การวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก
โดยใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง

MEASUREMENT OF HEAVY WATER CONCENTRATION BY INTERMEDIATE NEUTRON MODERATION

โดย

ผศ. ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

วท.บ. (เคมี), วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

ผศ. นเรศร์ จันทน์ขาว

วท.บ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป), วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการวิจัย เลขที่ 121 – EEC – 2534

ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์ งบประมาณแผ่นดินปี 2535

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพ ฯ

มีนาคม 2536

จฬ
วศ 15
007508

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสารฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวัดความเข้มข้นของน้ำหนักหนักโดยใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง

MEASUREMENT OF HEAVY WATER CONCENTRATION BY INTERMEDIATE NEUTRON MODERATION

โดย

ผศ. ศิริวัลยา บัญชรเทวกุล

วท.บ.(เคมี), วศ.ม.(นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

ผศ. นเรศร์ จันทน์ขาว

วท.บ.(วิทยาศาสตร์ทั่วไป), วศ.ม.(นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการวิจัยเลขที่ 121-EEC-2534

ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์ งบประมาณแผ่นดินปี 2535

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

มีนาคม 2536

23 ส.ค. 2547

I 31825461 8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษา เทคนิคการวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วงร้อยละ 0 ถึง 100 โดยโมล โดยการใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง นิวตรอนเร็วที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสีอเมริเซียม-241/เบริลเลียม ความแรง 1.11 กิกะเบคเคอเรล จำนวน 3 ตัว ถูกหน่วงความเร็วลงก่อนด้วยโพลีเอทิลีน แล้วใช้แผ่นแคดเมียมและโบรอนกรองนิวตรอนช้าออกไป เพื่อให้เหลือแต่นิวตรอนพลังงานปานกลางผ่านไปถึงตัวอย่าง ระบบเริ่มแรกใช้ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร โดยให้นิวตรอนพลังงานปานกลางตกกระทบด้านหนึ่งของตัวอย่าง และมีหัววัดรังสีนิวตรอนช้าชนิด NE905 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร วางอยู่ที่ด้านตรงกันข้าม ผลการวิจัยพบว่าความเข้มรังสีนิวตรอนช้าลดลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักเพิ่มขึ้น ระบบที่สองได้จัดให้นิวตรอนพลังงานปานกลางผ่านไปยังตัวอย่างโดยรอบทิศทาง โดยมีหัววัดรังสี NE905 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร จุ่มอยู่ในตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 500 มิลลิลิตร ซึ่งก็ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มของรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในลักษณะเดียวกันโดยมีความเข้มรังสีและความไวเพิ่มขึ้น ความเที่ยงตรงในการวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักมีค่าอยู่ในช่วงดีกว่า $\pm$ ร้อยละ 0.5 (2σ)โดยโมล สำหรับเวลานับรังสี 1000 วินาที ส่วนความแม่นยำขึ้นอยู่กับกระบวนการสร้างกราฟปรับเทียบ

ABSTRACT

A technique for measurement of heavy water concentration in the range of 0 to 100 % by mole using intermediate neutron moderation was experimentally investigated. Fast neutrons, emitted from three 1.11 GBq ^{241}Am/Be sources, were first slowed down by using polyethylene then the slow neutrons were filtered out using cadmium and boron sheets allowing only intermediate neutrons to reach the sample. In the first set-up, the system was arranged so that the intermediate neutron beam was incident only on one side of the 100 ml sample while a 2.5 cm diameter, 0.3 cm thick NE905 detector was placed on the other side to measure slow neutrons. It was found that the intensity of thermal neutrons decreased with increasing heavy water concentration. In the second set-up, the system was arranged so that the intermediate neutrons were incident to the sample from all directions. A 2.5 cm diameter, 1 cm thick NE905 detector was submerged in a 500 ml heavy water sample. Similar relationship between the thermal neutron intensity and heavy water concentration was obtained with increase in the intensity and the sensitivity. The precision of the measurement was found to be better than $\pm$ 0.5% (2σ) by mole of heavy water concentration for 1000s counting time with the accuracy depending upon the calibration procedure.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี และขอขอบคุณฝ่ายวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวกับทุนวิจัยด้วยดีเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

Abstract ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

รายชื่อตาราง ..... ง

รายชื่อรูป ..... จ

1. บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 2

1.5 การพัฒนาวิธีวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก 2

2. หลักการที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักด้วยนิวตรอนพลังงานปานกลาง 3

3. วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย 8

3.1 การจัดระบบแบบส่งผ่านนิวตรอนด้านเดียว 8

3.2 การจัดระบบแบบส่งผ่านนิวตรอนรอบทิศทาง 13

4. ข้อสรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 25

5. เอกสารอ้างอิง 27

6. ภาคผนวก 28

ภาพถ่ายอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวิจัย 28

เลขหมู่ วศ
วศ 15
เลขทะเบียน 007508
วัน,เดือน,ปี 22 ก.ย. 36

รายชื่อตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1	ค่า Cross Section, ค่า Slowing-Down Power และจำนวนครั้งในการชนของนิวตรอนเร็ว และนิวตรอนพลังงานปานกลาง ในการลดพลังงานเป็นเทอร์มอลนิวตรอน	4
2	ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่นิยมใช้กัน	5
3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก เมื่อใช้ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และจัดระบบแบบส่งผ่านนิวตรอนด้านเดียว	11
4	จำนวนนับรังสีนิวตรอนช้าที่ตำแหน่งหัววัดรังสีต่างกัน เมื่อจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีรอบทิศทาง	15
5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

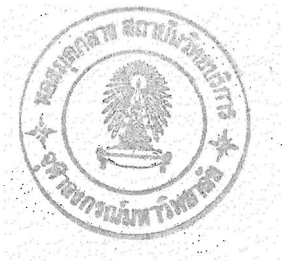
รายชื่อรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1	สเปกตรัมของนิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนบางชนิดและเทอร์มอลนิวตรอน	6
2	ค่าภาคตัดขวางการดูดกลืนนิวตรอนของแคดเมียม โบรอน แกโดลิเนียม และ ไฮโดรเจน	6
3	หลักการของการใช้รังสีนิวตรอน เพื่อหาปริมาณไฮโดรเจนหรือความชื้นในวัสดุ	7
4	แผนผังระบบวัดรังสีนิวตรอนช้าที่ใช้หัววัดรังสี NE905	9
5	แผนภาพการจัดระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนด้านเดียว เมื่อใช้ตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 100 มิลลิลิตร	9
6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก เมื่อใช้ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และ จัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนด้านเดียว	12
7	แผนภาพการจัดระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนแบบรอบทิศทาง เมื่อใช้ตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 500 มิลลิลิตร	14
8	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้าจากน้ำ 500 มล. จากแบลงค์ และอัตราส่วนจำนวนนับรังสีที่ระยะหัววัดรังสีต่างๆกัน	16
9	แผนภาพแสดงการจัดวางภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 500 มล. และหัววัดรังสีนิวตรอนช้า ในขณะทำการวัดรังสี	18
10	ตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้จากตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่าง ๆกัน	19
11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ในช่วงร้อยละ 0-100 โดยโมล เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มล. และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง	21

รายชื่อรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ในช่วงร้อยละ 0 - 60 โดยมวล เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มล. และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง	22
13	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วงร้อยละ 60-100 โดยมวล เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มล. และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง	23
14	แผนภาพตัวอย่างการจัดอุปกรณ์วัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก สำหรับระบบต่อเนื่อง	26
ผ1	ส่วนประกอบของหัววัดรังสีนิวตรอนแบบแก้วเรืองรังสี NE905	28
ผ2	ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนัก	28
ผ3	พาราฟินสำหรับบรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน	29
ผ4	ลักษณะการวางภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนัก ขณะทำการวัดรังสี	29
ผ5	อุปกรณ์นับแบบหลายช่อง และไมโครคอมพิวเตอร์	30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

น้ำชนิดหนัก หมายถึง น้ำที่มีอะตอมของไฮโดรเจนเป็นไอโซโทปไฮโดรเจน-2 ที่เรียกว่า ดิวทีเรียม (deuterium, D) สูตรทางเคมีของน้ำชนิดหนัก คือ D_2O น้ำชนิดหนักมีความสำคัญมากในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมนิวเคลียร์ เพราะเป็นตัวหน่วงความเร็วนิวตรอน (neutron moderator) ที่ดีที่สุดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบฟิสชัน (fission) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบที่ใช้น้ำชนิดหนักเป็นตัวหน่วงความเร็วนิวตรอน ตัวสะท้อนนิวตรอน และ/หรือตัวระบายความร้อน จะต้องรักษาระดับความเข้มข้นให้อยู่ในระดับที่สูงตามต้องการ เพราะน้ำชนิดหนักสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นลดลง การวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักจึงมีความสำคัญในการเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบนี้ รวมทั้งในกระบวนการทำให้น้ำชนิดหนักที่ใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่อีก ในกระบวนการผลิตน้ำชนิดหนักมีความจำเป็นต้องวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วงกว้าง คือ ตั้งแต่ประมาณร้อยละ 0.015 โดยโมลในน้ำตามธรรมชาติ จนถึงน้ำชนิดหนักบริสุทธิ์ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 100 จากการค้นพบปฏิกิริยา "โคลด์ฟิวชัน(cold fusion)" ของ S. Ponds และ M. Fleischmann [1] เมื่อต้นปี 1989 ทำให้น้ำชนิดหนักมีความสำคัญมากขึ้น เพราะปฏิกิริยาที่ค้นพบเกิดขึ้นจากเซลไฟฟ้า(electrolytic cell) ที่มีโลหะพาลาเดียม (paladium, Pd) และพลาตินัม (platinum, Pt) เป็นขั้วไฟฟ้า และมีน้ำชนิดหนักเป็นอิเล็กโตรไลต์ (electrolyte)

วิธีวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีแมสสเปกโตรสโคปี (mass spectroscopy) และวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (infrared spectroscopy) วิธีแรกมีความไวและความแม่นยำสูง แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้เวลานาน วิธีหลังสามารถใช้งานได้ในช่วงความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักสูงมากเท่านั้น วิธีทั้งสองต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเหมาะกับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

เมื่ออนุภาคนิวตรอนชนกับโมเลกุลของน้ำธรรมดา (H_2O) จะลดความเร็วลงได้ดีกว่าเมื่อชนกับโมเลกุลของน้ำชนิดหนัก (D_2O)มาก ดังนั้นถ้าวัดผลที่เกิดจากการลดความเร็วของนิวตรอนก็สามารถนำไปหาความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักได้ อย่างไรก็ตามหากใช้นิวตรอนเร็ว (พลังงานสูง) อย่างที่ใช้กันโดยทั่วไปในการวัดความชื้นจะมีความไวต่ำและต้องใช้ตัวอย่างปริมาณ

มาก จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง ในการหาปริมาณไฮโดรเจน และความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วงร้อยละ 0 - 100 โดยโมลเพื่อให้มีความไวสูงขึ้น และใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยลง เทคนิคนิวตรอนมีจุดเด่นตรงที่สามารถใช้งานได้ในช่วงความเข้มข้นกว้าง ให้ผลได้รวดเร็ว ไม่ต้องมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและไม่ต้องมีชิ้นส่วนใดสัมผัสตัวอย่าง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักโดยใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษา ออกแบบ และจัดระบบวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักด้วยรังสีนิวตรอนพลังงานปานกลาง โดยใช้หัววัดรังสีเบบแก้วเรืองรังสี (glass scintillator) NE905 และ ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนชนิด อเมริเซียม-241/เบริลเลียม (americium-241/beryllium, $^{241}Am/Be$)

1.3.2 เพื่อศึกษาความไวของระบบและปรับปรุงพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพสูง

1.3.3 เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานในระบบต่อเนื่อง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ได้ระบบวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักที่สามารถใช้ในงานได้ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0 ถึง 100 โดยโมล ซึ่งให้ผลได้รวดเร็ว สะดวกในการใช้งาน และสามารถดัดแปลงไปใช้งานในระบบต่อเนื่องได้

1.5 การพัฒนาวิธีการวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก

การวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักมีการพัฒนาไปไม่มากนัก กล่าวคือ นอกจากวิธีแมสสเปกโตรสโคปี และ วิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ที่ใช้กันตามปกติแล้ว ก็มีวิธีการลอยตัว (floating method) [2] วิธีนี้ใช้วัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วง ความเข้มข้นต่ำได้ดี เครื่องมือที่ใช้ราคาไม่แพง และใช้เวลาในการวัดไม่เกิน 20 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง แต่ตัวอย่างต้องมีความบริสุทธิ์สูง ได้มีการพัฒนาการใช้เทคนิคนิวตรอนพลังงานปานกลาง [3], [4], [5]

ซึ่งสามารถใช้วัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วงร้อยละ 0 - 100 โดยมวล โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน คาลิฟอร์เนียม-252 (californium-252, ^{252}Cf) และใช้หัววัดรังสีแบบโบรอนไตรฟลูออไรด์ (boron trifluoride, BF_3) วิธีนี้ใช้วัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วงกว้างได้ดี เครื่องมือราคาไม่แพง และสามารถนำไปใช้วัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในระบบต่อเนื่องได้

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้การพัฒนาทางด้านนี้ล่าช้าอาจเนื่องมาจาก การใช้น้ำชนิดหนักมีอยู่ในวงแคบ เช่น ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบแคนดู (CANDU = Canadian Deuterium Uranium Reactor) เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบฟาสต์บรีดเดอร์(fast breeder reactor, FBR) และในงานวิจัยเฉพาะทาง แต่ในอนาคตมีแนวโน้มว่าจะมีการใช้น้ำชนิดหนักเพิ่มมากขึ้น ถ้าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิวชัน ซึ่งหลายประเทศกำลังพัฒนาอยู่ สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าพลังงานที่ป้อนเข้าไป และจากผลการทดลองของ A. Takahashi [6] พบว่าปฏิกิริยาโคลด์ฟิวชัน ซึ่งค้นพบโดย S. Ponds และ M. Fleischmann มีนิวตรอนและความร้อนเกิดขึ้นจริง ดังนั้นในอนาคตคาดว่าจะมีการศึกษาวิจัย และพัฒนาวิธีการวัด รวมทั้งการผลิตน้ำชนิดหนักเพิ่มมากขึ้น

2. หลักการที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักด้วยนิวตรอนพลังงานปานกลาง

นิวตรอนจะสูญเสียพลังงานมากที่สุดในการชนกับนิวเคลียสของไฮโดรเจน-1 เนื่องจากมีมวลใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 1 หน่วยมวลอะตอม รองลงมาก็คือ ดิวทีเรียม (ไฮโดรเจน-2) ซึ่งมีมวลประมาณ 2 หน่วยมวลอะตอม ค่าสโลวิงดาวน์-เพาเวอร์ (slowing down-power) ต่อหน่วยมวลของไฮโดรเจน-1 มีค่าสูงกว่าของดิวทีเรียมถึง 17 เท่า เมื่อไฮโดรเจน-1 และดิวทีเรียม 2 อะตอม รวมตัวกับออกซิเจน 1 อะตอม เป็นน้ำธรรมดา (H_2O) และน้ำชนิดหนัก (D_2O) ตามลำดับ ค่าสโลวิงดาวน์-เพาเวอร์ต่อหน่วยมวลของน้ำธรรมดาจึงสูงกว่าของน้ำชนิดหนักมาก กล่าวคือสูงกว่าถึงประมาณ 7.6 เท่า ดังนั้นการชนของนิวตรอนกับโมเลกุลของน้ำธรรมดาจะทำให้นิวตรอนลดพลังงานลงรวดเร็วกว่า ดังจะเห็นได้จากค่าจำนวนครั้งในการชนของนิวตรอนพลังงาน 2 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) และ 100 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เพื่อลดพลังงานลงเป็นเทอร์มอลนิวตรอน (thermal neutron) พลังงาน 0.0253 อิเล็กตรอนโวลต์ของน้ำธรรมดาและน้ำชนิดหนัก (ดังแสดงในตารางที่ 1) ความเข้มรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจึงแปรผกผันกับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก แต่หากจะเพิ่มความไวให้กับเทคนิคนี้ นิวตรอนควรจะมีพลังงานสูงกว่าเทอร์มอลนิวตรอนหรือนิวตรอนช้าไม่มากนัก เพราะต้องการจำนวน

ตารางที่ 1 ค่า Cross Section, ค่า Slowing-Down Power และจำนวนครั้งในการชนของนิวตรอนเร็ว และนิวตรอนพลังงานปานกลาง เพื่อลดพลังงานเป็นเทอร์มอลนิวตรอน

Element or compound	ξ	Σ_a at 0.0253 eV (cm^{-1})	Σ_s at 100 eV (cm^{-1})	$\xi \Sigma_s$ (cm^{-1})	Ratio of $\xi \Sigma_s$ per unit mass	Average number of collisions necessary for thermalization	
						2 MeV to 0.0253 eV	100 eV to 0.0253 eV
H*	1.000	0.0018	0.11	0.11	1	18	8
D*	0.725	2.5×10^{-6}	0.018	0.013	0.059	25	11
O*	0.12	1.1×10^{-6}	0.021	0.0025	0.001	152	69
H_2O	0.925	0.022	1.47	1.36	0.687	20	9
D_2O	0.504	3.6×10^{-5}	0.35	0.18	0.082	36	16

Notes: * = calculated from the density at 0 degree celcius, 100 atm

ξ = average logarithmic energy decrement

Σ_a = macroscopic absorption cross section

Σ_s = macroscopic scattering cross section

$\xi\Sigma_s$ = slowing-down power

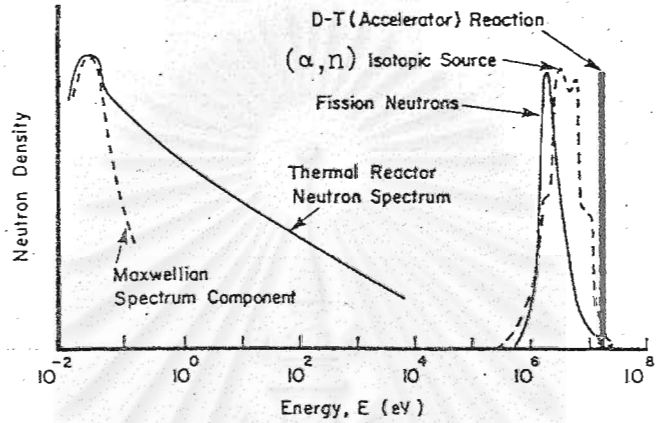
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนบางชนิดที่นิยมใช้กัน

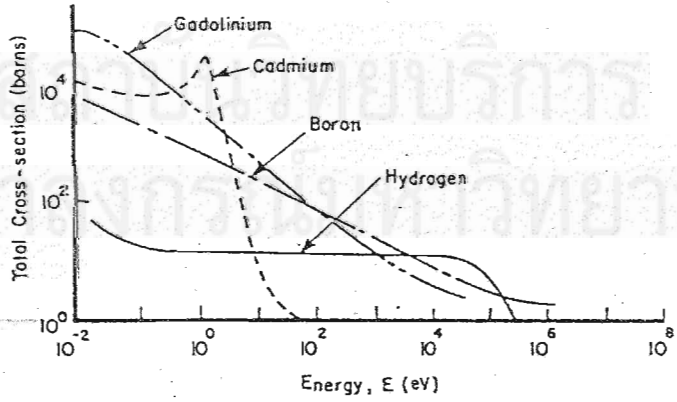
Source	Type	Neutron Energy (MeV)	Half-Life	Characteristics
^{252}Cf	self fission	2.3 (average)	2.65 y	high neutron yield, medium half-life, small size
$^{124}Sb/Be$	(γ,n)	0.024 (average)	60 d	short half-life, high gamma background
$^{238}Pu/Be$	(α,n)	4 (average)	86 y	long half-life, low gamma background
$^{241}Am/Be$	(α,n)	4 (average)	458 y	long half-life, low gamma background
Neutron Generator	DD*	3	-	high neutron output, medium energy, relatively expensive
Neutron Generator	DT**	14	-	high neutron output, high energy, relatively expensive

* DD = fusion reaction between 2 deuterium (H-2) atoms

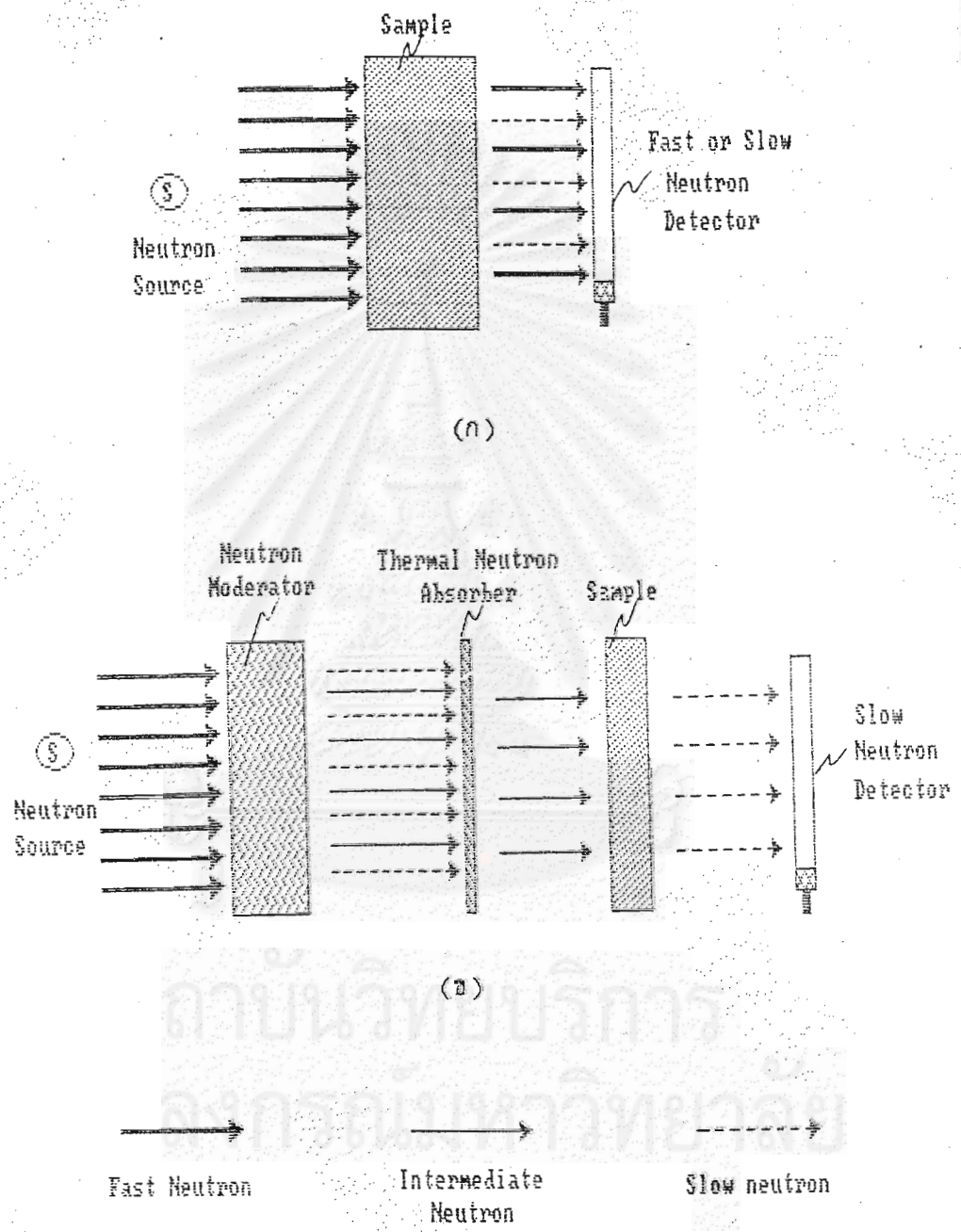
** DT = fusion reaction between deuterium and tritium (H-3) atoms



รูปที่ 1 สเปกตรัมของนิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนบางชนิดและเทอร์มอลนิวตรอน [7]



รูปที่ 2 ค่าภาคตัดขวางการดูดกลืนนิวตรอนของแคดเมียม โบรอน แกโดลิเนียม และไฮโดรเจน [7]



รูปที่ 3 หลักการของการใช้รังสีนิวตรอน เพื่อหาปริมาณไฮโดรเจน หรือความชื้นในวัสดุ

ก. ใช้นิวตรอนเร็ว

ข. ใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง

ครั้งในการชนที่น้อยกว่าการใช้นิวตรอนพลังงานสูง (หรือความเร็วสูง) และยังจะทำให้สามารถใช้ตัวอย่างที่มีปริมาตรลดลงได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ใช้กันอยู่ปลดปล่อยนิวตรอนเร็วออกมาในช่วงของเมกะอิเล็กตรอนวอลต์ทั้งสิ้น (ดังในตารางที่ 2 และรูปที่ 1) ทำให้ต้องมีการลดพลังงานนิวตรอนลงมาก่อนโดยให้ชนกับตัวหน่วงนิวตรอนบางชนิดเช่น น้ำ พาราฟิน (paraffin) หรือโพลีเอทีลีน (polyethylene)ซึ่งจะทำให้มีนิวตรอนช้าหรือเทอร์มอลนิวตรอนเกิดขึ้นด้วย แล้วกรองเอานิวตรอนช้าทิ้งไปเพื่อให้เหลือแต่นิวตรอนพลังงานปานกลางหรือนิวตรอนที่มีพลังงานสูงกว่าเทอร์มอลนิวตรอนไม่มาก (เรียกว่า "epithermal neutron") สำหรับใช้ในการยิงเข้าไปยังตัวอย่างน้ำชนิดหนัก แล้ววัดความเข้มของนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้น การกรองนิวตรอนช้าทิ้ง ทำได้โดยการดูดกลืนด้วยธาตุบางชนิดที่มีภาคตัดขวางในการดูดกลืน (absorption cross section) นิวตรอนช้าสูง เช่น แคดเมียม (cadmium, Cd) โบรอน (boron, B) ลิเทียม (lithium, Li) อินเดียม (indium, In) และแกโดลิเนียม (gadolinium, Gd) เป็นต้น ค่าภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนของธาตุบางชนิดแสดงไว้ในรูปที่ 2

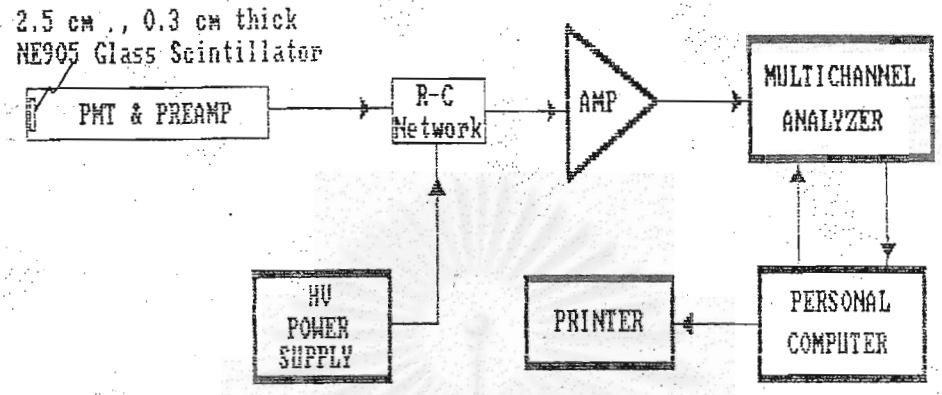
3. วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ ในขั้นแรกได้ทำการจัดระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนด้านเดียว กล่าวคือ ส่งผ่านรังสีนิวตรอนจากด้านหนึ่งของตัวอย่างไปยังหัววัดรังสีนิวตรอนที่อยู่ในด้านตรงกันข้าม และในขั้นที่สองเป็นการพัฒนาให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้การส่งผ่านรังสีนิวตรอนเข้าไปยังภาชนะบรรจุตัวอย่างรอบทิศทาง และวางหัววัดรังสีนิวตรอนอยู่ตรงกลางภาชนะบรรจุตัวอย่าง การวิจัย 2 ขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

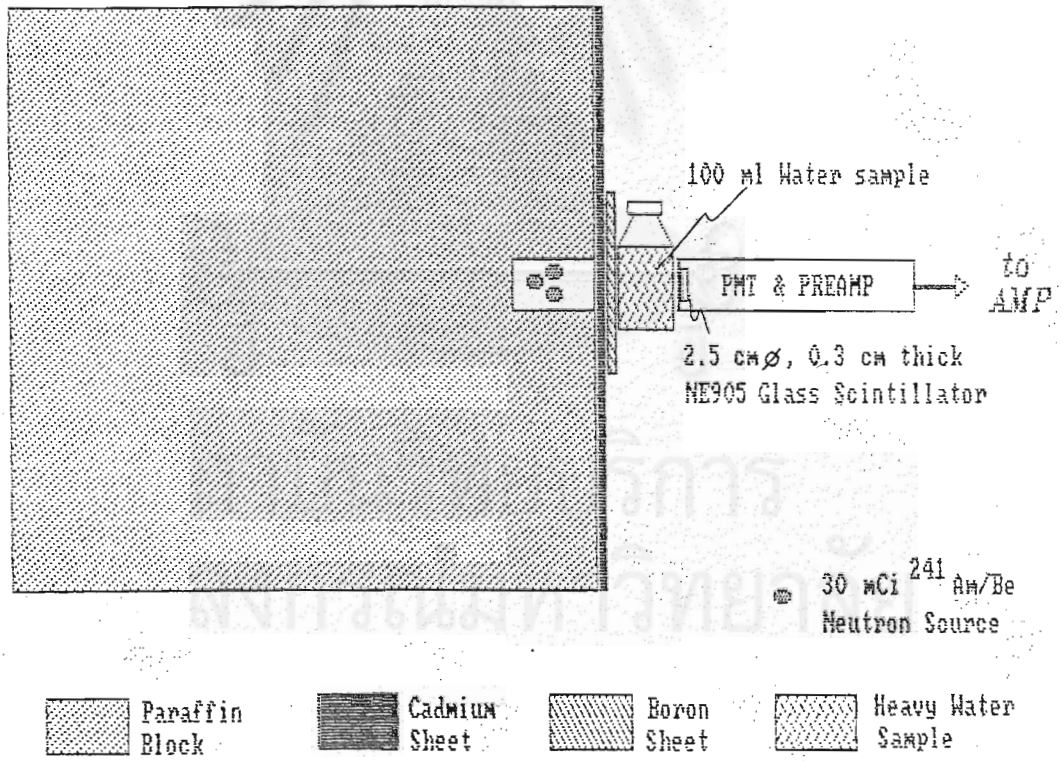
3.1 การจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนด้านเดียว

ในระยะเริ่มแรกได้ทดลองออกแบบภาชนะบรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ศึกษาการใช้แผ่นแคดเมียม (cadmium, Cd) และโบรอน (boron, B) สำหรับกรองนิวตรอนช้า และศึกษาการตอบสนองของเทคนิคนี้ต่อความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก โดยใช้วัสดุอุปกรณ์เท่าที่มีอยู่แล้ว ซึ่งได้แก่

- ต้นกำเนิดรังสีชนิด อเมริเซียม-241/เบริลเลียม (americium-241/beryllium, $^{241}Am/Be$) ความแรง 1.11 Gbq (= 30 mCi) จำนวน 3 ตัว
- หัววัดรังสีนิวตรอนช้าชนิดแก้วเรืองรังสี (glass scintillator) NE905 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. หนา 0.3 ซม. พร้อมด้วยหลอดโฟโตมัลติ-



รูปที่ 4 แผนผังระบบวัดรังสีนิวตรอนช้าที่ใช้หัววัดรังสี NE905



รูปที่ 5 แผนภาพการจัดระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนด้านเดียว เมื่อใช้ตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 100 มิลลิลิตร

พลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. และปรีแอมปลิฟายเออร์ (preamplifier)

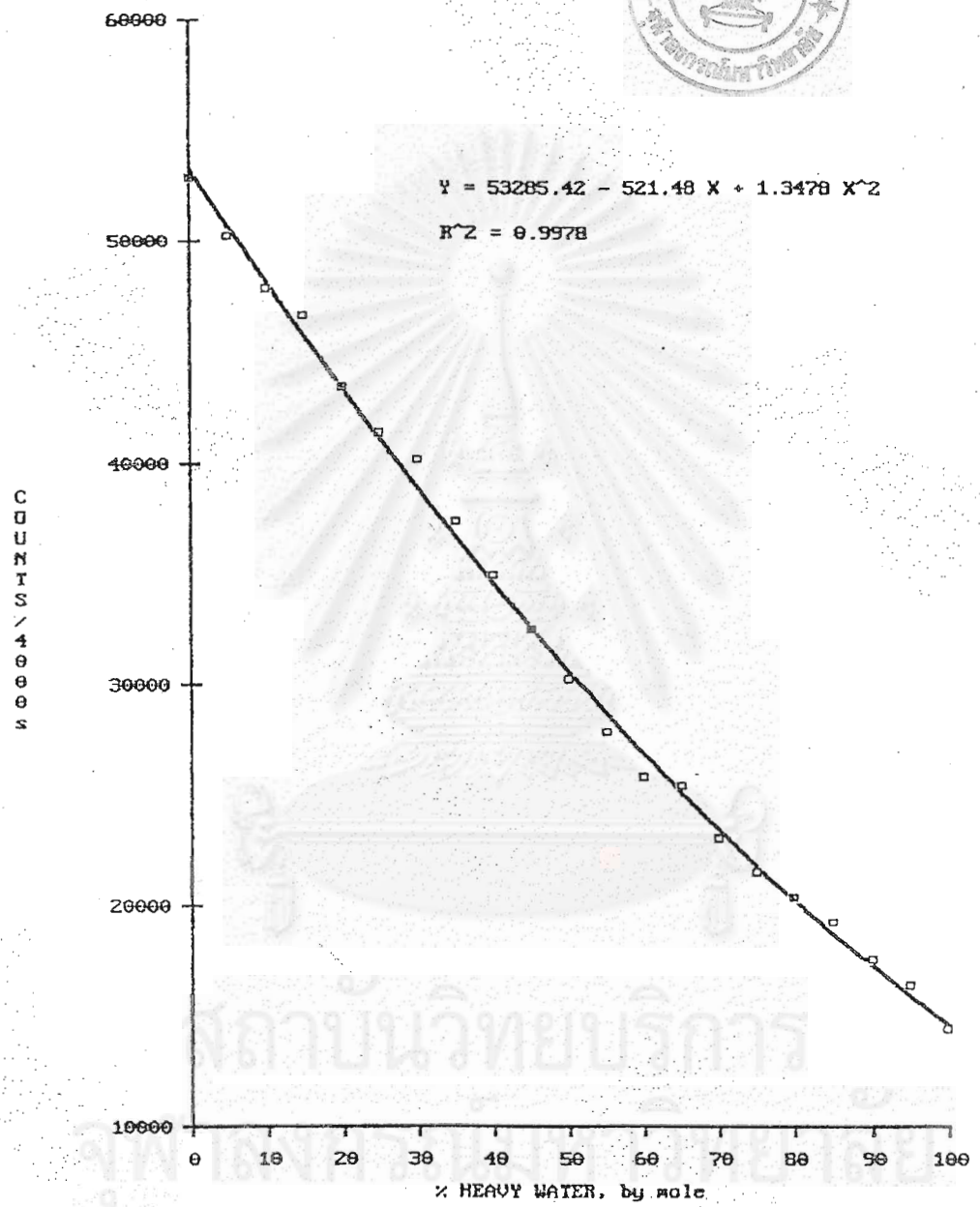
- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) ORTEC model 556
- เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง(multichannel analyzer, MCA)CANBERRA model 35 plus พร้อมแอมปลิฟายเออร์ภายใน (internal amplifier)
- แผ่นโลหะแคดเมียมขนาด 22 ซม.x 30 ซม.x 0.05 ซม. และแผ่นโบรอนคาร์ไบด์ (boron carbide, B_4C) ขนาด 9.5 ซม.x 12.5 ซม.x 0.2 ซม. สำหรับดูดจับนิวตรอนช้า
- น้ำชนิดหนักความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 โดยโมล (% by mole) ปริมาตร 100 มล.
- น้ำกลั่นบริสุทธิ์ปราศจากอิออน (deionized distilled water) สำหรับผสมกับน้ำชนิดหนักในการเตรียมน้ำชนิดหนักความเข้มข้นต่างๆกัน
- พาราฟิน (paraffin) ก้อนขนาด 30 ซม.x 30 ซม. x 30 ซม. สำหรับบรรจุถังกำเนิดรังสีนิวตรอน
- โพลีเอทีลีนผสมโบรอน (borated polyethylene) และพาราฟินผสมโบรอน (borated paraffin) สำหรับกำบังรังสีนิวตรอน

เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านปริมาตรน้ำชนิดหนักที่มีอยู่เพียง 100 มล. และขนาดของแผ่นโบรอนคาร์ไบด์ 9.5 ซม x 12.5 ซม. x 0.2 ซม. ทำให้จำเป็นต้องจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนผ่านตัวอย่างน้ำชนิดหนักจากด้านหนึ่งไปยังหัววัดรังสีที่อยู่ในด้านตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อทำการวัดรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจากการชนของนิวตรอนพลังงานปานกลางกับไฮโดรเจนในตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 100 มล. ที่มีความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 0.015 ถึง 99.8 โดยโมล เป็นเวลา 4000 วินาที พบว่าความเข้มรังสีนิวตรอนที่วัดได้มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3 และกราฟในรูปที่ 6

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก เมื่อใช้ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนด้านเดียว

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ร้อยละโดยโมล	จำนวนนับต่อ* 4000 วินาที
1	0.015	52,833
2	5.0	50,222
3	10.0	47,799
4	15.0	46,582
5	20.0	43,404
6	25.0	41,324
7	30.0	40,089
8	35.0	37,318
9	40.0	34,900
10	45.0	32,426
11	50.0	30,168
12	55.0	27,799
13	60.0	25,763
14	65.0	25,358
15	70.0	22,948
16	75.0	21,453
17	80.0	20,303
18	85.0	19,227
19	90.0	17,545
20	95.0	16,348
21	99.8	14,380

* = ค่าเฉลี่ยจากการนับรังสี 2 หรือ 3 ครั้ง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีนิวตรอนช้ากับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก เมื่อใช้ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนด้านเดียว

3.2 การจัดระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนแบบรอบทิศทาง

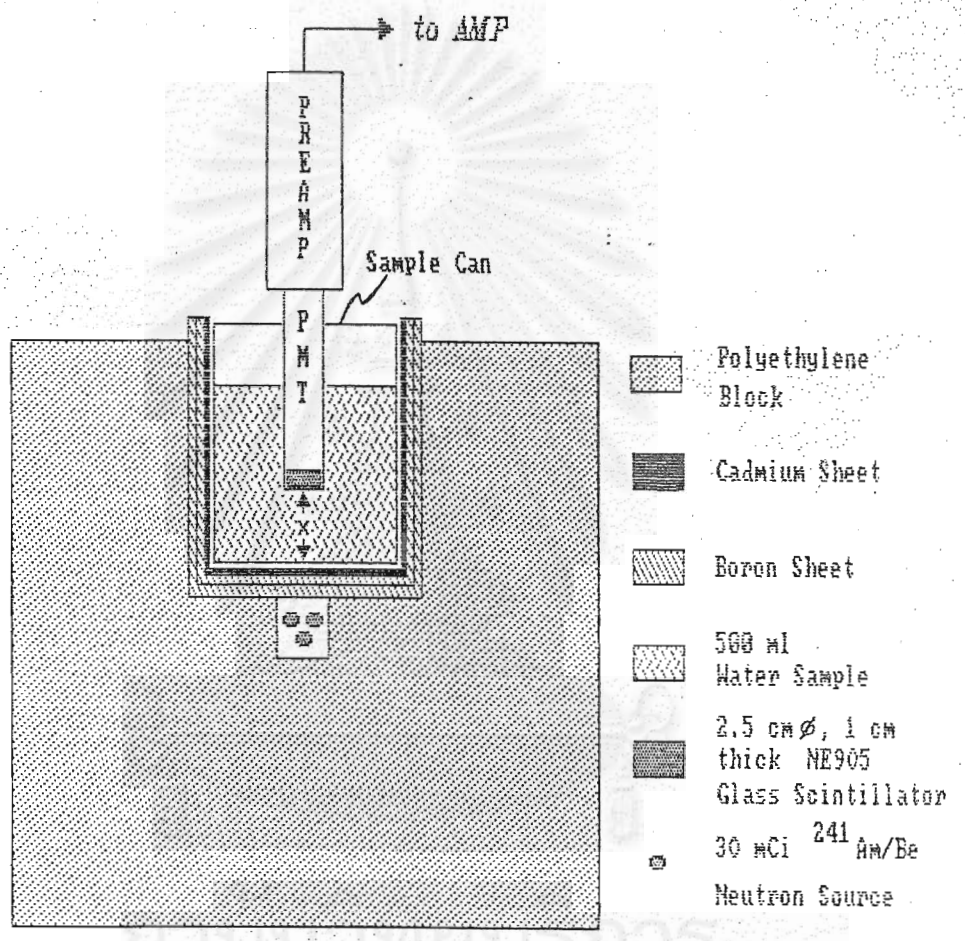
จากผลการวิจัยขั้นต้นแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนพลังงานปานกลางมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักค่อนข้างดี แต่อัตรานับรังสีนิวตรอนช้ามีค่าต่ำ จึงต้องนับรังสีเป็นเวลานานถึง 4000 วินาที (ประมาณ 1 ชั่วโมง 7 นาที) เพื่อให้ได้จำนวนนับรังสีรวมมากพอ เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออัตรานับรังสีนิวตรอนช้าแล้ว พบว่าหากไม่ต้องเพิ่มความแรงของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ก็ยังสามารถที่จะปรับปรุงระบบให้มีอัตรานับรังสีสูงขึ้นได้ดังนี้ :

- เพิ่มความหนาของหัววัดรังสีจาก 0.3 ซม. เป็น 1.0 ซม. ซึ่งจัดซื้อมาใหม่
- เพิ่มปริมาตรของตัวอย่างน้ำชนิดหนักจาก 100 มล. เป็น 500 มล.
- ปรับปรุงระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอน จากการส่งผ่านด้านข้างของตัวอย่างด้านเดียว (ดังในรูปที่ 5) เป็นการส่งผ่านรังสีนิวตรอนช้าโดยรอบ และวางหัววัดรังสีไว้ในภาชนะบรรจุตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 7 การจัดในลักษณะนี้ต้องใช้แผ่นแคดเมียมและโบรอนเพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอสำหรับการดูดจับนิวตรอนช้าโดยรอบภาชนะบรรจุตัวอย่างทั้งด้านข้างและด้านล่าง นอกจากนี้ยังได้ถอดกระบอกอะลูมิเนียมที่ใช้หุ้มหัววัดรังสีและหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.2 ซม. ซึ่งโตเกินความจำเป็น สำหรับหัววัดรังสีและหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ออกไป และใช้เทปสีดำพันรอบหัววัดรังสีและหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์(เพื่อป้องกันแสง)แทน ทั้งนี้เพื่อลดช่องว่างระหว่างหัววัดรังสีกับตัวอย่างให้น้อยลง อันจะเป็นผลให้ได้อัตรานับรังสีสูงขึ้นด้วย

วัสดุได้จัดหามาเพิ่มเติมสำหรับการวิจัยขั้นนี้คือ แผ่นโบรอนแคดเมียมขนาด 30.5 ซม. x 61 ซม. x 0.05 ซม. และแผ่นยางผสมโบรอนขนาด 30 ซม. x 30 ซม. x 0.04 ซม. สำหรับใช้ในการดูดจับนิวตรอนช้า

3.2.1 การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของหัววัดรังสี

ในการจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนเข้าไปยังภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนักโดยรอบทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 7 นั้น ตำแหน่งของหัววัดรังสีที่อยู่ในภาชนะบรรจุตัวอย่างจะมี



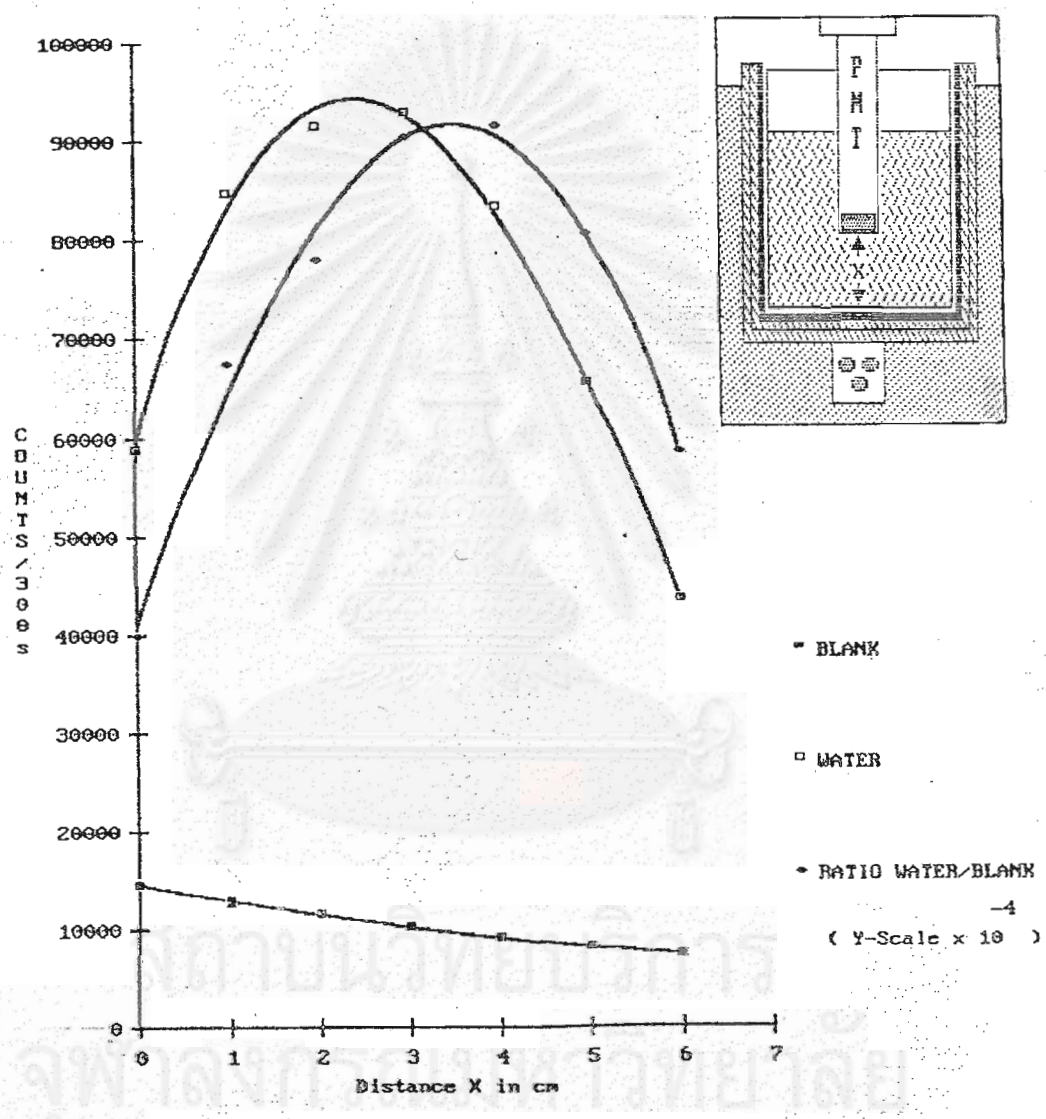
รูปที่ 7 แผนภาพการจัดระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนแบบรอบทิศทาง เมื่อใช้ตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 500 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4 จำนวนนับรังสีนิวตรอนช้าที่ตำแหน่งหัววัดรังสีต่างๆกัน เมื่อจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง

ระยะหัววัดรังสีนิวตรอนจากกันภาชนะ (ซม.)	จำนวนนับรังสีนิวตรอนช้าต่อ 300 วินาที *		อัตราส่วนจำนวนนับรังสีของน้ำต่อแบลงค์
	เมื่อมีน้ำ 500 มล.	แบลงค์	
0	58,685	14,712	3.99
1	84,596	12,545	6.74
2	91,444	11,744	7.79
3	92,800	10,277	9.03
4	83,327	9,109	9.15
5	65,314	8,110	8.05
6	43,314	7,433	5.83

* ค่าเฉลี่ยจากการนับรังสี 3 ครั้ง

071696 I21254618



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้าจากน้ำ 500 มล., จากแบลงค์ และอัตราส่วนจำนวนนับรังสีที่ระยะห่างวัดรังสีต่างกัน

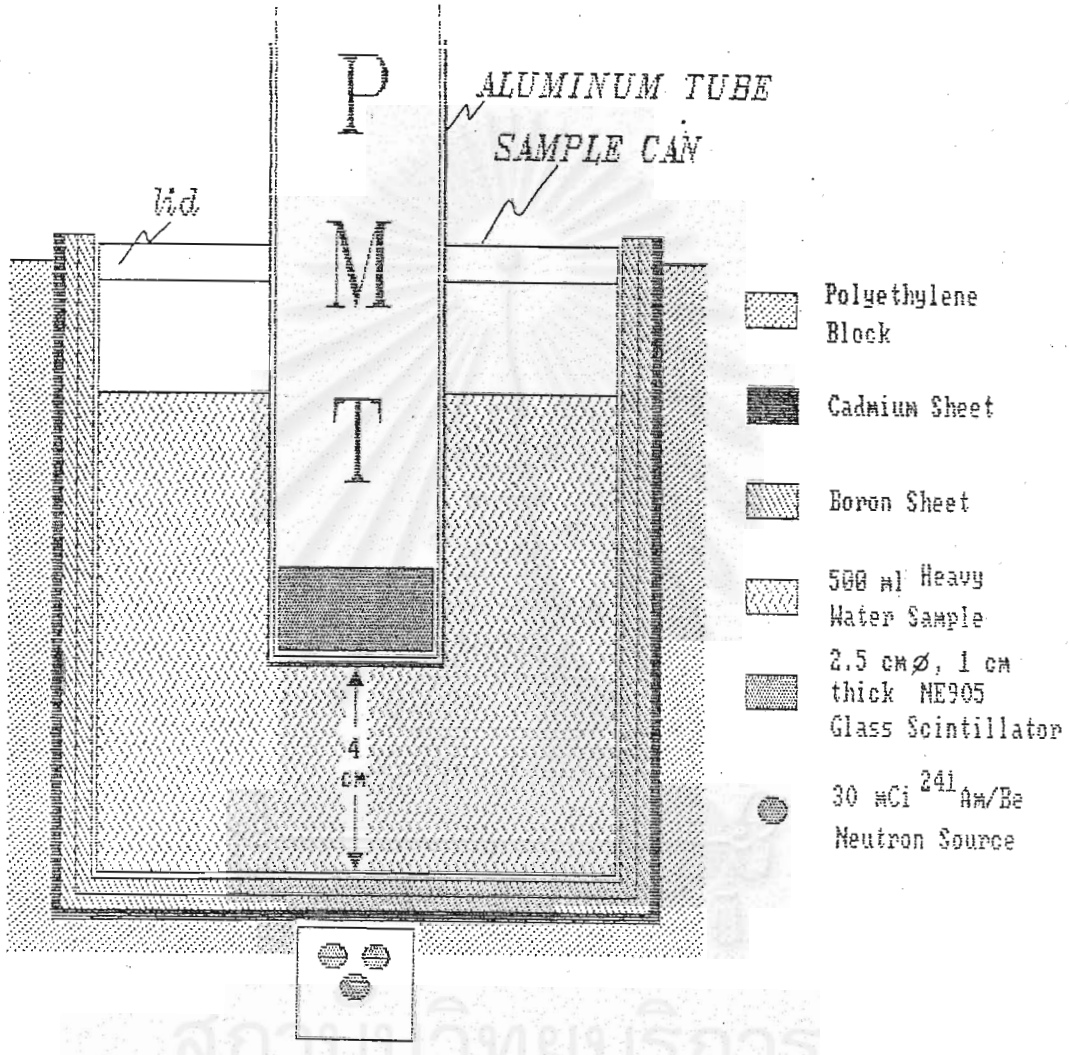
ผลต่ออัตรานับรังสีสุทธิที่จะได้ จึงจำเป็นต้องหาตำแหน่งที่เหมาะสมโดยพิจารณาอัตรานับรังสีจากตัวอย่างต่ออัตรานับรังสีจากแบลงค์ (blank) สำหรับการวิจัยนี้ตำแหน่งของหัววัดรังสีนิวตรอนจะอยู่ตรงกลางของภาชนะบรรจุตัวอย่าง ความสูงของหัววัดรังสีจากก้นภาชนะจึงเป็นปัจจัยที่จะทำให้อัตรานับรังสีที่จะได้เปลี่ยนแปลงไป

ภาชนะที่ใช้บรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนักปริมาตร 500 มล. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.3 ซม. สูง 11.9 ซม. ทำด้วยเหล็กเคลือบดีบุกหนา 0.3 มม. ตรงกลางฝาปิดเจาะเป็นช่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ราว 3 ซม. ไว้สำหรับสอดหัววัดรังสีลงไปในภาชนะบรรจุตัวอย่าง ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยขั้นนี้คือ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (มีน้ำชนิดหนักอยู่ร้อยละ 0.015 โดยโมลตามธรรมชาติ) ปริมาตร 500 มล. เพียงอย่างเดียว สำหรับน้ำชนิดหนักความเข้มข้นร้อยละ 99.8 โดยโมลมีอยู่จำกัด เนื่องจากมีราคาแพง (ประมาณ 4,000 บาท ต่อ 100 มล.) จึงจำเป็นต้องเก็บไว้ใช้ในการวิจัยขั้นต่อไป เพื่อหลีกเลี่ยงการเปรอะเปื้อนและการดูดความชื้นจากอากาศ

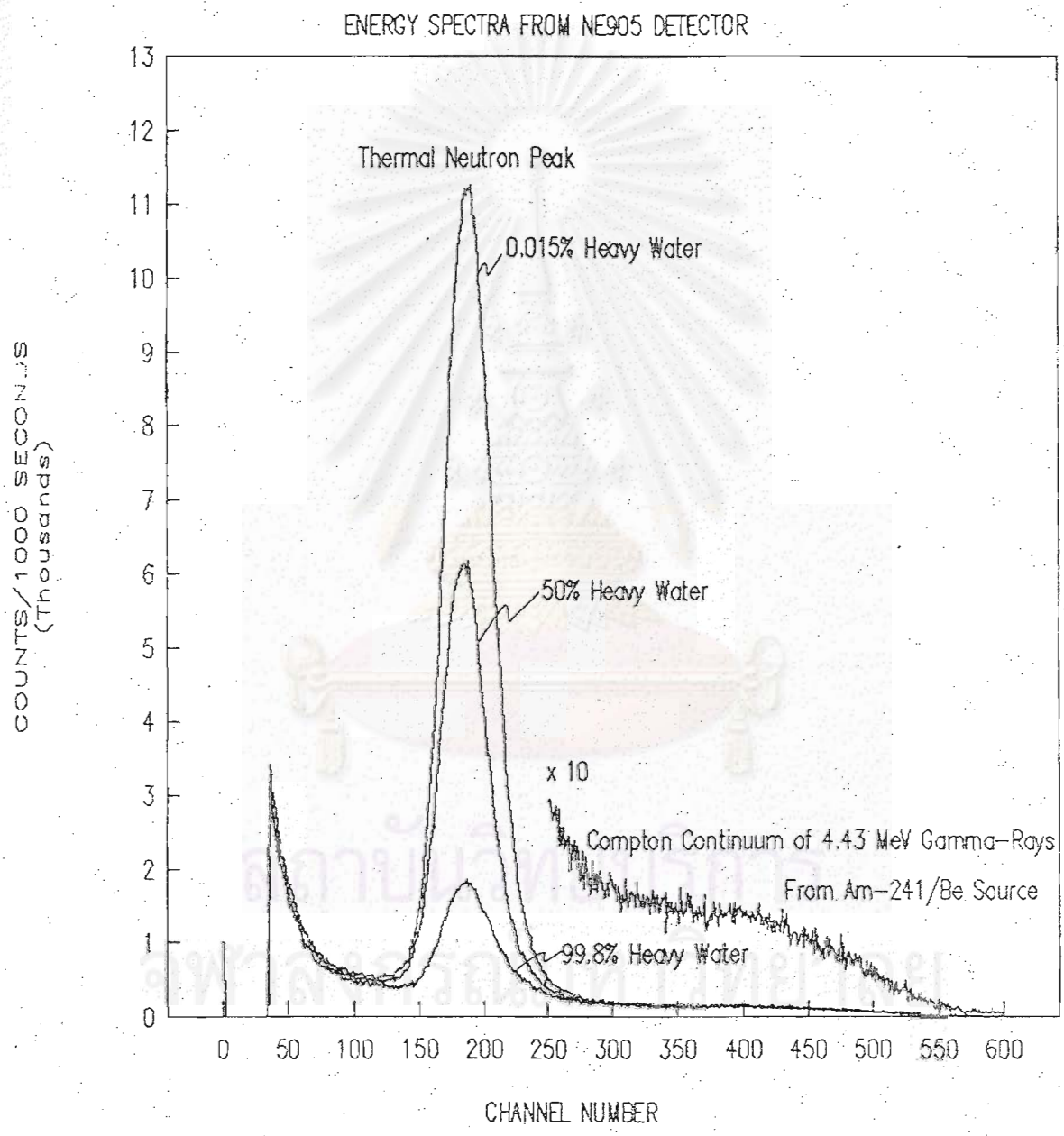
จากการวัดความเข้มรังสีนิวตรอนช้าเป็นเวลา 300 วินาที ที่ระยะความสูงของหัววัดรังสีจากก้นภาชนะต่างๆกัน คือ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ซม. เมื่อมีน้ำ 500 มล. และไม่มีน้ำพบว่าได้อัตรานับรังสีสูงกว่าในขั้นตอนที่ผ่านมามาก และได้อัตรานับรังสีจากตัวอย่างน้ำต่อแบลงค์สูงสุด เมื่อหัววัดรังสีอยู่สูงจากก้นภาชนะในช่วง 3 - 4 ซม. ดังแสดงในตารางที่ 4 และกราฟในรูปที่ 8

3.2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก

จากผลการวิจัยในขั้นตอนที่ผ่านมา พบว่าที่ตำแหน่งหัววัดรังสีอยู่สูงจากก้นกระป๋อง 4 ซม. ได้อัตรานับรังสีจากตัวอย่างน้ำ 500 มล. ต่อแบลงค์มีค่าสูงสุดคือ ประมาณ 9 เท่า จึงได้เลือกวางตำแหน่งของหัววัดรังสีที่ระยะ 4 ซม.สำหรับการวิจัยขั้นต่อไป ด้วยเหตุที่น้ำชนิดหนักสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ ทำให้ต้องปิดภาชนะใส่ตัวอย่างให้มิดชิดในขณะที่ทำการวัดรังสี ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการวิจัยจึงใช้ท่ออะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.9 ซม. หนา 0.1 ซม. (ซึ่งมีปลายด้านล่างปิด) เชื่อมติดกับฝาภาชนะบรรจุตัวอย่างที่เจาะไว้ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 3.1 ซม. สำหรับสอดหัววัดรังสีลงไปให้อยู่สูงจากก้นภาชนะใส่ตัวอย่าง 4 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภาพแสดงการจัดวางภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนัก 500 มล. และหัววัดรังสีนิวตรอนช้า ในขณะทำการวัดรังสี



รูปที่ 10 ตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้จากตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน

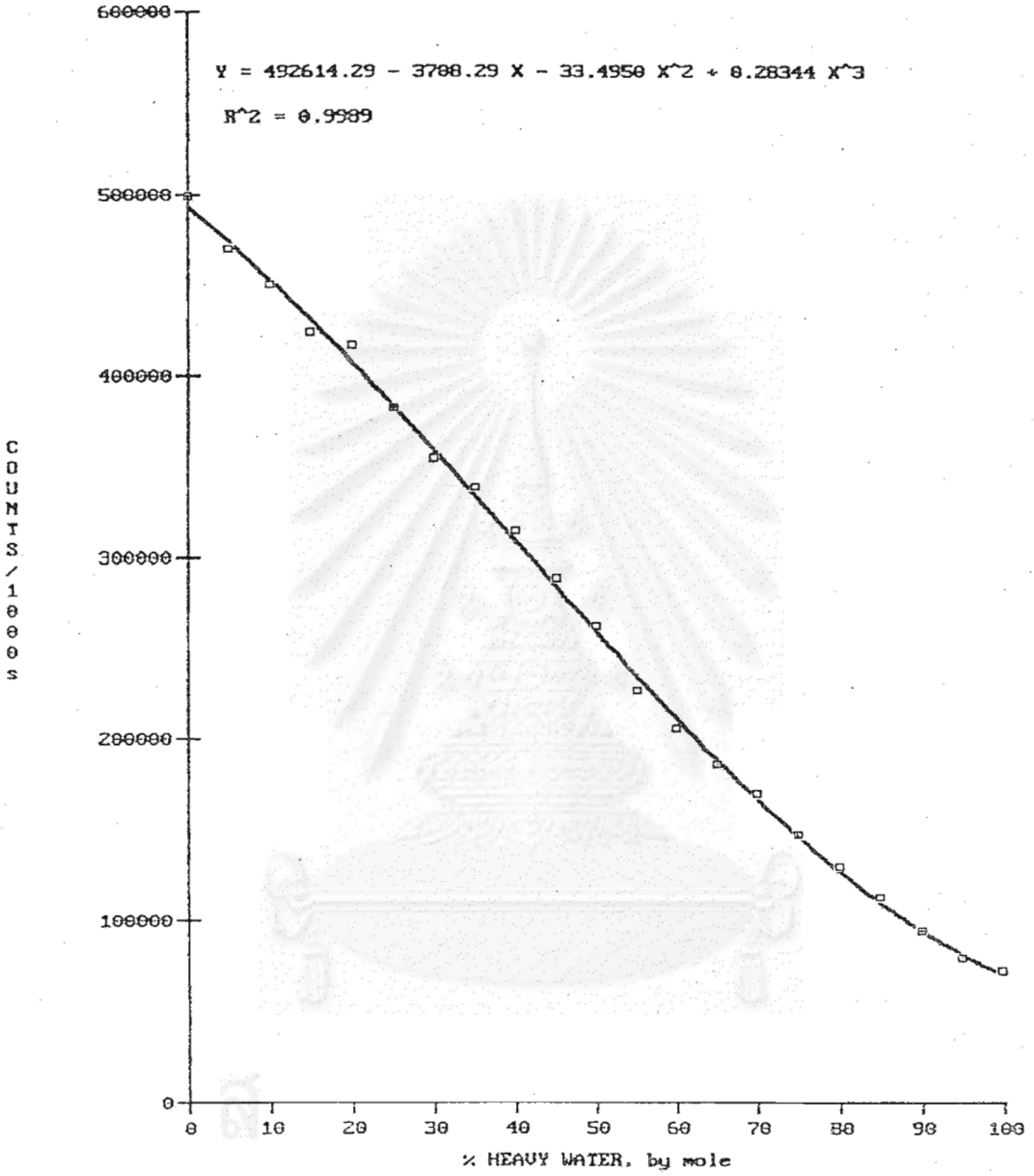
ตารางที่ 5 ความเข้มรังสีนิวตรอนช้าที่ความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักต่างๆกัน เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ร้อยละโดยโมล	จำนวนนับต่อ* 1000 วินาที
1	0.015	497,912
2	5.0	469,230
3	10.0	449,607
4	15.0	423,291
5	20.0	416,670
6	25.0	381,474
7	30.0	354,269
8	35.0	337,876
9	40.0	314,166
10	45.0	287,969
11	50.0	261,593
12	55.0	226,260
13	60.0	205,076
14	65.0	185,625
15	70.0	168,981
16	75.0	146,455
17	80.0	128,662
18	85.0	112,084
19	90.0	93,487
20	95.0	78,543
21	99.8	71,514

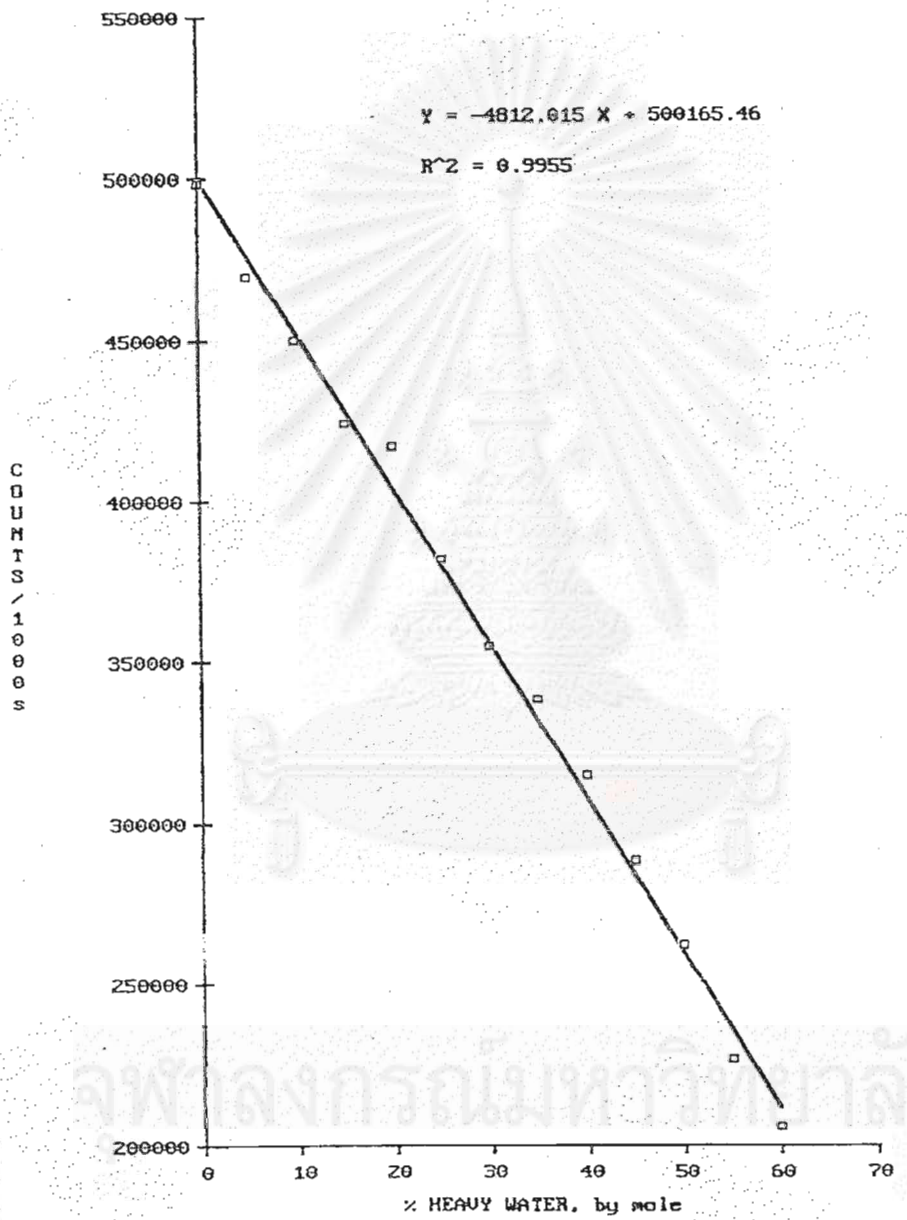
* = ค่าเฉลี่ยจากการนับรังสี 2 หรือ 3 ครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

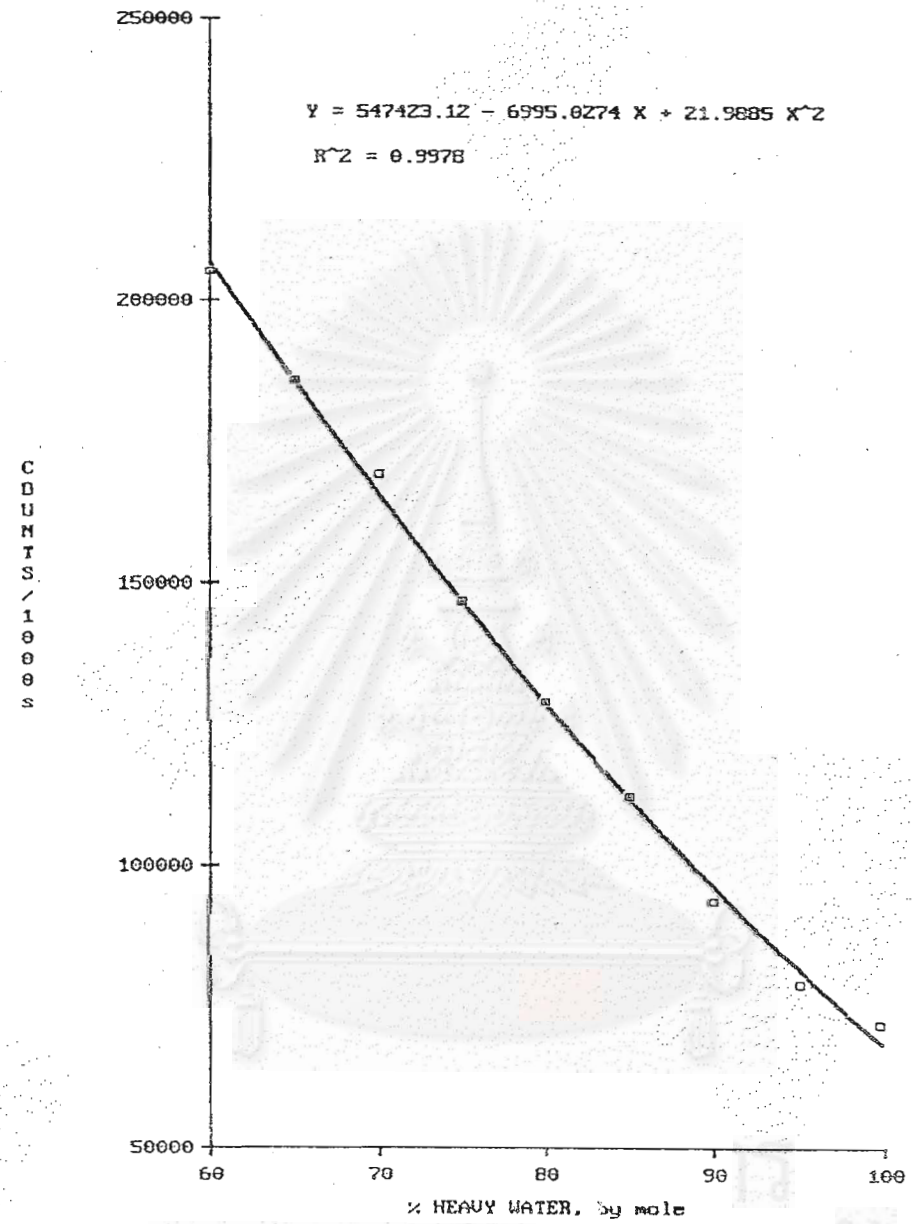
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้ากับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ในช่วงร้อยละ 0 - 100 โดยโมล เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มล. และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ในช่วงร้อยละ 0 - 60 โดยโมล เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มล. และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ในช่วงร้อยละ 60 - 100 โดยมล เมื่อใช้ตัวอย่าง 500 มล. และจัดระบบแบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทาง

เมื่อทำการวัดรังสีนิวตรอนช้าจากตัวอย่างน้ำชนิดหนักปริมาตร 500 มล. ที่มีความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0.015 - 99.8 โดยมวล เป็นเวลา 1000 วินาที พบว่าความเข้มรังสีนิวตรอนช้ามีค่าลดลงเมื่อน้ำชนิดหนักมีความเข้มข้นสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 และกราฟในรูปที่ 11 อัตรานับรังสีที่ได้จากระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนรอบทิศทางที่ใช้ตัวอย่างปริมาตร 500 มล. มีค่าสูงกว่าระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนเพียงด้านเดียว ที่ใช้ปริมาตรตัวอย่าง 100 มล. ประมาณ 40 และ 20 เท่า สำหรับตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.015 และ 99.8 โดยมวลตามลำดับ

ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้า กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในกราฟรูปที่ 11 สามารถออกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 60 ลงมา และร้อยละ 60 ขึ้นไป พบว่าในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 60 ลงมา มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและมีความชันของเส้นกราฟสูง (ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 12) ส่วนในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 60 ขึ้นไป เส้นกราฟมีลักษณะโค้งเล็กน้อย และมีความชันลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 13) แสดงว่าวิธีนี้มีความไวสูงในช่วงความเข้มข้นประมาณร้อยละ 60 ลงมา ซึ่งใกล้เคียงกับผลงานวิจัยของ N. Wada [4], [5]

จากการพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของการนับรังสีที่ความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักร้อยละ 0.015 และ 99.8 โดยมวล ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 0.2 % และ 0.25 % เมื่อเทียบเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักจะได้เท่ากับร้อยละ 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ ดังนั้นสำหรับระบบที่ใช้ในการวิจัยนี้เมื่อใช้เวลานับรังสี 1000 วินาที ความเที่ยงตรง(precision) ในการหาความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักจะมีค่าอยู่ในช่วง $\pm$ ร้อยละ 0.5 (2σ)โดยมวล ส่วนความแม่นยำ (accuracy) ขึ้นอยู่กับการสร้างกราฟปรับเทียบ

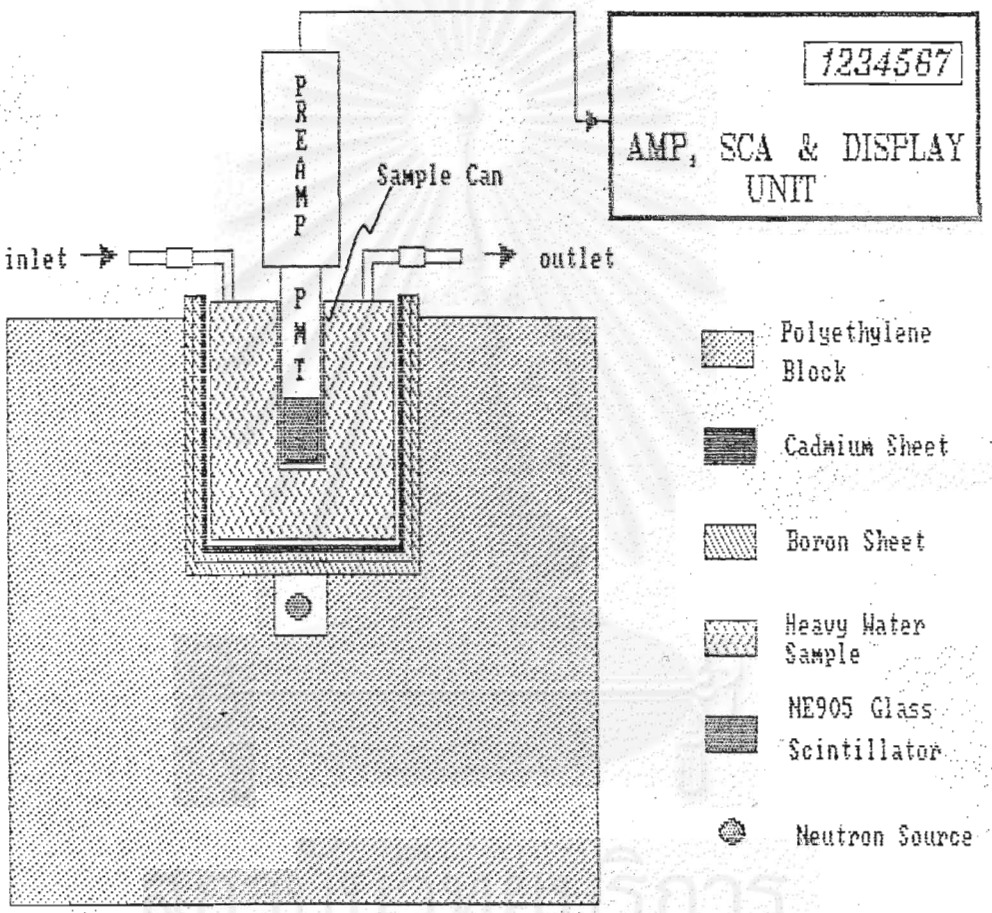
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ข้อสรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนพลังงานปานกลางมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักดีมากตลอดช่วงความเข้มข้น ร้อยละ 0.015 ถึง 99.8 โดยโมล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจัดระบบส่งผ่านรังสีนิวตรอนแบบรอบทิศทางทั้งอัตราการนับรังสี และความชันของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนซ้ำกับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน เทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนพลังงานปานกลางจึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการหาความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักได้ โดยไม่ต้องมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างใดๆ เลยและสามารถทำได้โดยไม่ทำลายตัวอย่าง นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงไปใช้การวัดแบบต่อเนื่องได้ จากการจัดระบบในการวิจัยนี้ เพียงเพิ่มเติมส่วนของท่อนำตัวอย่างน้ำเข้าออกเท่านั้น ก็สามารถนำไปใช้งานในระบบต่อเนื่องได้ (ดังแสดงในรูปที่ 14) อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้งานในระบบต่อเนื่อง หากต้องการผลการวัดที่รวดเร็ว จำเป็นจะต้องเพิ่มความแรงของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนให้สูงขึ้น และ/หรือใช้หัววัดรังสีที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้ลดเวลานับรังสีลงได้อีกมาก รวมทั้งเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการวัดอีกด้วย ในส่วนของเครื่องนับรังสีสามารถใช้เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (single channel analyzer, SCA) แทนเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องได้เพื่อเป็นการประหยัดและสะดวกในการใช้งาน

ในการวิจัยนี้เน้นที่จะศึกษาเทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนพลังงานปานกลาง สำหรับการหาความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักร้อยละ 0.015 ถึง 99.8 โดยโมลซึ่งเป็นช่วงกว้างมาก การที่จะนำเทคนิคนี้ไปใช้งานในช่วงความเข้มข้นช่วงใดช่วงหนึ่งโดยเฉพาะ เช่นในช่วงความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 5 ลงมา หรือสูงกว่าร้อยละ 95 ขึ้นไป เงื่อนไขที่ใช้ในการวิจัยนี้อาจต้องเปลี่ยนแปลงไปบ้าง ถ้าต้องการให้มีความไวสูงขึ้น จุดหนึ่งที่สำคัญก็คือการกรองนิวตรอนพลังงานต่ำออกไปจะต้องมีความเหมาะสม

ปัญหาที่พบในการวิจัยนี้คือ น้ำชนิดหนักมีปริมาณจำกัดเนื่องจากมีราคาแพง ดังนั้นในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวัดรังสี ต้องทำทีละขั้นตอน และทำด้วยความระมัดระวัง กล่าวคือ ต้องเตรียมตัวอย่าง และวัดรังสีเรียงลำดับจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ โดยนำตัวอย่างที่วัดรังสีเสร็จแล้วไปทำให้เจือจางด้วยการเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน ซึ่งเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองน้ำชนิดหนักน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังต้องระมัดระวังเรื่องความชื้นในอากาศ เนื่องจากน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นสูงดูดความชื้นได้ดี การเตรียมตัวอย่างจึงทำใน glove box ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน



รูปที่ 14 แผนภาพตัวอย่างการจัดอุปกรณ์วัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักสำหรับระบบต่อเนื่อง

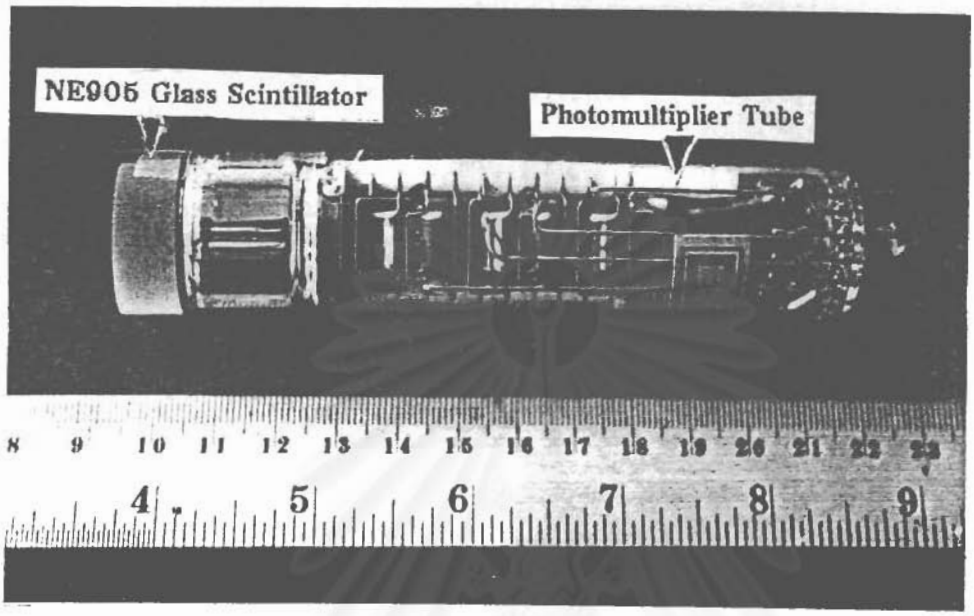
เทคนิคนี้นอกจากจะใช้ในการหาความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักแล้ว ยังสามารถดัดแปลงไปใช้ในการหาปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบ และในการหาปริมาณความชื้นในวัสดุ โดยไม่ต้องใช้ตัวอย่างปริมาณมากอย่างเช่น เทคนิคที่อาศัยหลักการหน่วงความเร็วของนิวตรอนเร็วที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

5. เอกสารอ้างอิง

1. M. Fleischman and S. Pons " Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium