะวงแหวนหกเหลี่ยม จากศูนย์กลางจนถึงขอบ 7 วง คือวง A ถึงวง G รูเหล่านี้เจาะไว้สำหรับบรรจุแท่งเชื้อเพลิง แท่งควบคุม หัววัดนิวตรอน และท่ออาบรังสีในแกนเครื่องฯที่ขอบของ Upper Grid Plate มีรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว 3 รู เพื่อบรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน

Lower Grid Plate อยู่ภายใน Core Shroud ใต้ Upper Grid Plate ประมาณ 29 นิ้วมีลักษณะคล้าย Upper Grid Plate แต่รูที่เจาะจะมีขนาดเล็กกว่า ยกเว้นรูที่เป็นตำแหน่งของแท่งควบคุม หัววัดนิวตรอน และตำแหน่ง A-1 ซึ่งเป็นท่ออาบรังสี Central Trimble (CT)

Safety Plate อยู่ภายใน Core Shroud ตรงขอบล่าง ทำจากอลูมิเนียมเช่นเดียวกัน มีลักษณะคล้ายรูปดาวแผ่ออกไปในตำแหน่งของแท่งควบคุม หัววัดนิวตรอน และ CT เพื่อกันไม่ให้สิ่งที่บรรจุอยู่ในตำแหน่งเหล่านี้หลุดลงไปใต้แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ

แท่งเชื้อเพลิง (Fuel Element) เป็นรูปทรงกระบอก ปลายด้านบนและด้านล่างเป็น รูปสามแฉก มีปลายล่างแหลมคล้ายลูกดอก เมื่อบรรจุลงไปในรูของ Grid Plate จะเป็นช่องว่างให้น้ำ

ไหลผ่านเพื่อระบายความร้อนออกจากแท่งเชื้อเพลิงได้สะดวก ภายในบรรจุเนื้อเชื้อเพลิงชนิด 20% Enriched Uranium อัดแน่นเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.43 นิ้ว ยาว 5 นิ้ว จำนวน 3 แท่ง รวมความยาวของเนื้อเชื้อเพลิง 15 นิ้ว และถูกประกบหัวท้ายด้วยแท่งกราไฟต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.43 นิ้ว ยาว 4.3 นิ้ว แกนกลางของแท่งเชื้อเพลิงมีแท่ง Zirconium Hydride บรรจุอยู่ เปลือกหุ้มเชื้อเพลิงทำจากเหล็กไร้สนิม(Stainless steel) ความยาวทั้งหมดของแท่งเชื้อเพลิงนับจากด้านบนของแฉกด้านบนถึงแฉกด้านล่างยาว 28.8 นิ้ว ความหนาของเปลือกหุ้มเท่ากับ 0.02 นิ้ว แท่งเชื้อเพลิงรุ่นแรกมีเนื้อเชื้อเพลิงผสมอยู่ 8.5% โดยน้ำหนัก ปัจจุบันได้นำแท่งเชื้อเพลิงชนิดที่มีเนื้อเชื้อเพลิงผสมอยู่ 20% โดยน้ำหนัก (LEU) มาใช้รวมกันกับแท่งเชื้อเพลิงรุ่นแรกด้วย

แท่งเชื้อเพลิงแบบมีหัววัดอุณหภูมิภายใน (Instrumented Fuel Element) มีลักษณะและส่วนประกอบภายในเหมือนกับเชื้อเพลิงแบบมาตรฐาน แต่ภายในเนื้อเชื้อเพลิงจะมี Thermocouple ฝังอยู่ 3 หัวและสายของ Thermocouple จะโผล่ขึ้นมาด้านบนของแท่งเชื้อเพลิงซึ่งมีท่อเหล็กไร้สนิมต่ออยู่เพื่อกันน้ำเข้า และนำสายหัววัดฯมายัง Reactor Bridge

แท่งควบคุม (Control rods) มี 2 ชนิด คือ Fuel Follower Control Rod(FFCR) และ Air Follower Control Rod (AFCR) เครื่องปฏิกรณ์ฯปปว-1/1 มีแท่งควบคุมทั้งหมด 5 แท่ง คือ TRANSIENT ซึ่งเป็น AFCR ส่วนที่เหลืออีก 4 แท่ง ได้แก่ SAFETY,SHIM1,SHIM2 และ REGULATING เป็นชนิด FFCR

AFCR ทำจากกระบอกอะลูมิเนียมยาว 37.4 นิ้ว ภายในด้านบนบรรจุ Borated Graphite ยาว 1.5 นิ้ว ด้านล่างเป็นโพรงอากาศทั้งหมด

FFCR ทำจากกระบอกเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ยาว 41.75 นิ้วภายในด้านบนและด้านล่างเป็นโพรงอากาศยาวด้านละ 6.63 นิ้ว ถัดจากโพรงอากาศด้านบนลงมา 15 นิ้วบรรจุ Borated Graphite และถัดลงมาอีก 15 นิ้วบรรจุเนื้อเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับแท่งเชื้อเพลิงมาตรฐาน

แท่งควบคุมทุกแห่งมีก้านอะลูมิเนียมต่อขึ้นมาถึงระบบขับเคลื่อนแท่งควบคุมบน Reactor Bidge

ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน (Neutron Source) ทำมาจากธาตุอเมอริเซียม-เบริลเลียม (Americium-Berylium ,Am-241/Be) บรรจุอยู่ในเปลือกเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) และหุ้มด้วย Source Holder ซึ่งทำจากอะลูมิเนียมอีกชั้นหนึ่ง ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนนี้บรรจุอยู่ในรูขนาดเล็กที่ขอบของกริดเพลต Grid Plate ของแกนเครื่องฯ

นอกจากนี้ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯยังมีหัวนิวตรอนและท่ออาบรังสีต่างๆบรรจุรวมอยู่ด้วย

ค. ระบบระบายความร้อน (Cooling System)

เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบวิจัย ต้องการใช้ประโยชน์จากนิวตรอนเท่านั้น พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น จะต้องระบายออกไปจากแกนปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงต้องมี ระบบระบายความร้อน สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.1/1 ใช้ระบบระบายความร้อนแบบ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ (Natural Convection) โดยน้ำที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นผิวน้ำ แล้วถูกดูดออกไปด้วย pump ด้วยอัตราความเร็ว 750 แกลลอนต่อนาที (ประมาณ 48 ลิตรต่อวินาที) ผ่านตัวแลกถ่ายความร้อน (Heat Exchanger) และละลายสู่บรรยากาศโดยใช้หอระบายความร้อน วงจรปฐมภูมิ (Primary Loop) ทำจากท่อขนาด 6 นิ้ว ติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาด 40 แรงม้า วงจรทุติยภูมิ (Secondary Loop) ทำจากท่อขนาด 10 นิ้ว ติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาด 60 แรงม้า มี ตัวแลกถ่ายความร้อน (Heat Exchanger) สองแบบคือ แบบท่อ (Shell and Tube) ขนาด 1 เมกะวัตต์ และแบบแผ่น (Plate Type) ขนาด 3.5 เมกะวัตต์ หอระบายความร้อน (Cooling Tower) มีสองขนาดคือ ขนาด 500 ตัน และขนาด 800 ตัน นอกจากนี้ยังมีระบบระบายความร้อนฉุกเฉินของแกนปฏิกรณ์ฯ (Emergency Core Cooling System) เป็นระบบป้องกันไม่ให้แท่งเชื้อเพลิงละลายในกรณีสูญเสียน้ำในบ่อปฏิกรณ์ฯ กะทันหัน น้ำที่ใช้เป็นน้ำที่สูบเก็บไว้ในถังอัดแรงดัน ระบบจะทำงานเมื่อระดับของน้ำในบ่อปฏิกรณ์ฯ ลดลงจนถึง ระดับ 4 เมตร จากพื้นบ่อ พลังงานที่ใช้ในการทำงานของระบบมาจากแบตเตอรี่

ง. ระบบถ่ายเทอากาศ และกักอากาศ (Ventilation and Gas Tight System)

บริเวณกักอากาศของเครื่องปฏิกรณ์ฯ มีความดันบรรยากาศน้อยกว่าภายนอก (Negative Pressure) โดยทางด้านอากาศเข้าจะดูดอากาศผ่านเครื่องกรอง และทางด้านอากาศออกจะดูดอากาศไปผ่านเครื่องกรองก่อนปล่อยออกภายนอก ระบบอากาศเข้าและอากาศออก จะปิดโดยอัตโนมัติเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในบริเวณกักอากาศ ปริมาตรอากาศหมุนเวียนในบริเวณกักอากาศมีค่าเท่ากับ 595 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

2.3 การเกิดสารปล่อยรังสีแกมมา ในน้ำระบายความร้อน

สารกัมมันตรังสีที่เกิดในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิจำแนกได้เป็น 2 พวก

2.3.1 เกิดจากผลิตผลของการแตกตัว (Fission Products) ซึ่งเกิดเนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีความเสียหาย เช่น คริปตอน (Krypton) ซีนอน (Xenon) ไอโอดีน (Idodine) และ โบรมีน (Bromine) ซึ่ง โบรมีน และ ไอโอดีน สามารถละลายน้ำได้ ส่วนส่วนคริปตอนและซีนอน จะพบปนอยู่ในอากาศซึ่งสลายตัวให้รูบิเดียม (rubidium) และซีเซียม (cesium)

2.3.2 เกิดจากการกระตุ้นของนิวตรอนกับวัสดุอื่นๆ (neutron activation) นั่นคือการที่นิวตรอนไปกระตุ้นโครงสร้างหรือวัตถุที่นำมาทดลอง สารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ก๊าซที่ละลายอยู่ (ซึ่งส่วนใหญ่ละลายได้ในอากาศ) หรือความไม่บริสุทธิ์ของน้ำ ทำให้วัตถุที่ถูกกระตุ้นนี้กลายเป็นสารกัมมันตรังสี

การวิเคราะห์สารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยทำได้โดยใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) (NaI (Tl)) และเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer , MCA) สารกัมมันตรังสีที่พบได้คือ Na-24 , Mn-56 และAr-41 ซึ่ง Na-24 เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยา $^{27}Al\ (n,\alpha)\ ^{24}Na$ ซึ่งนิวตรอนเร็วไปกระตุ้นอลูมิเนียมซึ่งเป็นโครงสร้างของแกนเครื่องปฏิกรณ์ ส่วน Mn-56 เกิดจากนิวตรอนทำปฏิกิริยากับโลหะเหล็กซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกหุ้มชื้อเพลิง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ $^{56}Fe(n,p)\ ^{56}Mn$ Ar-41 เกิดจาก Ar-40 ซึ่งละลายอยู่ในน้ำจับนิวตรอนช้าได้ ^{41}Ar ปฏิกิริยาคือ $^{40}Ar\ (n,\gamma)\ ^{41}Ar$ ไอโซโทปรังสี Na-24 สลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1369 keV , 2754 keV Mn-56 สลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 847 keV , 1811 keV และ Ar-41 สลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1294 keV

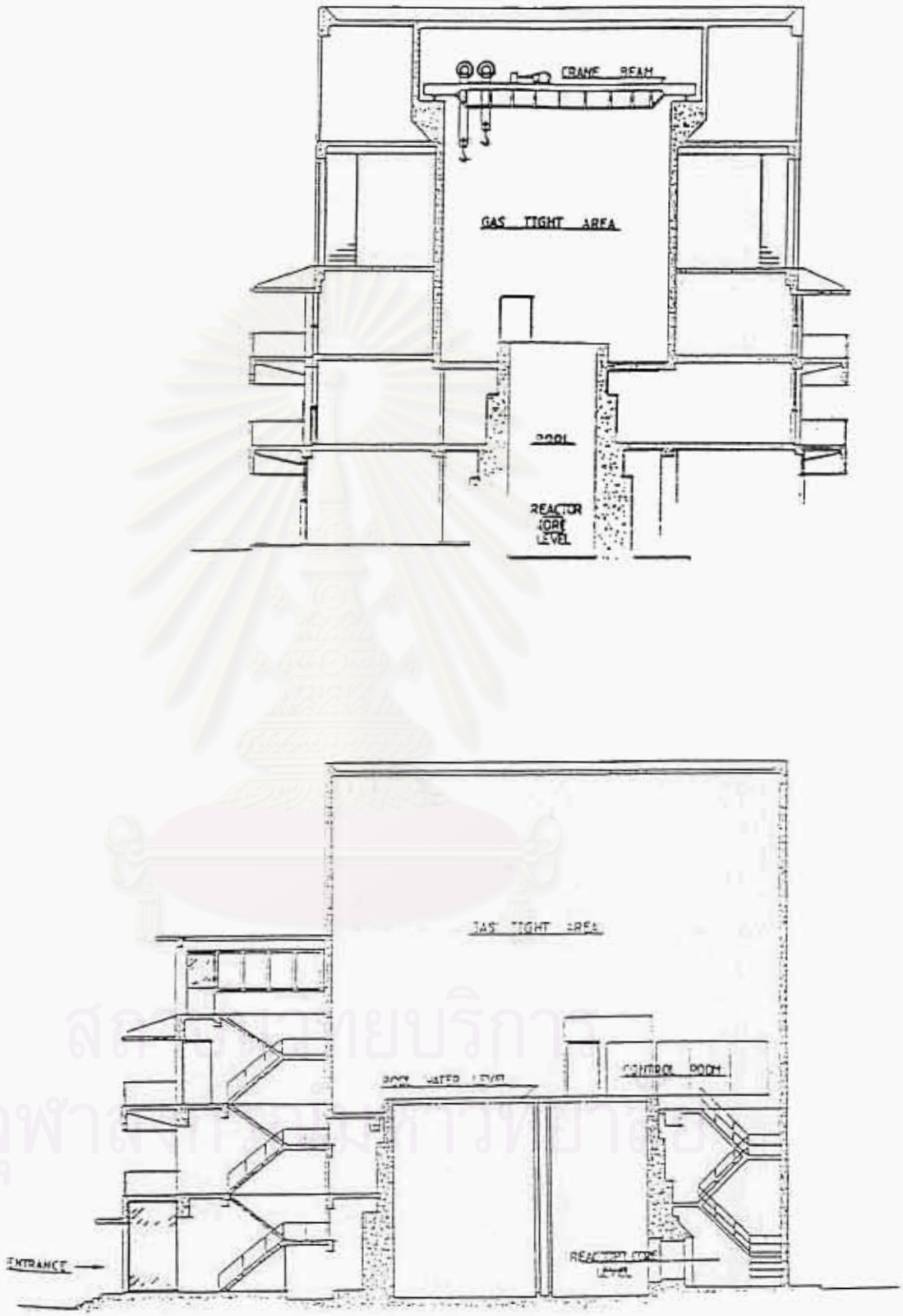
นอกจากนี้มีสารกัมมันตรังสีอีกตัวหนึ่งที่เกิดขึ้นในขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์ด้วย นั่นคือ N-16 ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา $^{16}O(n,p)\ ^{16}N$ แต่เนื่องจากมีค่าครึ่งชีวิต (Half Life) เท่ากับ 7.4 วินาที และสลายตัวเป็น ออกซิเจนที่เสถียร N-16 จึงมีชีวิตยาวไม่พอจะทำให้ความความแรงรังสีจำเพาะของ น้ำในเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น และสลายตัวเร็วมากก่อนที่หัววัดจะนับวัดได้

สารปล่อยรังสีแกมมาที่พบในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิในขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์ให้รังสีแกมมาที่มีค่าพลังงานอยู่ในช่วง 847 และ1369 กิโลอิเลคตรอนโวลต์ ซึ่งค่าพลังงานของสารปล่อยรังสีแกมมาซึ่งเกิดจากผลิตผลของการแตกตัวที่สามารถจะหลุดลอดออกมาปรากฏในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิเนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงเสียหายนั้นก็อยู่ในช่วงนี้ด้วยเหมือนกัน ดังนั้นการวิเคราะห์สารปล่อยรังสีแกมมาที่มีค่าพลังงานอยู่ในช่วงนี้ทำให้สามารถทราบความเสียหายของแท่งเชื้อเพลิง

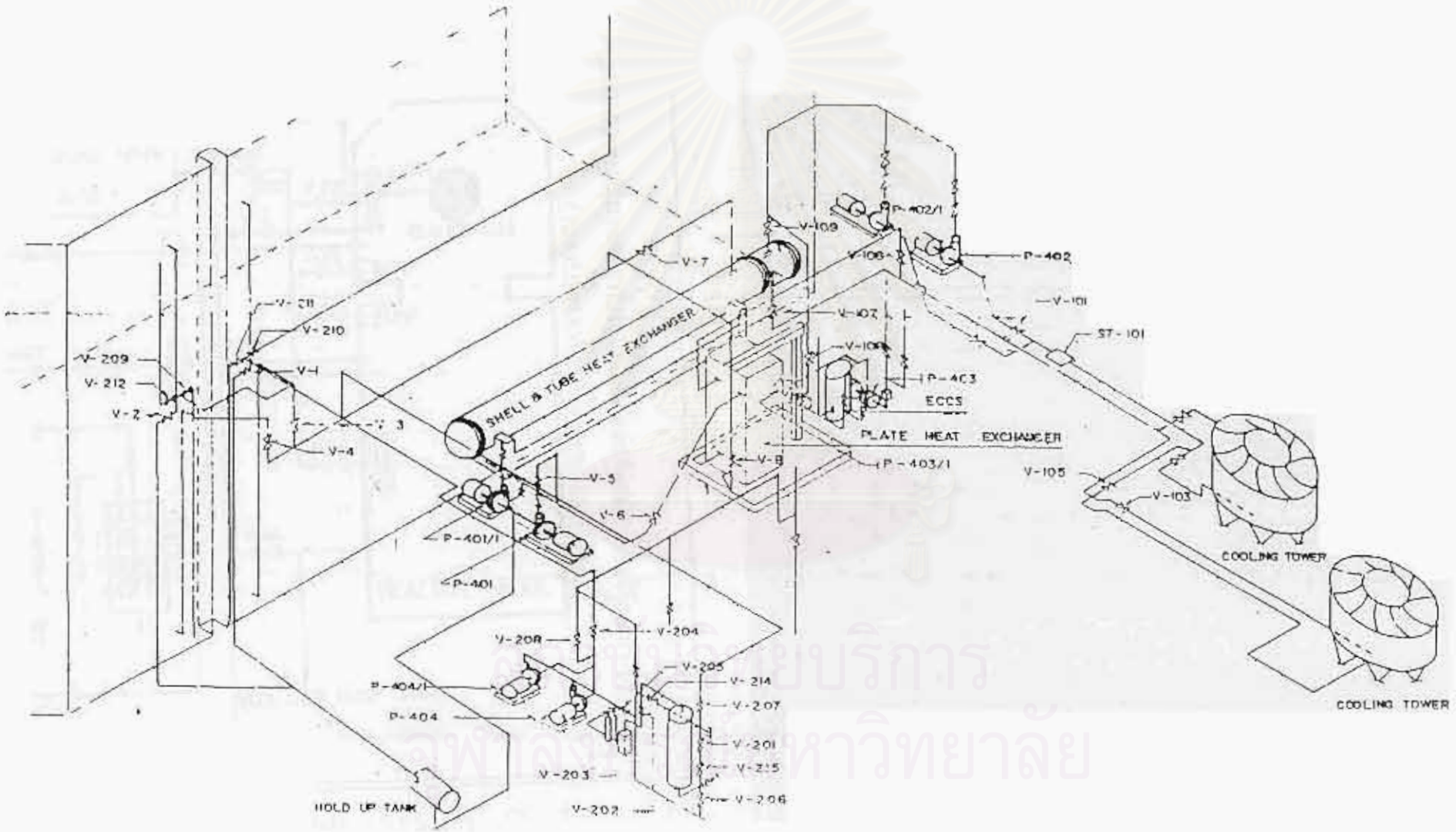
ตารางที่ 2.1 สารกัมมันตรังสีที่พบในขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 ที่กำลัง 1,200 KW

Radionuclide	**Half-life**	**Prominent Gamma Energy (keV)**
Argon-41	**1.83 hours**	**1294(99%)**
Manganese-56	**2.58 hours**	**847(99%)** **1811(29%)**
Sodium-24	**14.96 hours**	**1369(100%)** **2754(100%)**

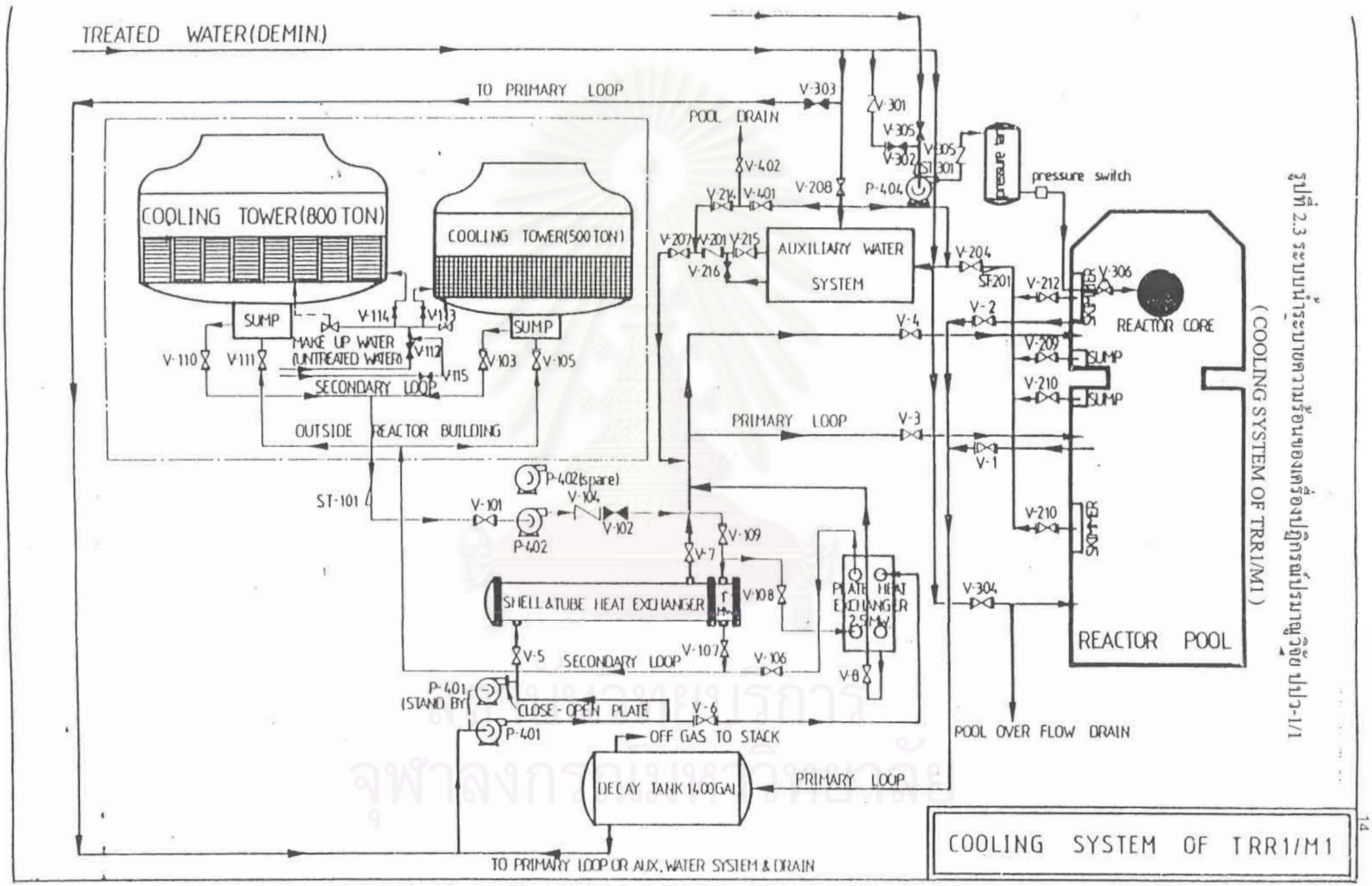
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 อาคารปฏิกรณ์ (REACTOR BUILDING)

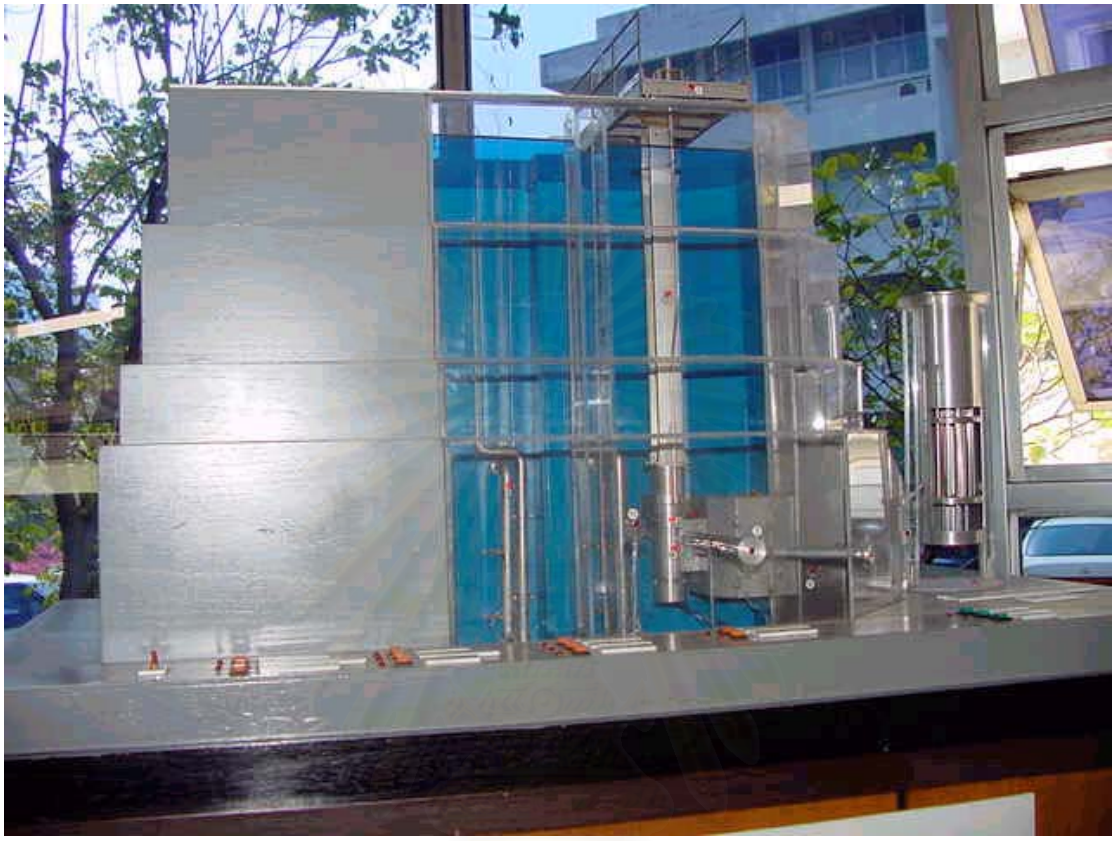


รูปที่ 2.2 บ่อปฏิกรณ์ (REACTOR POOL)



รูปที่ 2.3 ระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูชนิด มปว-1/1
(COOLING SYSTEM OF TRR1/M1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 รูปจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์วิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย มีดังต่อไปนี้

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณรังสีแบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer, MCA) CANBERRA S-100 ซึ่งทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์

3.1.2 หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) [Nal (Tl)] ขนาด 3 นิ้ว x 3 นิ้ว

3.1.3 ภาชนะสำหรับตักตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ

3.1.4 สารกัมมันตรังสีมาตรฐานโซเดียม-22 (Na-22) และ อะเมริเซียม-241(Am-241) แบบปิดผนึก (sealed source) ความแรงประมาณ 1 ไมโครคูรี (37 kBq) ทั้งสองชนิด เพื่อใช้ในการปรับเทียบพลังงาน

3.1.5 สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 (Ra-226) ซึ่งมีความแรงรังสี 22280.748 Bq ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เพื่อใช้ ในการหาประสิทธิภาพของระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา

3.1.6 ขวดพลาสติกขนาด 1000 มิลลิลิตร สำหรับใส่น้ำตัวอย่าง

3.1.7 ปั๊มน้ำแบบจุ่มขนาดเล็ก สำหรับดูดเก็บตัวอย่างน้ำ

3.1.8 Programmable Logic Control (PLC) สำหรับใช้ควบคุมการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติ

3.1.9 ถุงมือยางและถุงพลาสติก

3.1.10 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่1 (ปปว-1/1)

3.1.11 เกลือโซเดียม สำหรับเตรียมโซเดียม-24 เพื่อใช้หาค่าแก้การรบกวนอาร์กอน-41

รูปที่ 3.1 แผนผังอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การปรับเทียบระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา

- การปรับเทียบพลังงาน

ในการปรับเทียบพลังงานได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน Na-22 และ Am-241 โดยใช้เวลาในการนับรังสี 100 วินาที

- การหาค่าประสิทธิภาพของระบบวัด

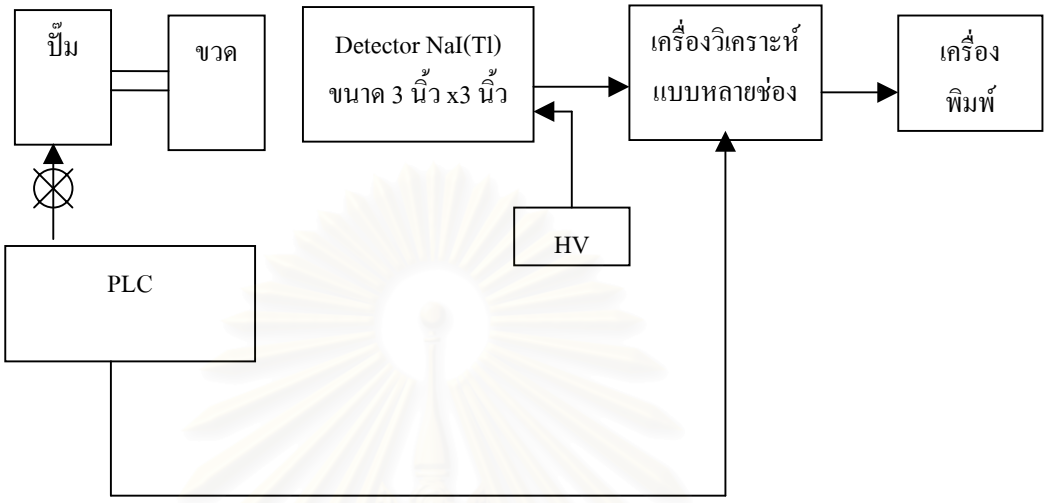
เนื่องจากตัวอย่างที่จะทำการวัดรังสีแกมมาเป็นตัวอย่างน้ำที่มีปริมาตรประมาณ 1000 มิลลิลิตร จึงมีความจำเป็นต้องทำการปรับเทียบประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมากับสารละลายมาตรฐานในปริมาตรที่เท่า ๆ กัน และที่มีรังสีแกมมาหลายพลังงาน ในการวิจัยนี้ได้ใช้สารละลายเรเดียม-226 ความแรง 22280.748 Bq ซึ่งมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ใส่ภาชนะบรรจุชนิดเดียวกันกับที่ใช้ใส่ตัวอย่างน้ำ ปิดภาชนะให้มิดชิดเพื่อมิให้ก๊าซเรดอน-222 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูก (daughter nuclide) ของเรเดียม-226 เล็ดลอดออกมาจากภาชนะได้ จากนั้นทิ้งไว้อย่างน้อย 1 เดือน เพื่อให้เกิดสมดุลย์ทางกัมมันตรังสีของเรเดียม-226 กับนิวไคลด์ลูก นำสารละลายเรเดียมไปทำการวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 3600 วินาที แล้วนำความเข้มรังสีแกมมาที่มีความเข้มรังสีสูง มาคำนวนหาประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่แต่ละพลังงาน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา กับพลังงานของรังสีแกมมา ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และกราฟในรูปที่ 4.1

3.2.2 การแก้การรบกวนของรังสีแกมมาจากโซเดียม-24 ต่อรังสีแกมมาจากอาร์กอน-41

จากการลองสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจาก เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยมาวิเคราะห์รังสีแกมมา พบว่า มีพีครังสีแกมมาพลังงาน 847 keV ของ Mn-56, 1293 keV ของ Ar-41, 1369 และ 2754 keV ของ Na-24 รวมทั้ง escaped peaks ของรังสีแกมมาพลังงาน 2754 keV ที่ 1732 keV (double escaped peak) และที่ 2243 keV (single escaped peak) หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์(แทลเลียม) ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ไม่สามารถแยกพีคพลังงาน 1293 keV ของ Ar-41 กับ 1369 ของ Na-24 ออกจากกันได้ จึงใช้วิธีหาอัตราส่วนของพีครังสีแกมมาพลังงาน 1369 ต่อ 2754 keV เพื่อใช้ในการหาความเข้มรังสีแกมมาสุทธิของ Ar-41 ที่พลังงาน 1293 keV โดยนำสารละลาย Na-23 ไปอาบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ซึ่งทำให้เกิด Na-24 ขึ้นจากปฏิกิริยา $^{23}Na(n, \gamma)^{24}Na$ โดยไม่มี Ar-41 ปน จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาด้วยระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา แล้วหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีแกมมาของพีคพลังงาน 1369 keV ต่อความเข้มรังสีแกมมาของพีคพลังงาน 2754 keV ซึ่งได้ผลแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

3.2.3 การออกแบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติ

การเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย มี 2 แบบ คือ การเก็บตัวอย่างโดยใช้ภาชนะตักตัวอย่างน้ำปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดรังสีแกมมา ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่ตามปกติของการสุ่มตัวอย่างน้ำเพื่อการตรวจสอบ การวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำแบบอัตโนมัติ โดยการควบคุมด้วย PLC เพื่อให้สามารถตรวจวัดรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีหลักการดังนี้ คือ PLC จะถูกป้อนโปรแกรมสั่งให้ปั๊มน้ำทำการดูดตัวอย่างน้ำใส่ภาชนะซึ่งมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ผ่านทางสายยาง แล้วส่งสัญญาณสั่งให้ MCA เริ่มนับวัดจนครบเวลาตามที่ตั้งนับวัด ซึ่งภาชนะสำหรับเก็บตัวอย่างนั้นจะมีสายยางต่ออยู่ 2 ชุด สายหนึ่งต่อกับปั๊มน้ำสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ ส่วนอีกสายหนึ่งทำการปล่อยตัวอย่างน้ำที่อยู่ในภาชนะออก และได้ทดสอบอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำโดยทำการปั๊มน้ำซึ่งผสมสีน้ำเงินเข้าจนเต็มภาชนะ ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที แล้วทำการปั๊มอีกครั้งโดยใช้น้ำซึ่งไม่มีสี พบว่าในการปั๊มครั้งที่สอง น้ำซึ่งผสมสีน้ำเงินถูกแทนที่ด้วยน้ำซึ่งไม่มีสีทั้งหมด ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

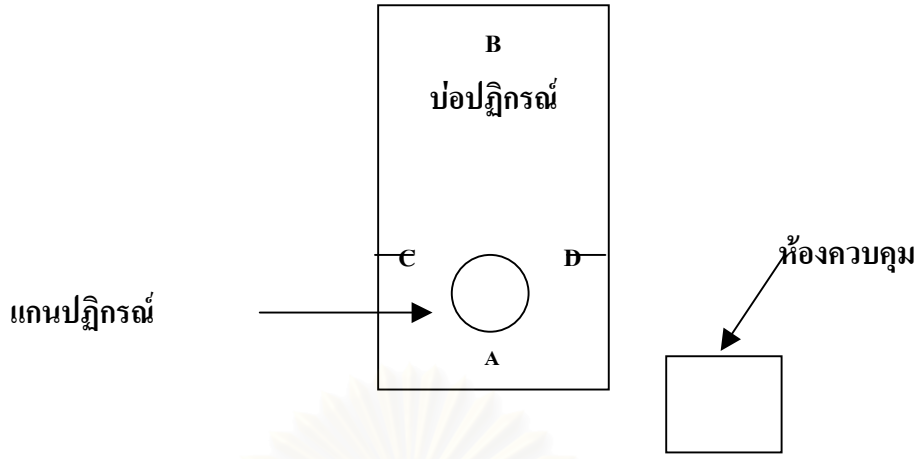


รูปที่ 3.2 แผนผังอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย PLC

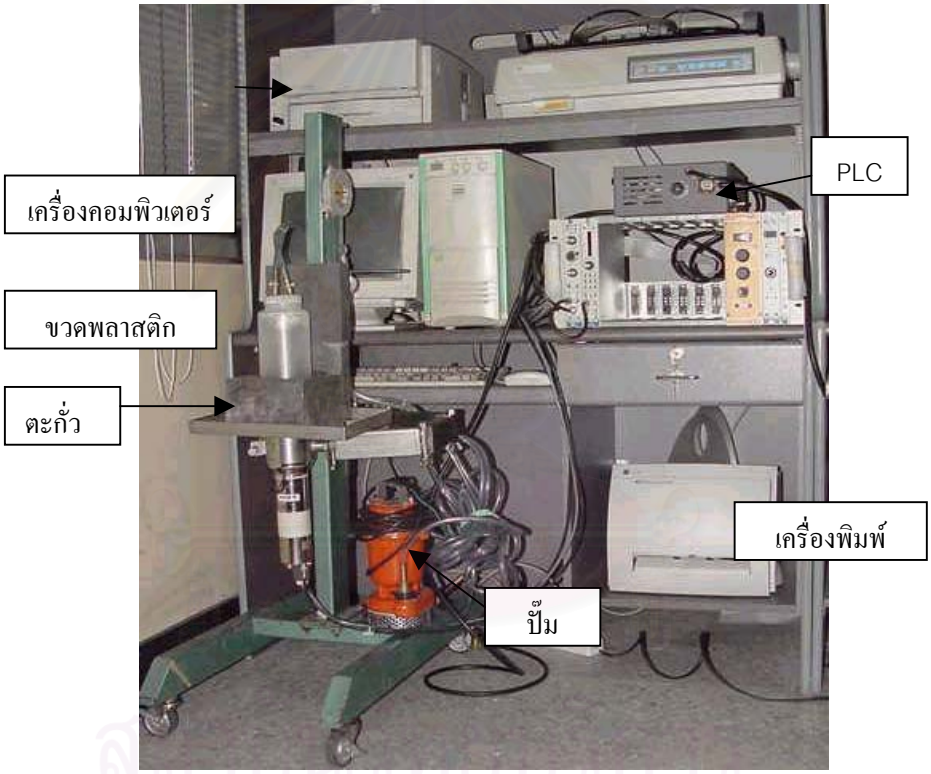
3.2.4 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์รังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำระบายความร้อนของจากระบบระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยมี 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นการเก็บตัวอย่างโดยใช้ปั๊มดูดตัวอย่างน้ำใส่ภาชนะโดยใช้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร สำหรับนำไปวัดรังสีแกมมา แบบที่สองเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย PLC ที่พัฒนาขึ้น รายละเอียดในการเก็บตัวอย่างน้ำมีดังต่อไปนี้

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 1000 มิลลิลิตรในตำแหน่งต่าง ๆ โดยรอบแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (ดังแสดงในแผนผังในรูปที่ 3.4) ที่ระดับลึกต่าง ๆ กัน คือ ที่ผิวน้ำ ที่ระดับความลึก 1 และ 2 เมตร รวมทั้งที่กำลังเดินเครื่องปฏิกรณ์ต่างกัน คือ 700 1000 และ 1200 กิโลวัตต์



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.4 ภาพอุปกรณ์หลักของระบบวัดรังสีแกมมา

รายละเอียดของตำหน่ง และจำนวนที่เก็บตัวอย่าง มีดังนี้

-เก็บตัวอย่างที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับผิวน้ำ เก็บตัวอย่างทั้งสองวิธี ๆ ละ 4 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 8 ตัวอย่าง หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

-เก็บตัวอย่างที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึก 1 เมตรจากผิว เก็บตัวอย่างทั้งสองวิธี ๆ ละ 4 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 8 ตัวอย่าง หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

- เก็บตัวอย่างที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ เก็บตัวอย่างทั้งสองวิธี ๆ ละ 4 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 8 ตัวอย่าง หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

- เก็บตัวอย่างที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์แล้วเป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ เก็บตัวอย่างทั้งสองวิธี ๆ ละ 6 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 12 ตัวอย่าง

- เก็บตัวอย่างที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่กำลัง 700, 1000 และ 1200 กิโลวัตต์ แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเฉพาะวิธีอัตโนมัติ 3 ตัวอย่างเท่านั้น

รวมจำนวนตัวอย่างที่สุ่มไปทำการวัดรังสีแกมมาทั้งสิ้น 39 ตัวอย่าง

ก่อนทำการวัดรังสีแกมมาจากตัวอย่าง ต้องทำการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมาเช่นที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 เมื่อตัวอย่างน้ำ 1000 มิลลิลิตร อยู่หน้าหัววัดรังสี ซึ่งใช้เวลาประมาณ 5 นาที แล้วจึงทำการวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 6000 วินาที ในกรณีของการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยอัตโนมัติ เครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมาจะเริ่มนับรังสี หลังจากเก็บตัวอย่างน้ำแล้วเป็นเวลาประมาณ 5 นาทีเช่นกัน

ข้อมูลสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้จากตัวอย่างน้ำ ภายหลังการลบแบคกราวด์แล้ว จึงนำไปวิเคราะห์หาความเข้มรังสีแกมมาสุทธิที่แต่ละพลังงาน (net peak area) โดยใช้โปรแกรมที่ให้มากับเครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมา ความเข้มรังสีแกมมาสุทธิที่พลังงาน 847 keV ของ Mn-56 สามารถนำไปคำนวนหาค่าความแรงรังสีได้โดยตรงโดยใช้ประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากกราฟปรับเทียบที่ได้จากหัวข้อ 3.2.1 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ส่วนความเข้มรังสีสุทธิของ Ar-41 ที่พลังงาน 1293 keV และของ Na-24 ที่พลังงาน 1369 keV ต้องใช้อัตราส่วนของพีครังสีแกมมาพลังงาน 1369 ต่อ 2754 keV ของ Na-24 ที่ได้จากหัวข้อ 3.2.2 ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และ

หัวข้อ 4.2 ทำการหาความเข้มรังสีแกมมาสุทธิของพลังงาน 1369 keV ของ Na-24 ก่อน แล้วนำไปหักออกจากความเข้มรังสีรวมของรังสีแกมมาที่พลังงาน 1293 keV กับ 1369 keV ที่ได้ (รวมกันเป็นพีคเดียว เนื่องจากพลังงานใกล้เคียงกัน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาค่าประสิทธิภาพของระบบวัด

การวัดรังสีแกมมาจากสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรงรังสีจำเพาะ 22280.748 Bq ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา ดังรูปที่ ก.1 และได้จำนวนนับรังสีสุทธิ (net peak area) ของรังสีแกมมาที่มีความเข้มสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากจำนวนนับรังสีสุทธิของแต่ละพลังงาน นำไปคำนวนหาประสิทธิภาพในการนับรังสีแกมมา ต่อความแรงรังสี 1 Bq จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$PeakEfficiency = \frac{Net\ Peak\ Area}{(3600)(Activity)(DecayFraction)}$$

เมื่อ Peak Efficiency คือ ประสิทธิภาพในการนับรังสีแกมมา

Net Peak Area คือ จำนวนนับรังสีสุทธิของพีครังสีแกมมาที่พลังงานนั้น

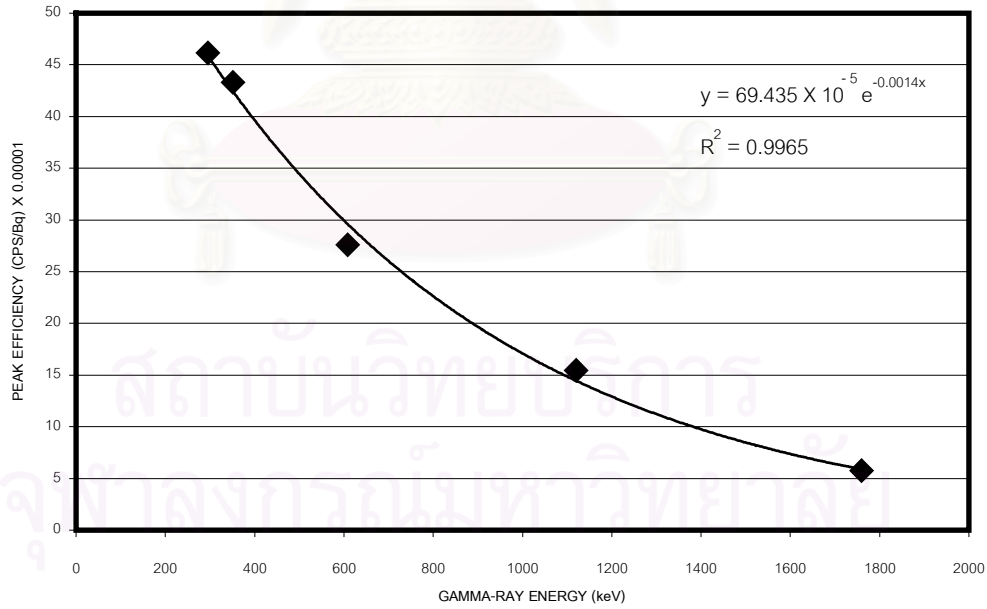
Activity คือ ความแรงรังสีของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22280.748 Bq

Decay Fraction คือ สัดส่วนการสลายตัวของรังสีแกมมาแต่ละพลังงาน

จากประสิทธิภาพในการนับรังสีแกมมา 5 พลังงานจากสารละลายเรเดียม-226 สามารถนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการนับรังสีแกมมา กับพลังงานของรังสีแกมมาดังแสดงในกราฟในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนนับรังสีสุทธิและประสิทธิภาพในการนับรังสีแกมมาจากสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

พลังงาน (keV)	% การสลายตัว	Net Peak Area (counts/3600 seconds)	Peak Efficiency* (10^{-5} CPS/Bq)
295	19	7033.31	46.1497
352	36	12500.07	43.2885
609	47	10401.21	27.5898
1120	17	2107.45	15.4543
1760	17	784.43	5.7524



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการนับรังสีแกมมากับพลังงานของรังสีแกมมา

จากสมการความสัมพันธ์ $y = 69.435 \times 10^{-5} EXP(-0.0014 x)$, $R^2 = 0.9965$

โดยที่ y คือ ค่าประสิทธิภาพการนับของพลังงานรังสีแกมมาในหน่วย CPS/Bq

x คือ ค่าพลังงานของรังสีแกมมา ในหน่วย keV

จะได้ค่าประสิทธิภาพของพลังงานรังสีแกมมา 847 keV = 21.2125×10^{-5} CPS/Bq

จะได้ค่าประสิทธิภาพของพลังงานรังสีแกมมา 1293 keV = 11.3611×10^{-5} CPS/Bq

จะได้ค่าประสิทธิภาพของพลังงานรังสีแกมมา 1369 keV = 10.2143×10^{-5} CPS/Bq

4.2 ผลการหาค่าแก้การรบกวนของรังสีแกมมาจากโซเดียม-24 ต่อรังสีแกมมาจากอาร์กอน-41

ผลการวัดรังสีแกมมาของโซเดียม-24 ที่ไม่มีอาร์กอน-41 จากสารละลาย 2 ครั้ง ได้ผลดังแสดงดังตารางที่ 4.2 และสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาของโซเดียม-24 แสดงไว้ในรูปที่ ก. 2 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดรังสีแกมมาของโซเดียม-24

ครั้งที่	ความเข้มของรังสีแกมมา(cps)		อัตราส่วนของพีค
	1369 keV	2754 keV	1369 keV ต่อ 2754 keV
1	73.97	36.16	2.04
2	94.80	45.85	2.07
		เฉลี่ย	2.06

4.3 ผลการทดสอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติ

ผลการทดสอบอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำ โดยทำการตั้งโปรแกรม PLC ให้ปั๊มน้ำซึ่งผสมสีน้ำเงินเข้าจนเต็มภาชนะ ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที แล้วทำการปั๊มอีกครั้งโดยใช้น้ำซึ่งไม่มีสี พบว่าในการปั๊มครั้งที่สอง น้ำซึ่งผสมสีน้ำเงินถูกแทนที่ด้วยน้ำซึ่งไม่มีสีทั้งหมด ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

4.4 ผลการวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

4.4.1 จากการเก็บตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ดังรูปที่ 3.4 ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ ที่ระดับผิวน้ำ ที่

ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ และ ที่ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างน้ำมาวัดรังสีแกมมา และวิธีการสุ่มตัวอย่างน้ำโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำแบบต่อเนื่อง จำนวนนับรังสีสุทธิของ Mn-56 พลังงาน 847 keV ได้จากการคำนวณหาพื้นที่ใต้พีคจากสเปกตรัม แต่สำหรับพีคพลังงาน 1293 keV ของ Ar-41 กับ 1369 keV ของ Na-24 ซึ่งรวมกันเป็นพีคเดียว สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{Na(1369\ keV)} = 2.06\ I_{Na(2754\ keV)}$$

$$I_{Ar} = I_{Ar+Na} - 2.06\ I_{Na(2754\ keV)}$$

เมื่อ $I_{Na(1369\ keV)}$ คือ ความเข้มรังสีแกมมาของพีคพลังงาน 1369 keV ของ Na-24

$I_{Na(2754\ keV)}$ คือ ความเข้มรังสีแกมมาของพีคพลังงาน 2754 keV ของ Na-24

I_{Ar} คือ ความเข้มรังสีแกมมาของพีคพลังงาน 1294 keV ของ Ar-41

I_{Ar+Na} คือ ความเข้มรังสีแกมมารวมของ Ar-41 พลังงาน 1294 keV กับ ของ Na-24 พลังงาน 1369 keV

โดยค่า 2.06 เป็นค่าอัตราส่วนพีคพลังงาน 1369 keV ต่อพีคพลังงาน 2754 keV ของ Na-24 ซึ่งได้จากหัวข้อ 4.2 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างข้างต้นแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ถึง ตารางที่ 4.5

ค่าความเข้มรังสีแกมมาสุทธิที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ถึง 4.8 สามารถนำไปคำนวณหาความแรงรังสีได้โดยตรง โดยใช้ประสิทธิภาพในการวัดรังสีที่ได้จากหัวข้อ 4.1

เช่น ที่พลังงาน 847 keV มีค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาเท่ากับ 21.2125×10^{-5} cps/Bq สำหรับน้ำปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากความเข้มรังสีสุทธิของตัวอย่างน้ำที่ผิว ที่ตำแหน่ง A ในตารางที่ 4.3 เท่ากับ 2.34 cps จะได้ความแรงรังสีของตัวอย่างนี้เท่ากับ $18.27/21.2125 \times 10^{-5} = 1.1031 \times 10^{4}$ Bq หรือคิดเป็น 11.031 kBq ต่อปริมาตรน้ำ 1000 มิลลิลิตร ผลการคำนวณหาค่าความแรงรังสีแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 ถึง ตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับผิวน้ำ ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ตำแหน่ง	ความเข้มรังสีแกมมาสุทธิ (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
A	2.34	42.52	3.42	1.66
B	2.01	39.29	3.98	1.93
C	2.17	45.20	3.85	1.87
D	1.85	41.42	3.52	1.71

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ตำแหน่ง	ความเข้มรังสีแกมมาสุทธิ (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
A	2.31	31.98	3.21	1.56
B	1.44	33.50	4.02	1.95
C	2.29	38.78	2.84	1.38
D	3.68	33.62	4.53	2.20

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ตำแหน่ง	ความเข้มรังสีแกมมาสุทธิ (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
A	2.33	36.73	1.85	0.90
B	3.38	39.66	3.61	1.75
C	2.61	43.99	3.79	1.84
D	2.20	38.17	2.82	1.37

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับผิวน้ำ ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ตำแหน่ง	ความเข้มรังสีแกมมาสุทธิ (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
A	2.67	51.17	2.22	1.08
B	1.81	54.36	1.98	0.96
C	1.86	49.89	1.24	0.60
D	2.15	46.32	3.11	1.53

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ตำแหน่ง	ความเข้มรังสีแกมมาสุทธิ (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
A	2.50	72.04	2.76	1.34
B	1.46	60.86	1.28	0.62
C	1.57	59.52	2.62	1.27
D	1.81	59.34	3.15	1.53

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างเก็บที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ตำแหน่ง	ความเข้มรังสีแกมมาสุทธิ (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
A	1.94	72.05	4.41	2.14
B	1.98	73.41	4.06	1.97
C	1.42	64.09	3.85	1.87
D	1.34	67.78	3.05	1.48

ตารางที่ 4.9 ความแรงรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับผิวน้ำ ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ตำแหน่ง	ความแรงรังสี (Bq/l)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
A	11031	374259	33482
B	9475	345829	38964
C	10229	397848	37692
D	8721	364577	34461

ตารางที่ 4.10 ความแรงรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ตำแหน่ง	ความแรงรังสี (Bq/l)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
A	10889	281486	31426
B	6788	294865	39356
C	10795	341340	27804
D	17348	295922	44349

ตารางที่ 4.11 ความแรงรังสีแกมมารังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ตำแหน่ง	ความแรงรังสี (Bq/l)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
A	10984	323296	18111
B	15934	349085	35342
C	12304	387198	37104
D	10371	335970	27608

ตารางที่ 4.12 ความแรงรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับผิวน้ำ ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ตำแหน่ง	ความแรงรังสี (Bq/l)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
A	12586	450396	21734
B	8532	478474	19384
C	8768	439130	12139
D	10135	407707	30447

ตารางที่ 4.13 ความแรงรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 1 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ตำแหน่ง	ความแรงรังสี (Bq/l)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
A	11785	634093	27020
B	6882	535687	12531
C	7401	523892	25650
D	8532	522308	30839

ตารางที่ 4.14 ความแรงรังสีแกมมารังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 2 เมตร ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ตำแหน่ง	ความแรงรังสี (Bq/l)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
A	9145	634181	43174
B	9334	646152	39748
C	6694	564117	37692
D	6317	596597	29860

4..4.2 จากการเก็บตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ ภายหลังเดินเครื่องปฏิกรณ์ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างน้ำมาวัดรังสีแกมมา และวิธีการสุ่มตัวอย่างน้ำโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำแบบต่อเนื่อง ผลการวัดรังสีแกมมาแสดงไว้ในตารางที่ 4.15 และ 4.16 ส่วนค่าความแรงรังสีแสดงไว้ในตารางที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ผลการวัดรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ชั่วโมงที่	ความเข้มรังสีแกมมา (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
2	1.29	30.18	0.87	0.42
4	2.34	39.00	1.92	0.93
6	2.42	42.14	1.98	0.96
8	2.44	44.97	2.64	1.28
10	2.29	43.56	2.53	1.23
12	2.52	41.08	3.13	1.52

ตารางที่ 4.16 ผลการวัดรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ชั่วโมงที่	ความเข้มรังสีแกมมา (cps)			
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
2	วัดไม่ได้	52.83	วัดไม่ได้	วัดไม่ได้
4	1.98	78.73	1.40	0.68
6	2.68	81.65	2.80	1.36
8	1.69	85.14	2.20	1.07
10	3.30	79.22	3.07	1.49
12	3.05	74.49	5.19	2.52

ตารางที่ 4.17 ผลการวัดรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ชั่วโมงที่	ความเข้มรังสีแกมมา (cps)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
2	6081	265643	8517
4	11031	343276	18797
6	11408	370914	19384
8	11502	395824	25846
10	10795	383413	24769
12	11879	361584	30643

ตารางที่ 4.18 ความแรงรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ชั่วโมงที่	ความแรงรังสี (Bq/l)		
	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
2	วัดไม่ได้	465007	วัดไม่ได้
4	9334	692978	13706
6	12634	718680	27412
8	7967	749399	21538
10	15556	697291	30055
12	14378	655658	50811

4.4.3 ผลการวัดรังสีแกมมาของสารปล่อยรังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 700, 1000 และ 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง แสดงไว้ในตารางที่ 4.19 ส่วนผลการคำนวณค่าความแรงรังสี แสดงไว้ในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 ผลการวัดรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ 4 ชั่วโมง ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 700, 1000 และ 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

	ความเข้มรังสีแกมมา (cps)			
กำลัง	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)	2754 keV (Na-24)
700	0.78	43.47	0.80	0.39
1000	0.80	43.18	1.24	0.60
1200	2.67	72.45	2.22	1.08

ตารางที่ 4.20 ความแรงรังสีของตัวอย่างน้ำที่เก็บ ที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์ 4 ชั่วโมง ขณะเดินเครื่องที่กำลัง 700, 1000 และ 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

	ความแรงรังสี (Bq/l)		
กำลัง	847 keV (Mn-56)	1294 keV (Ar-41)	1369 keV (Na-24)
700	3677	382621	7832
1000	3771	380068	12139
1200	12586	637702	21734

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปและวิจารณ์

5.1.1 ค่าประสิทธิภาพของระบบวัด

โดยวัดค่าพลังงานรังสีแกมมาทั้งหมดของสารกัมมันตรังสีมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรงรังสีจำเพาะ 22,280.748 Bq/l เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา ดังรูปที่ ก.1 ค่านับวัดต่อวินาทีของพลังงานรังสีแกมมาแต่ละค่าพลังงานแสดงดังตารางที่ 4.1

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมา แต่ละค่าพลังงานคือ

$$PeakEfficiency = \frac{Net\ Peak\ Area}{(3600)(Activity)(DecayFraction)}$$

เมื่อ Peak Efficiency คือ ประสิทธิภาพในการนับรังสีแกมมา

Net Peak Area คือ จำนวนนับรังสีสุทธิของพีครังสีแกมมาที่พลังงานนั้น

Activity คือ ความแรงรังสีของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22280.748 Bq

Decay Fraction คือ สัดส่วนการสลายตัวของรังสีแกมมาแต่ละพลังงาน

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมาข้างต้น นำมาคำนวณหาค่า ประสิทธิ์ภาพการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1ปรับปรุงครั้งที่ 1 ได้ดังนี้

Ar-41	สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน	1,294 keV
	คำนวณค่าประสิทธิภาพการวัดได้เท่ากับ	11.3611×10^{-5} CPS/Bq
Mn-56	สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน	847 keV
	คำนวณค่าประสิทธิภาพการวัดได้เท่ากับ	21.2125×10^{-5} CPS/Bq
Na-24	สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน	1,369 keV
	คำนวณค่าประสิทธิภาพการวัดได้เท่ากับ	10.2143×10^{-5} CPS/Bq

5.1.2 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของรังสีแกมมาของสารปล่อยรังสีแกมมาที่พบในตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยโดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

โดยการเก็บตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่ตำแหน่ง A B C และ D ดังรูปที่ 3.3 ขณะเครื่องปฏิกรณ์เดินที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ ที่ระดับผิวน้ำ ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ และ ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ ได้ค่าความแรงรังสีรังสีแกมมา ในตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยดังนี้

ที่ระดับผิวน้ำ

ตำแหน่ง	A	Na-24 = 33482	Bq/l	Mn-56 = 11031	Bq/l	Ar-41 = 374259	Bq/l
ตำแหน่ง	B	Na-24 = 38964	Bq/l	Mn-56 = 9475	Bq/l	Ar-41 = 345829	Bq/l
ตำแหน่ง	C	Na-24 = 37692	Bq/l	Mn-56 = 10229	Bq/l	Ar-41 = 397848	Bq/l
ตำแหน่ง	D	Na-24 = 34461	Bq/l	Mn-56 = 8721	Bq/l	Ar-41 = 364577	Bq/l

ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ

ตำแหน่ง	A	Na-24 = 31426	Bq/l	Mn-56 = 10889	Bq/l	Ar-41 = 281486	Bq/l
ตำแหน่ง	B	Na-24 = 39356	Bq/l	Mn-56 = 6788	Bq/l	Ar-41 = 294865	Bq/l
ตำแหน่ง	C	Na-24 = 27804	Bq/l	Mn-56 = 10795	Bq/l	Ar-41 = 341340	Bq/l
ตำแหน่ง	D	Na-24 = 44349	Bq/l	Mn-56 = 17348	Bq/l	Ar-41 = 295922	Bq/l

ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ

ตำแหน่ง A Na-24 = 18111 Bq/l Mn-56 = 10984 Bq/l Ar-41 = 323269 Bq/l

ตำแหน่ง B Na-24 = 35342 Bq/l Mn-56 = 15934 Bq/l Ar-41 = 349085 Bq/l

ตำแหน่ง C Na-24 = 37104 Bq/l Mn-56 = 12304 Bq/l Ar-41 = 387198 Bq/l

ตำแหน่ง D Na-24 = 27608 Bq/l Mn-56 = 10371 Bq/l Ar-41 = 335970 Bq/l

จากค่าความแรงรังสีที่ได้สำหรับ Na-24 อยู่ในช่วง 18111-44349 Bq/l ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 8-14 เปอร์เซ็นต์

ค่าความแรงรังสีที่ได้สำหรับ Mn-56 อยู่ในช่วง 6788 – 17348 Bq/l ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 18-31 เปอร์เซ็นต์

ค่าความแรงรังสีที่ได้สำหรับ Ar-41 อยู่ในช่วง 281486 – 397848 Bq/l ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์

สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ จะมีค่าโดยประมาณเท่ากัน ไม่ขึ้นตำแหน่งซึ่งสุ่มเก็บตัวอย่าง ในตำแหน่ง A B C และ D ที่ระดับผิวน้ำ ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ และ ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ

5.1.3 ค่าความแรงรังสีรังสีแกมมาของสารปล่อยรังสีแกมมาที่พบในตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยโดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่องอัตโนมัติ ที่ตำแหน่ง A B C และ D ดังรูปที่ 3.3 ขณะเครื่องปฏิกรณ์เดินที่กำลัง 1,200 กิโลวัตต์ ที่ระดับผิวน้ำ ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ และ ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ ได้ความแรงรังสีรังสีแกมมาของสารปล่อยรังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำระบายความร้อน ปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยดังนี้

ที่ระดับผิวน้ำ

ตำแหน่ง A Na-24 = 21734 Bq/l Mn-56 = 12586 Bq/l Ar-41 = 450396 Bq/l

ตำแหน่ง B Na-24 = 19384 Bq/l Mn-56 = 8532 Bq/l Ar-41 = 478474 Bq/l

ตำแหน่ง C Na-24 = 12139 Bq/l Mn-56 = 8768 Bq/l Ar-41 = 439130 Bq/l

ตำแหน่ง D Na-24 = 30447 Bq/l Mn-56 = 10135 Bq/l Ar-41 = 407707 Bq/l

ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ

ตำแหน่ง A Na-24 =27020 Bq/l Mn-56 = 11785 Bq/l Ar-41 = 634093 Bq/l

ตำแหน่ง B Na-24 =12531 Bq/l Mn-56 = 6882 Bq/l Ar-41 = 535687 Bq/l

ตำแหน่ง C Na-24 =25650 Bq/l Mn-56 = 7401 Bq/l Ar-41 = 523892 Bq/l

ตำแหน่ง D Na-24 =30839 Bq/l Mn-56 = 8532 Bq/l Ar-41 = 522308 Bq/l

ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ

ตำแหน่ง A Na-24 =43174 Bq/l Mn-56 = 9145 Bq/l Ar-41 = 634181 Bq/l

ตำแหน่ง B Na-24 = 39748 Bq/l Mn-56 = 9334 Bq/l Ar-41 = 646152 Bq/l

ตำแหน่ง C Na-24 =37692 Bq/l Mn-56 = 6694 Bq/l Ar-41 = 564117 Bq/l

ตำแหน่ง D Na-24 =29860 Bq/l Mn-56 = 6317 Bq/l Ar-41 = 596597 Bq/l

จากค่าความแรงรังสีที่ได้สำหรับ Na-24 อยู่ในช่วง 12139-43174 Bq/l ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 23-48 เปอร์เซ็นต์

ค่าความแรงรังสีที่ได้สำหรับ Mn-56 อยู่ในช่วง 6882 – 12586 Bq/l ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 29-51 เปอร์เซ็นต์

ค่าความแรงรังสีที่ได้สำหรับ Ar-41 อยู่ในช่วง 450396 – 646152 Bq/l ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์

สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ จะมีค่าโดยประมาณเท่ากัน ไม่ขึ้นตำแหน่งซึ่งสุ่มเก็บตัวอย่าง ในตำแหน่ง A B C และ D ที่ระดับผิวน้ำ ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ และ ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ

ค่าความแรงรังสีที่หาได้โดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสีและวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่องได้ข้อมูลซึ่งมีลักษณะคล้ายกันคือ ไม่ขึ้นตำแหน่งซึ่งสุ่มเก็บตัวอย่างและระดับความลึกของตำแหน่งที่สุ่มตัวอย่าง ความแตกต่างกันสำหรับค่าความแรงรังสีของ Na-24 อยู่ในช่วง 1179 - 5972 Bq/l สำหรับ Mn-56 อยู่ในช่วง 94 - 4762 Bq/l และ Ar-41 อยู่ในช่วง 168910 - 248304 Bq/l ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากวิธีการเก็บตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างไปวัดรังสีทำโดยใช้ภาชนะเปิดตักตัวอย่างโดยตรง ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของตัวอย่างที่ระดับผิวน้ำเมื่อทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ และสำหรับ Ar-41 อาจมีการสลายตัวไปในอากาศในระหว่างการเก็บตัวอย่างไปวัดรังสีโดยภาชนะเปิด

5.1.4 ความแรงรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเครื่องปฏิกรณ์เดินที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัดรังสี

ชั่วโมงที่ 2	Na-24 =8517 Bq/l	Mn-56 = 6081 Bq/l	Ar-41 = 265643 Bq/l
ชั่วโมงที่ 4	Na-24 = 18797 Bq/l	Mn-56 = 11031 Bq/l	Ar-41 = 343276 Bq/l
ชั่วโมงที่ 6	Na-24 =19384 Bq/l	Mn-56 = 11408 Bq/l	Ar-41 = 370914 Bq/l
ชั่วโมงที่ 8	Na-24 =25846 Bq/l	Mn-56 = 11502 Bq/l	Ar-41 = 395824 Bq/l
ชั่วโมงที่ 10	Na-24 =24769 Bq/l	Mn-56 = 10795 Bq/l	Ar-41 = 383413 Bq/l
ชั่วโมงที่ 12	Na-24 =30643 Bq/l	Mn-56 = 11879 Bq/l	Ar-41 = 361584 Bq/l

จากค่าความแรงรังสีที่ได้ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นในตอนแรก จนกระทั่งหลังจากเครื่องเดินแล้วเป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมงจะเริ่มคงที่

5.1.5 ความแรงรังสีของตัวอย่างที่เก็บที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ชั่วโมงที่ 2	Na-24 = วัดไม่ได้	Mn-56 = วัดไม่ได้	Ar-41 = 465007 Bq/l
ชั่วโมงที่ 4	Na-24 = 13706 Bq/l	Mn-56 = 9334 Bq/l	Ar-41 = 692978 Bq/l
ชั่วโมงที่ 6	Na-24 =27412 Bq/l	Mn-56 = 12634 Bq/l	Ar-41 = 718680 Bq/l
ชั่วโมงที่ 8	Na-24 =21538 Bq/l	Mn-56 = 7967 Bq/l	Ar-41 = 749399 Bq/l
ชั่วโมงที่ 10	Na-24 =30055 Bq/l	Mn-56 = 15556 Bq/l	Ar-41 = 697291 Bq/l
ชั่วโมงที่ 12	Na-24 =50811 Bq/l	Mn-56 = 14378 Bq/l	Ar-41 = 655658 Bq/l

จากค่าความแรงรังสีที่ได้ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นในตอนแรก จนกระทั่งหลังจากเดินเครื่องแล้วเป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมงจะเริ่มคงที่ ซึ่งคล้ายกันทั้งสองวิธี

5.1.6 ค่าความแรงรังสีแกมมาของสารปล่อยรังสีแกมมาที่พบในตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่ตำแหน่ง A ขณะเครื่องปฏิกรณ์เดินที่กำลัง 700 1,000 และ 1,200 กิโลวัตต์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

โดยการสุ่มตัวอย่างน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่ตำแหน่ง A ที่ระดับผิวน้ำ หลังจากเดินเครื่องปฏิกรณ์แล้วเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เดินเครื่องที่กำลัง 700 กิโลวัตต์

Na-24 =7832 Bq/l Mn-56 = 3677 Bq/l Ar-41 = 382621 Bq/l

เดินเครื่องที่กำลัง 1,000 กิโลวัตต์

Na-24 =12139 Bq/l Mn-56 = 3771 Bq/l Ar-41 = 380068 Bq/l

เดินเครื่องที่กำลัง 1.200 กิโลวัตต์

Na-24 =21734 Bq/l Mn-56 = 12586 Bq/l Ar-41 = 637702 Bq/l

จากข้อมูลไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของความแรงรังสีกับกำลังเครื่องปฏิกรณ์ได้

เทคนิคการวัดความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำโดยอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย PLC นี้มีความเหมาะในการใช้งานมากกว่าแบบเก็บตัวอย่างไปวัดรังสีมาก ทั้งต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งลดอัตราเสี่ยงต้อการสัมผัสกับสารกัมมันตรังสีโดยตรง และลักษณะการเก็บตัวอย่างซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมให้เก็บตัวอย่างได้บ่อยเท่าที่ต้องการ

การวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าปริมาณสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ ซึ่งวัดที่ตำแหน่งต่างๆ จะมีค่าโดยประมาณเท่ากัน ไม่ขึ้นกับตำแหน่งและระดับความลึก ซึ่งสุ่มเก็บตัวอย่าง และปริมาณสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิจะเพิ่มขึ้นในตอนแรกและจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 4 ชั่วโมงหลังจากเครื่องปฏิกรณ์เดินได้กำลัง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความแรงรังสีจำเพาะของสารปล่อยรังสีแกมมาในน้ำระบายความร้อนร้อนปฐมภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ถ้าได้มีการศึกษาต่อไปจะเป็นประโยชน์อย่างมาก สามารถทราบถึงความเสียหายของแท่งเชื้อเพลิงได้ จึงมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัย ดังต้อไปนี้

5.2.1 เนื่องจาก Na-24 มีค่าครึ่งชีวิต 14.96 ชั่วโมง ค่าความแรงรังสีที่วัดได้เป็นค่าความแรงรังสีสะสมของ Na-24 ทั้งนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงการแก้ปัญหาการแก้ค่าสะสม ซึ่งอาจทำโดยการวัดต่อเนื่องข้ามวัน และวัดหลังจากหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลาหลายๆ วัน เปรียบเทียบกัน

5.2.2 จากการวิจัยมีค่าความคลาดเคลื่อนพอสมควร ทั้งนี้สำหรับการปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิจัยนั้น ควรมีการเก็บตัวอย่างซ้ำหลายๆ ครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Josef R.Parrington , Harold D. Knox , Susan L.Breneman , Edward M. Baum and Frank Feiner. Nuclides and Isotopes , Fifteenth Edition Revised, 1996.
2. มงคล จุลละนันทน์. ระบบวัดและควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1) พิมพ์ครั้งที่ 2. กองปฏิกรณ์ปฏิบัติ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ , 2540.
3. วิทยา ตรุณาวงษานนท์. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
4. ยุทธพงศ์ บุษมงคล. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยในประเทศไทย กองปฏิกรณ์ปฏิบัติ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ , 27 พ.ค.2531
5. Idris Bin Besar. Installation,Calibration and Independent Verification of the Performance of a Primary Water Radioactivity Monitor in a One Megawatt TRIGA Research Reactor. Master's thesis Oregon State University. ,June 1982.
6. Jointly Organised by Bhabha Atomic Research Centre ,Mumbai Government of India and International Atomic Energy Agency ,Vienna IAEA Regional Basic Professional Training Course on Radiation Protection 1998.
7. Manual for the Operation of Research Reactors , IAEA Technical Reports Series No.37,1965.
8. วิทิต เกษคุปต์. การตรวจสอบการรั่วของแท่งเชื้อเพลิงของ ปปว-1 กองสุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ , 2515.

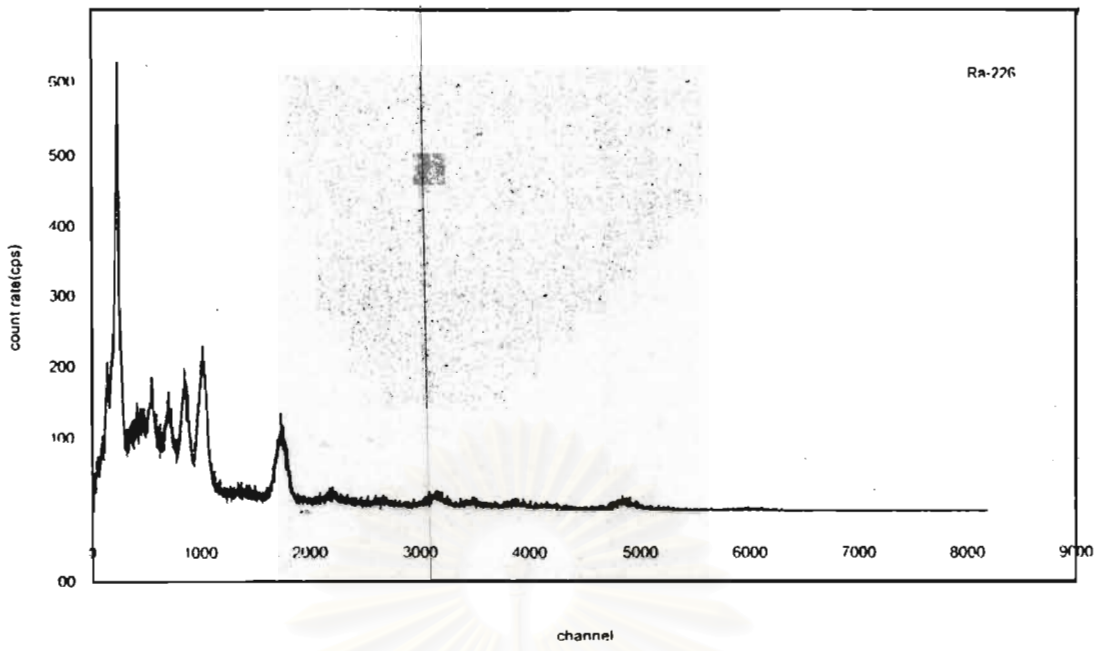
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

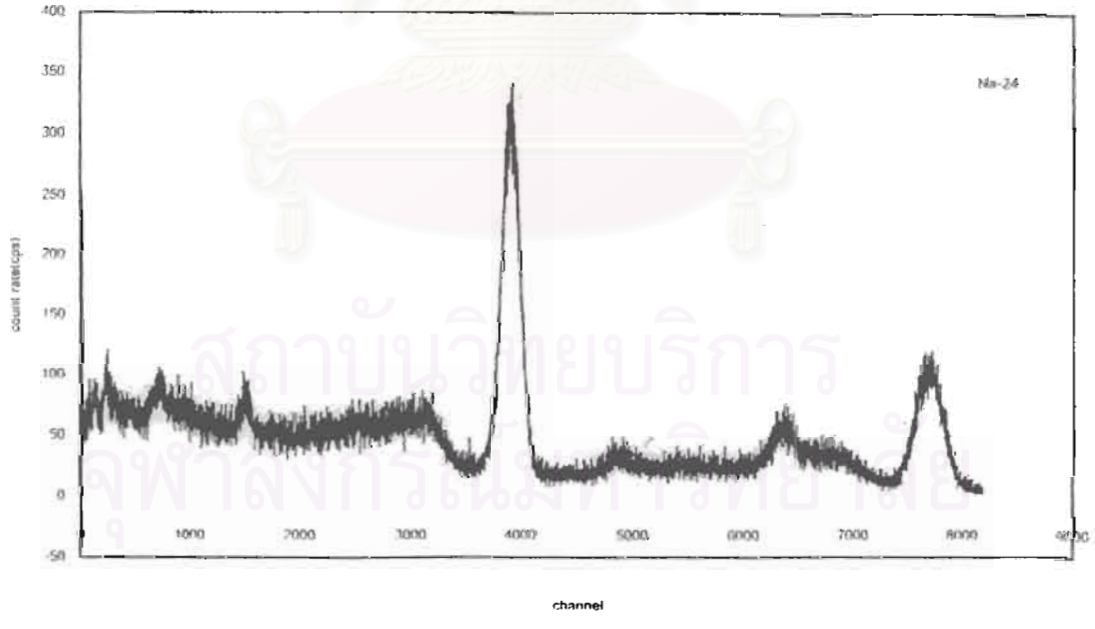
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

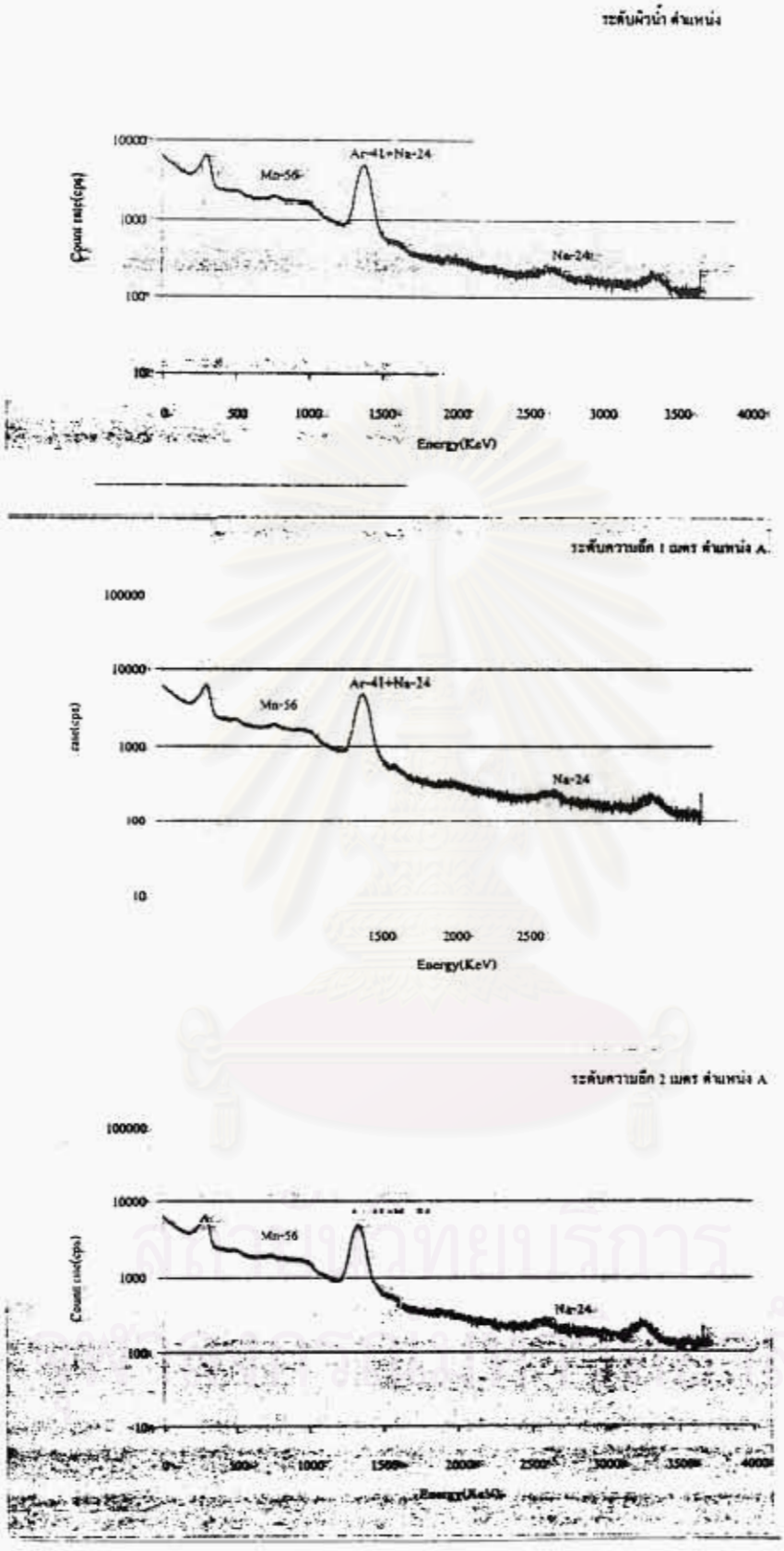
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



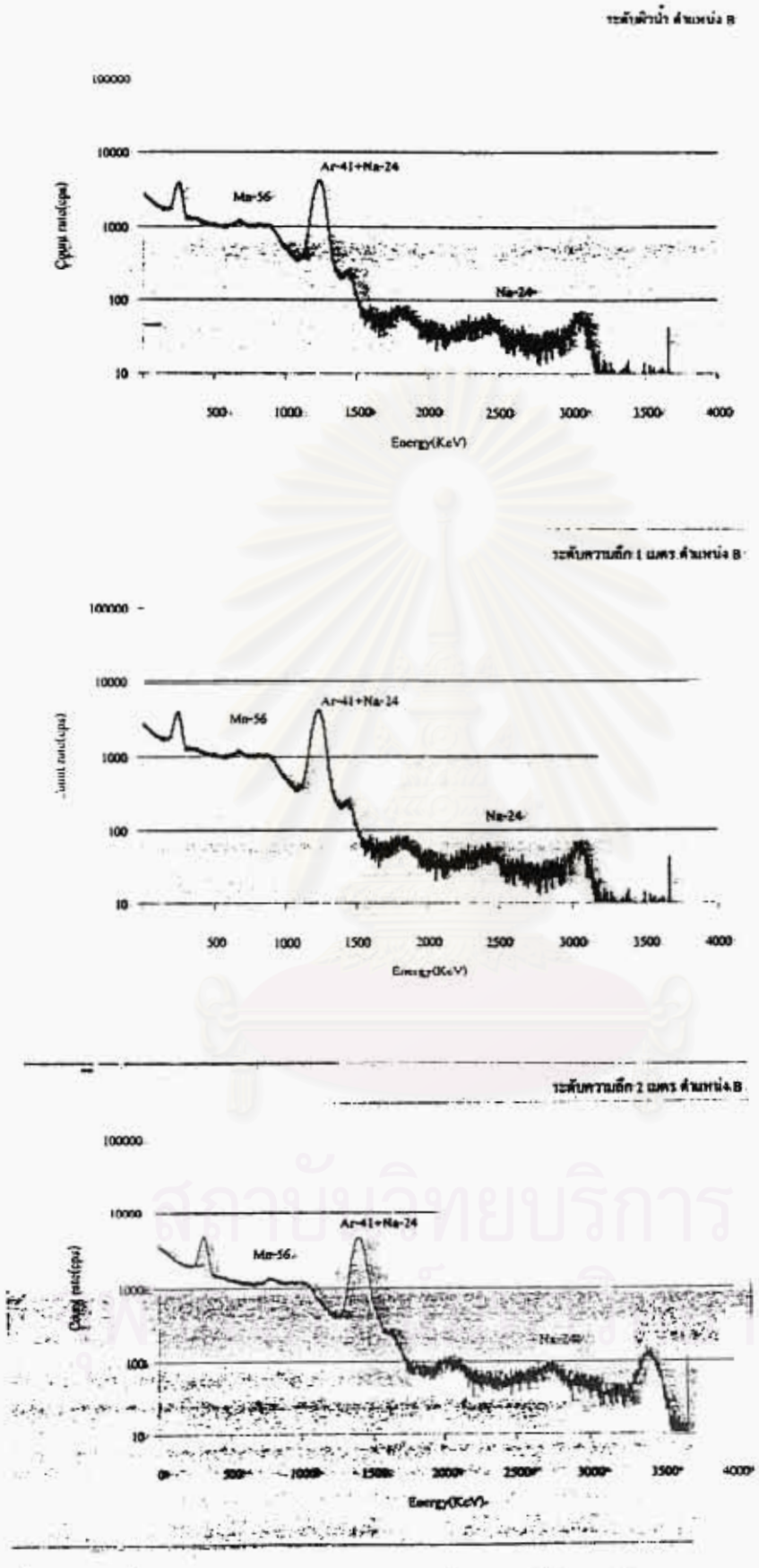
รูปที่ ก.1 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาของเรเดียม-226



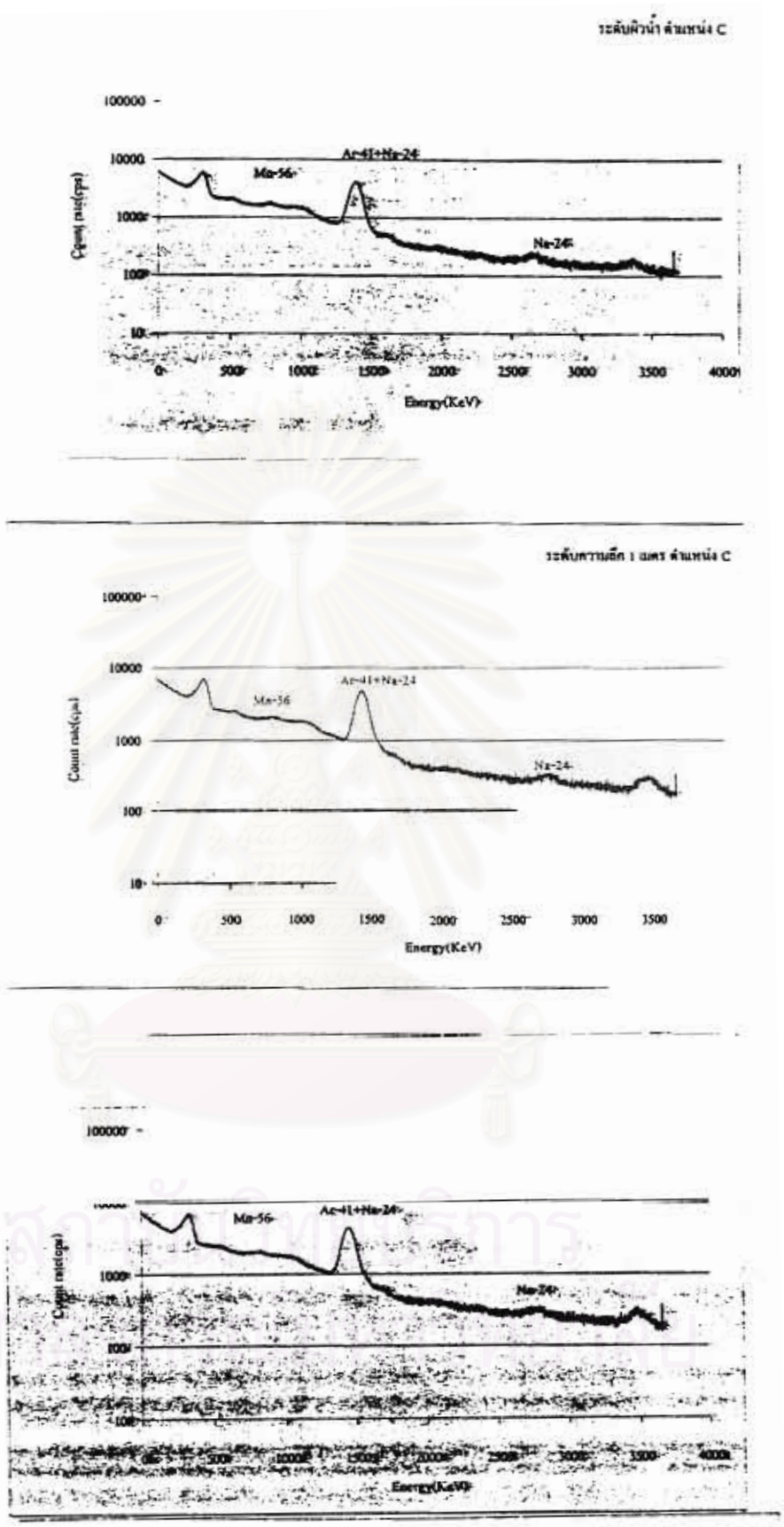
รูปที่ ก.2 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาของโซเดียม-24



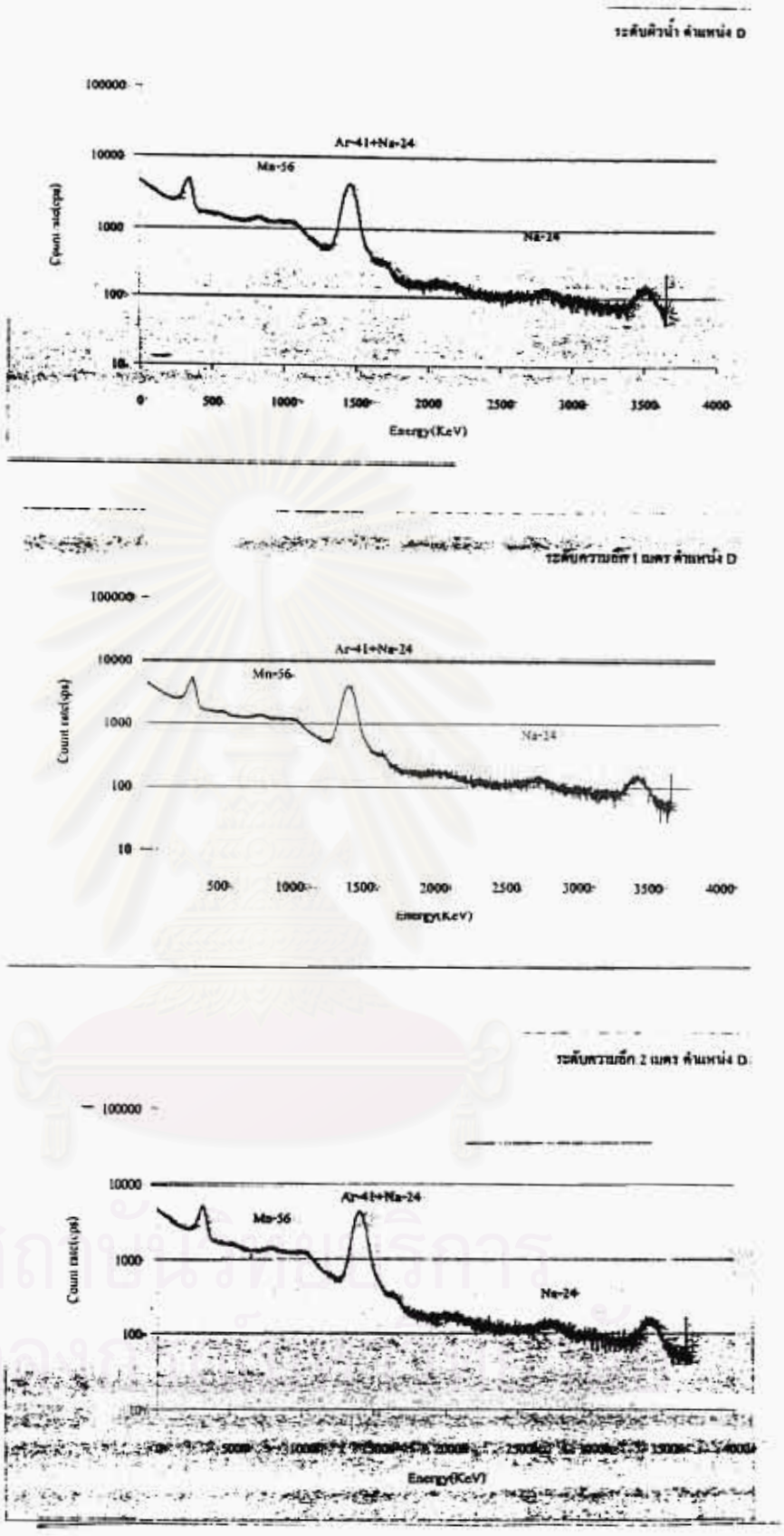
รูปที่ ก.3 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A
วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัด



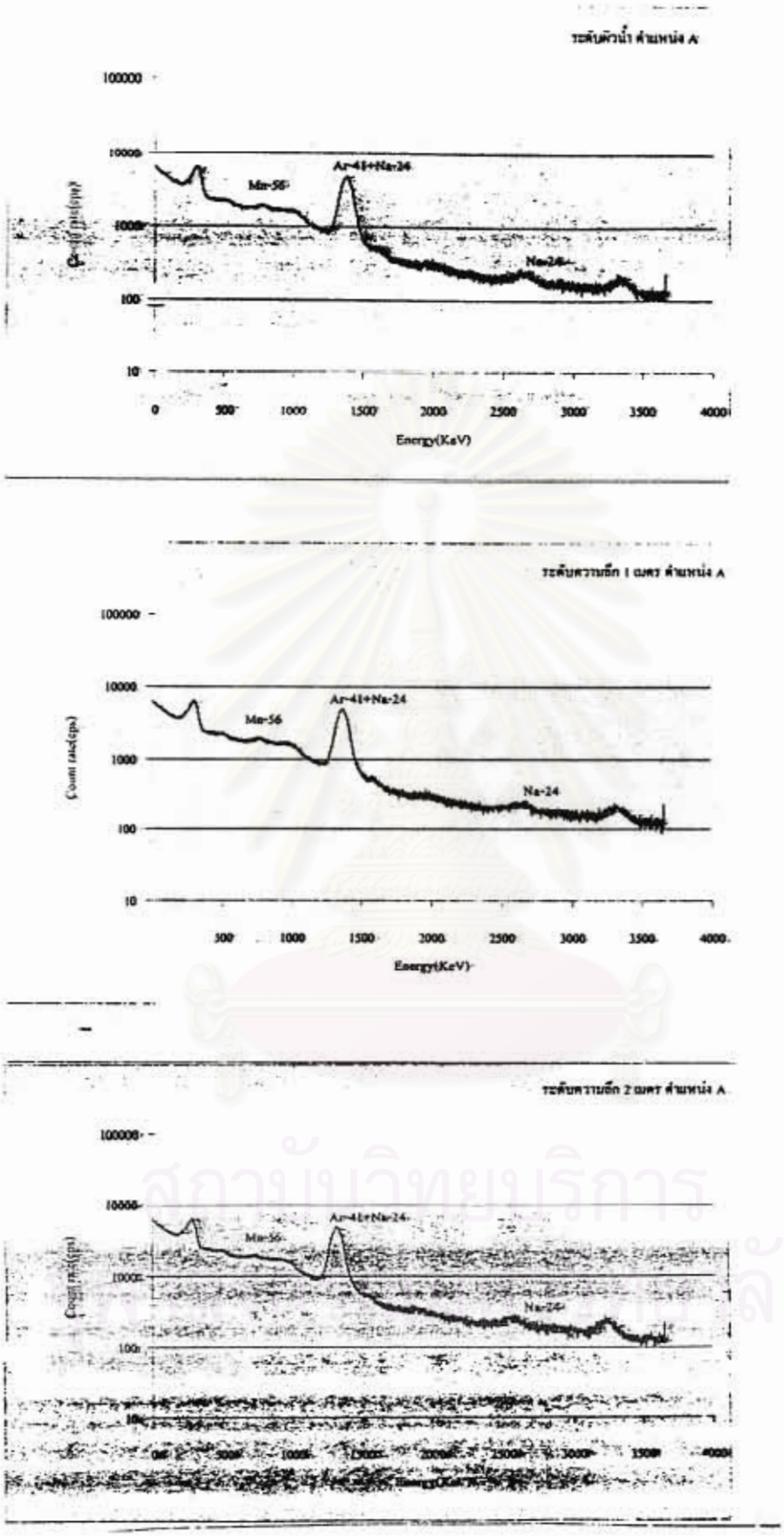
รูปที่ ก.4 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง B
วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัด



รูปที่ ก.5 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง C
วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัด

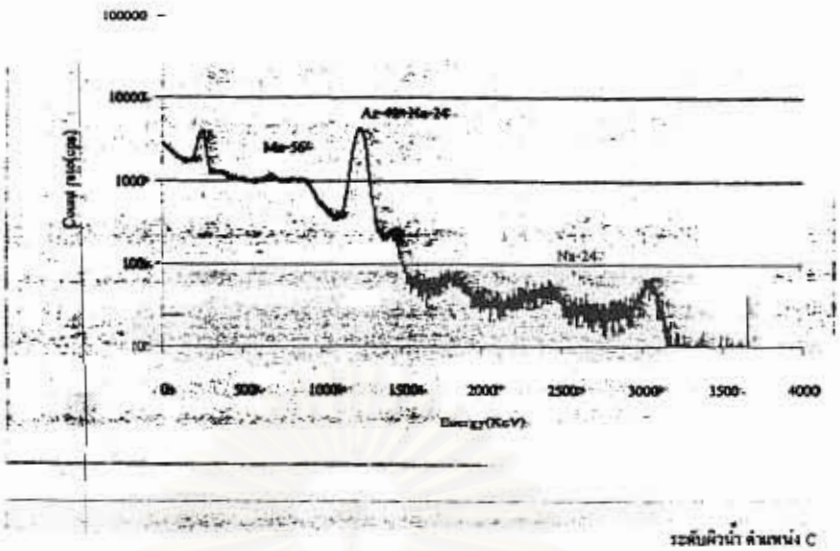


รูปที่ ก.6 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง D
วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างไปวัด

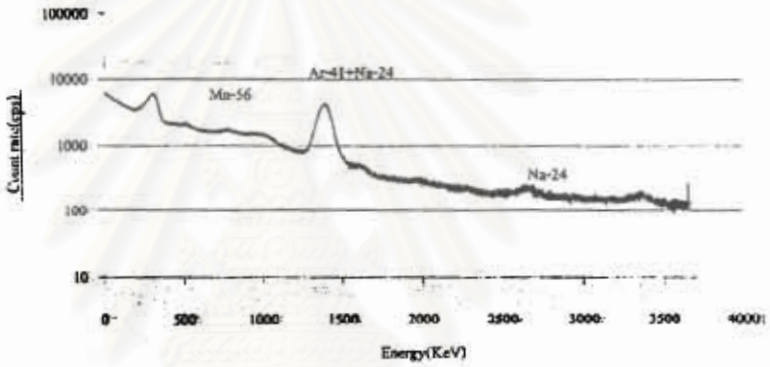


รูปที่ ก.7 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A
วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

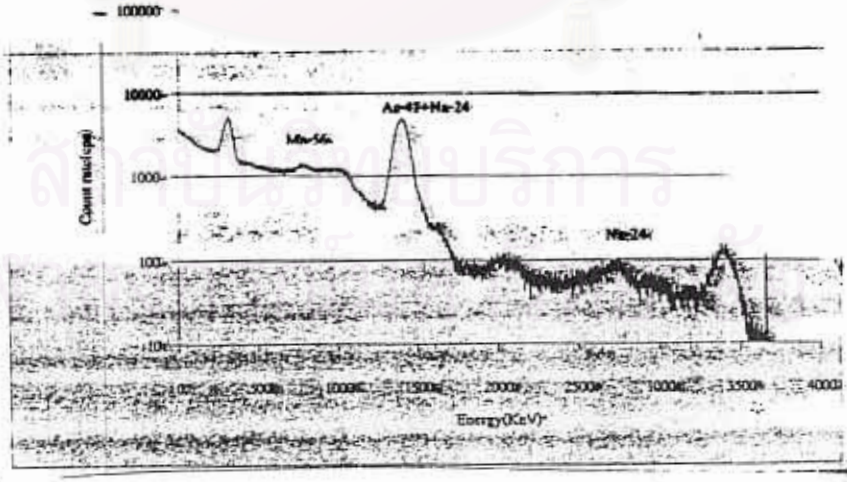
ระดับผิวน้ำ ตำแหน่ง B



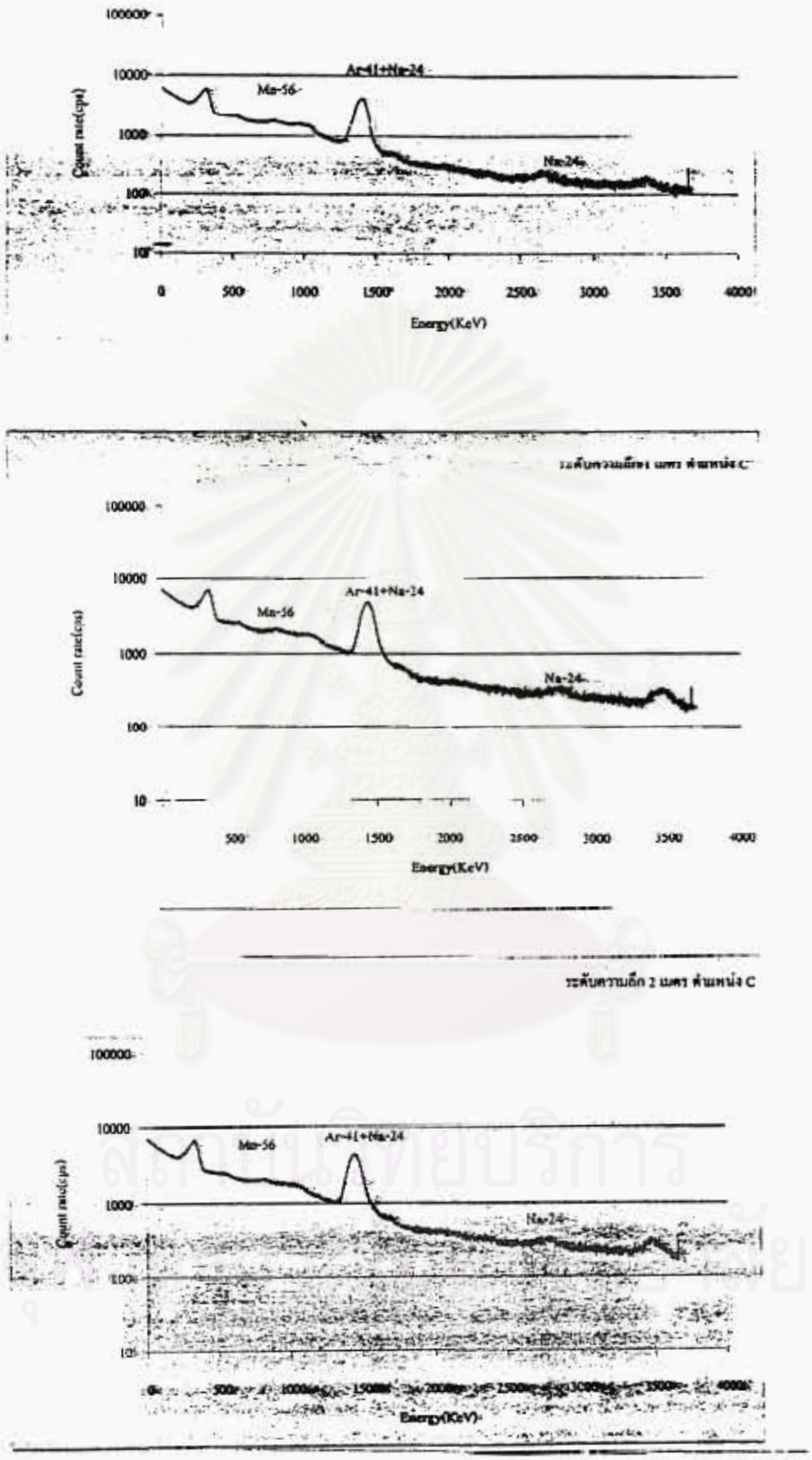
ระดับผิวน้ำ ตำแหน่ง C



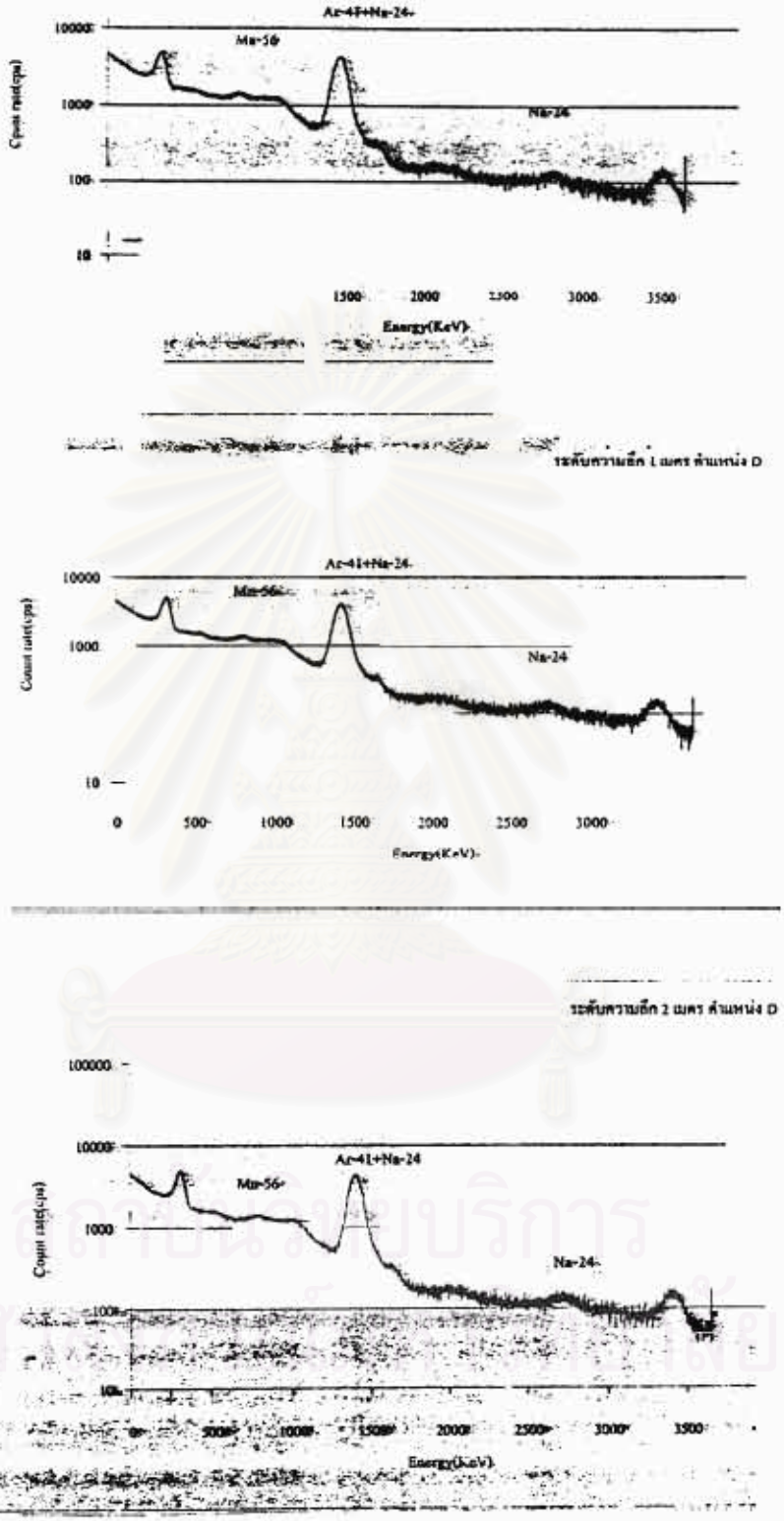
ระดับความลึก 2 เมตร ตำแหน่ง B



รูปที่ ก.8 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง B
วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง



รูปที่ ก.9 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง C
วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างตัวอย่างแบบต่อเนื่อง



รูปที่ ก.10 สเปกตรัมของพลังงานรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง D

- วัดที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างตัวอย่างแบบต่อเนื่อง

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Model 802
Scintillation Detectors

Features

- Guaranteed resolution
- Low mass housing
- Less than 0.5 ppm of potassium
- Mu metal magnetic light shield

Description

The Model 802 Scintillation Detector is a hermetically sealed assembly which includes a high resolution NaI(Tl) crystal, a photomultiplier tube, an internal magnetic/light shield, an aluminum housing, and a 14-pin connector.

The 802 series of NaI(Tl) detectors provides high efficiency and uniform response on both the cylindrical and well configurations. These detectors have a proven record of long term reliability and stability.

Any Model 802 assemoly plugs directly into the Model 2007 Tube Base which provides power for the photomultiplier tube. Alternatively, the Model 802 can plug into the Model 2007P combination tube base and preamplifier.

Many crystal sizes are available, with the most common sizes listed below. Consult the factory for information on other sizes.

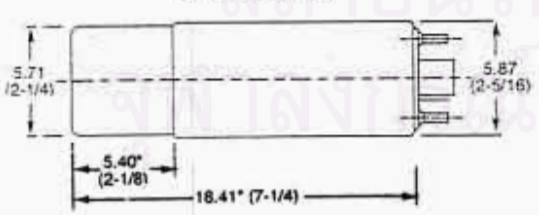
Model	Crystal Size mm (in.)	Resolution*†	Outline Drawing	Well Dimensions mm (in.) D	Well Dimensions mm (in.) L
802-2 x .5	51 x 13 (2 x .5)	15%	A	N.A.	N.A.
802-2 x 2	51 x 51 (2 x 2)	8.5%	A	N.A.	N.A.
802-2 x 2W	51 x 51 (2 x 2)	9.0%	B	16.66 (0.656)	39.27 (1.546)
802-3 x 3	76 x 76 (3 x 3)	7.5%	C	N.A.	N.A.
802-3 x 3W	76 x 76 (3 x 3)	9.0%	C	16.66 (0.656)	54.40 (2.063)

*Resolution is specified at the 662 keV peak of ^{137}Cs except for 802-2 x 5 which is specified at 122 keV.

Specifications

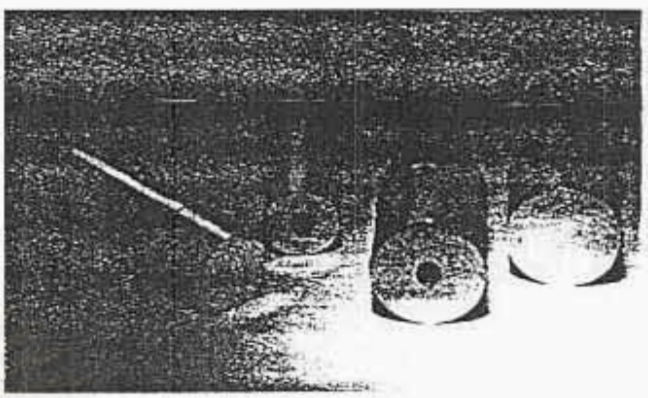
WINDOW – Aluminum, 0.5 mm thick; density 147 mg/cm^2
REFLECTOR – Oxide; 1.6 mm thick; density 88 mg/cm^2
MAGNETIC/LIGHT SHIELD – Conetic lined steel
TYPICAL OPERATING VOLTAGES:
Cathode to Anode +1100 V dc
Dynode to Dynode +80 V dc
Cathode to Dynode +150 V dc

Outline Drawing A



Weight = 0.77 kg (1.7 lb)

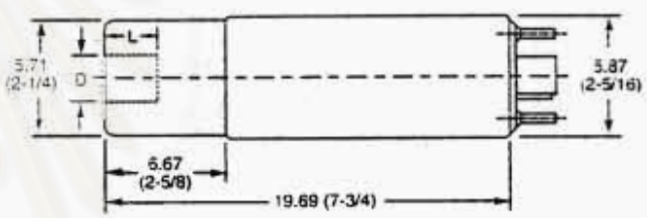
*Deduct 2.8 (1.5) for 802-2 x .5



OPTIONS

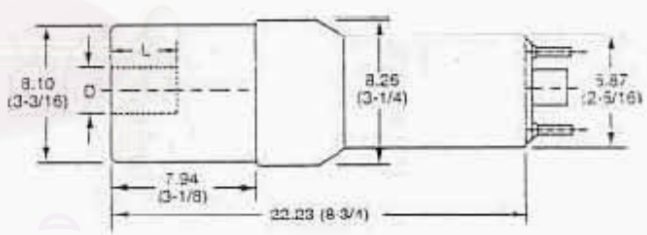
Model 2007 Tube Base with voltage divider and focus control.
Model 2007P Tube Base with voltage divider, focus control, and preamplifier.

Outline Drawing B



Weight = 0.77 kg (1.7 lb)

Outline Drawing C



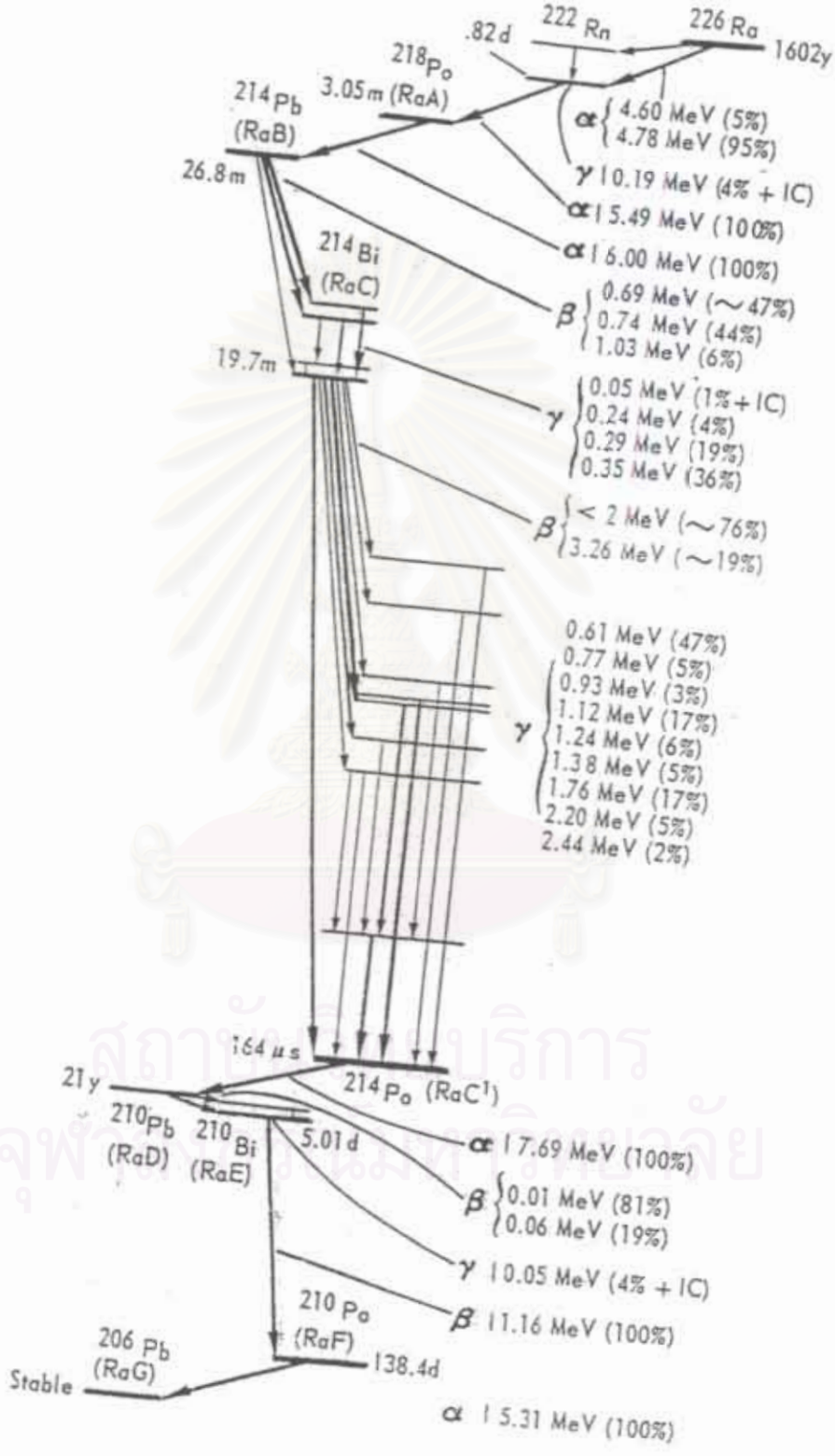
Weight = 1.5 kg (4 lb)

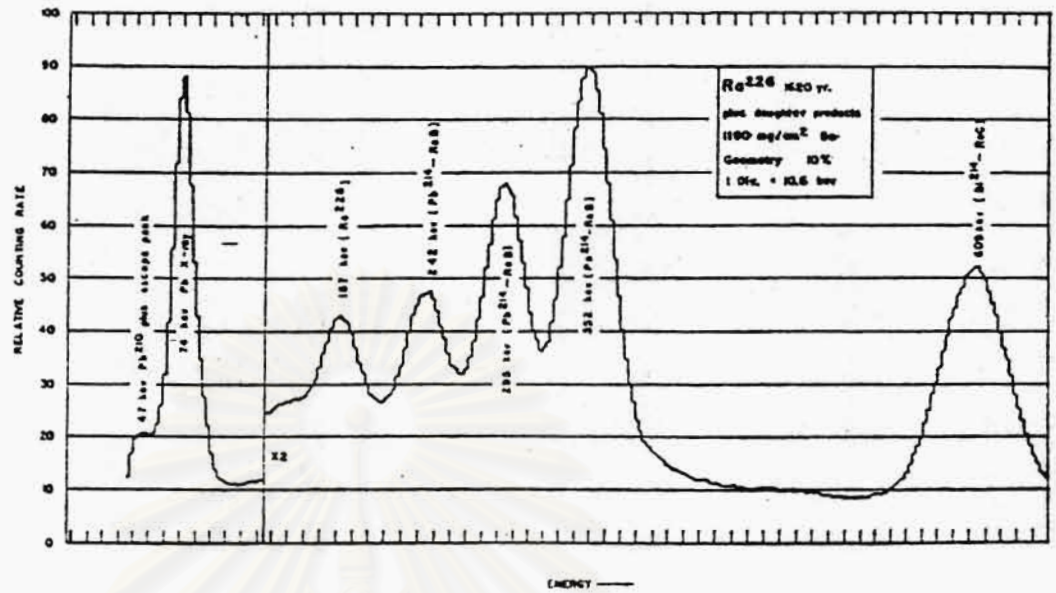
Dimensions in the Outline Drawings are in cm (in.)

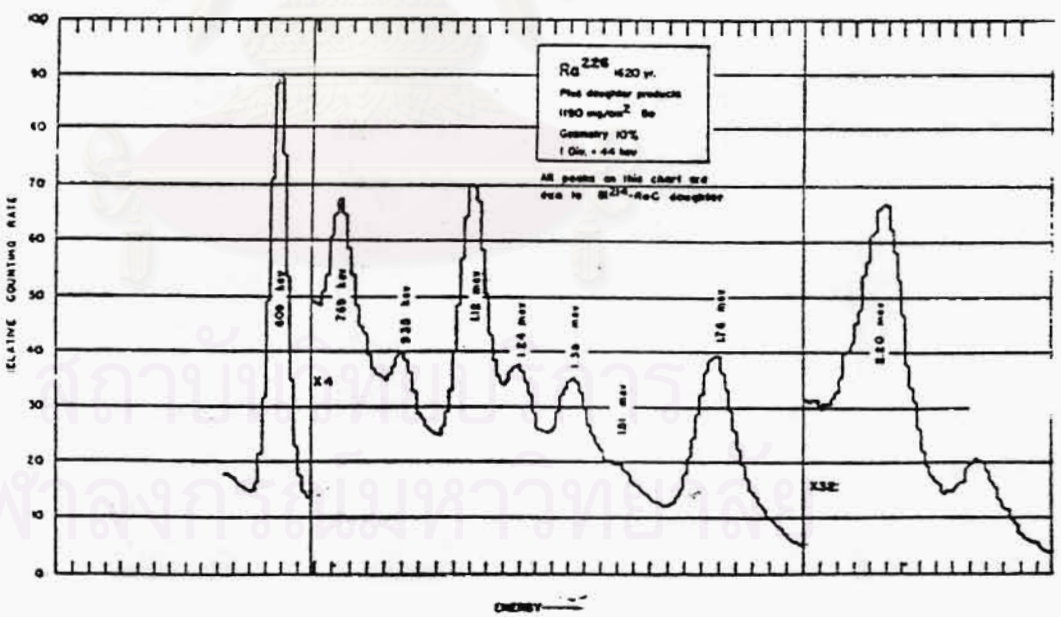
ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ค. การสลายตัวของเรเดียม







รูปที่ ค.2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของเรเดียม

ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แกรมคำสั่งของเครื่อง PLC

00 Clear Group 2/2,Data

Clear Group 2/2.Time

Changer Advance

Sleep for min

Wait for Sample Changer

Sleep for min

equire Group 2/2.S

Preset Group 2/2 Live 6000

Preset Group 2/2,True Time 6000

Save Group 2/2. Data Spectrum Device Disk SDnnnn.MCA

Sa Group 2/2 Data ROI Device Dis Dnnnn.MC.

Save Group /2, Data Setup Device Disk Dnnnn.MCA

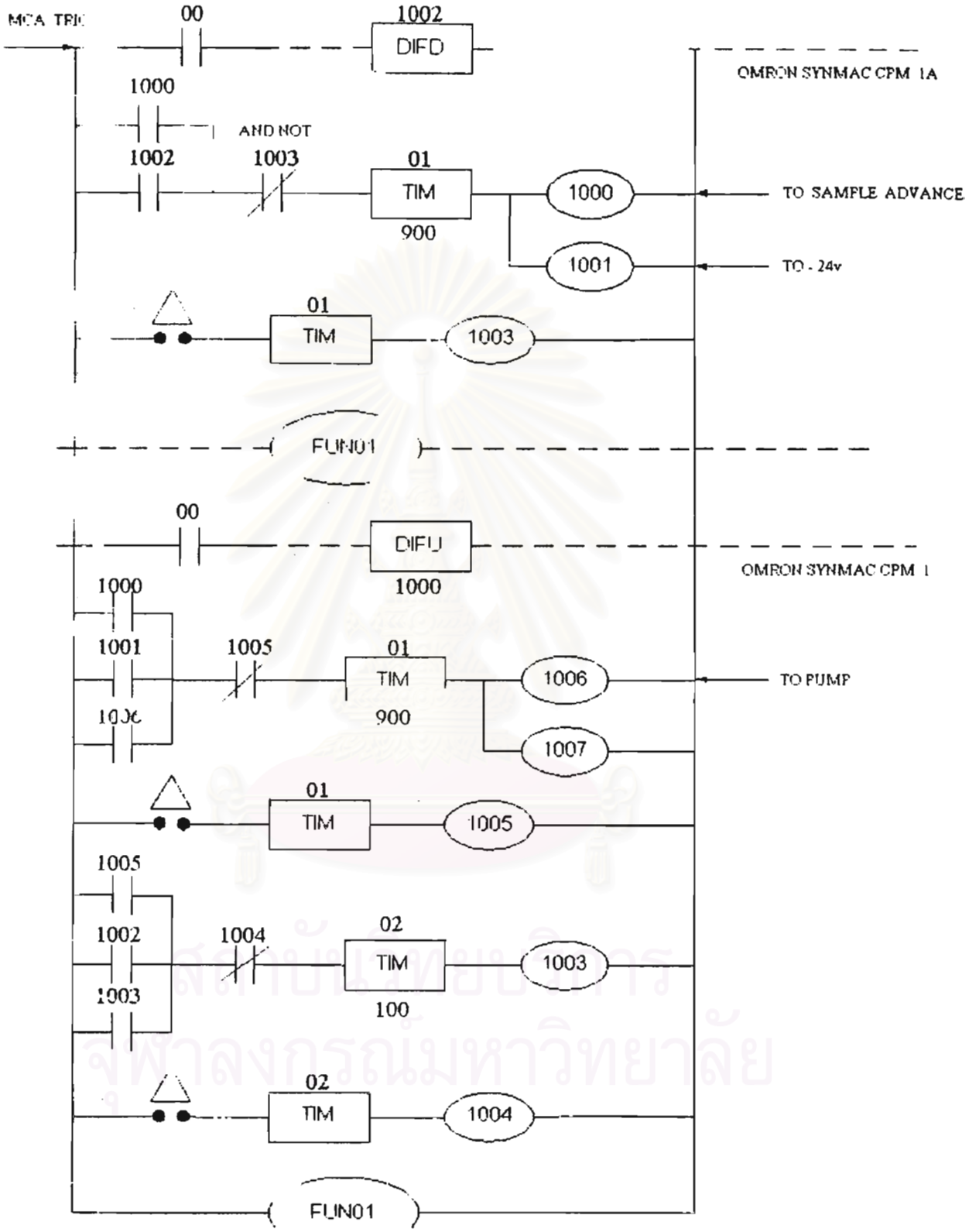
Sleep for แปรตามเวลาที่ต้องการเว้นช่วงห่างของ เก็บตัวอย่าง

Go To Step เมื่อต้องการเก็บตัวอย่างห เดตัวอย่าง ในแต่ วัน

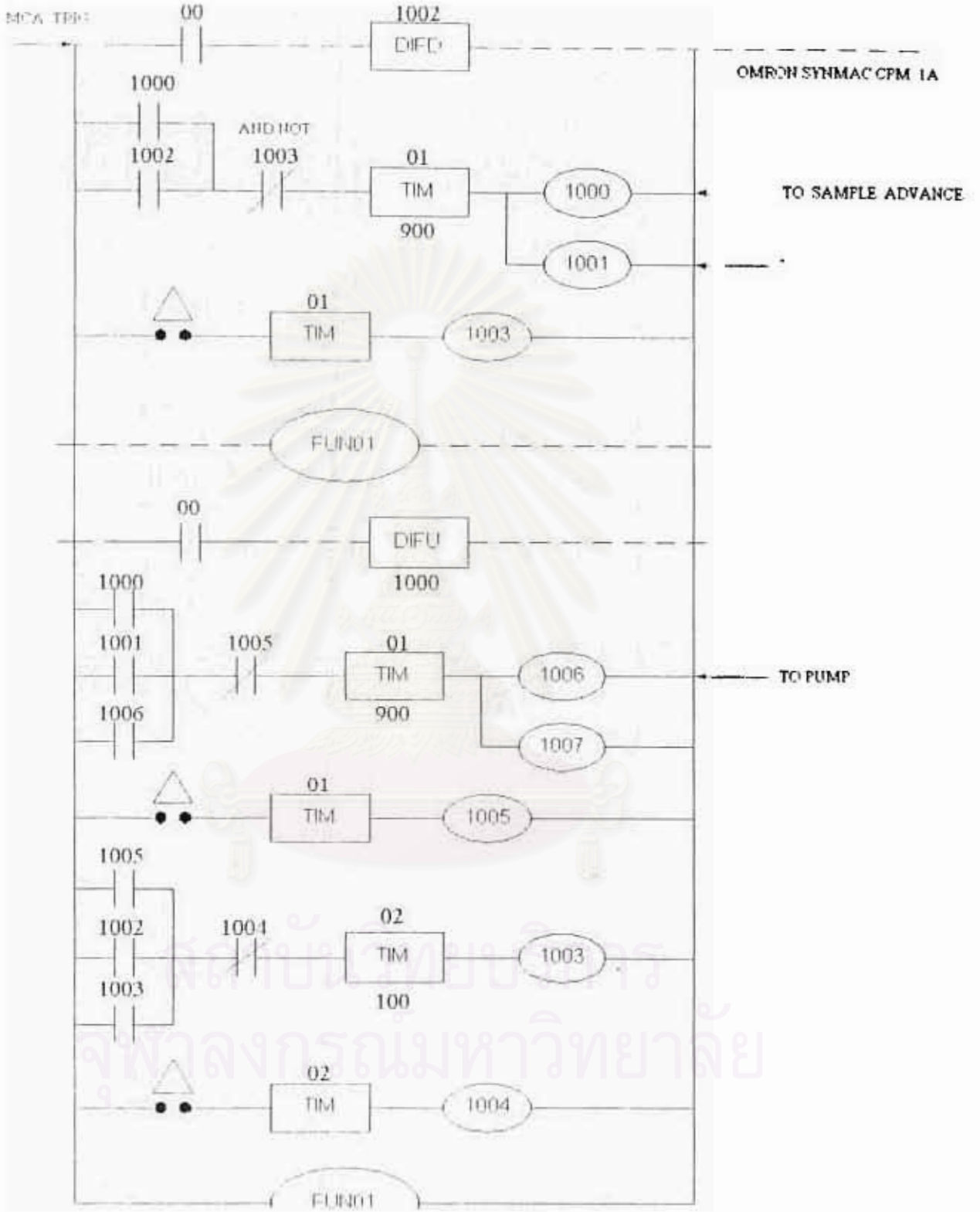
End Track (ใช้ เมื่อต้ ยุต เก็บตั อยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LADDER DIAGRAM FOR COOLANT SAMPLE CHANGER



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


MCA TRG
00
1002
DIFD
OMRON SYNMAC CPM 1A
1000
AND NOT
1002
1003
01
TIM
900
1000
TO SAMPLE ADVANCE
1001
01
TIM
1003
FUN01
00
DIFU
1000
1000
1001
1005
01
TIM
900
1006
TO PUMP
1006
1007
01
TIM
1005
1005
1002
1004
02
TIM
100
1003
1003
02
TIM
1004
FUN01

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเพ็ญนภา เครือเขียว เกิดวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2514 จังหวัดนครปฐม สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ในปีการศึกษา 2535 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 เข้ารับราชการในตำแหน่งนักฟิสิกส์รังสี สังกัดกองสุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย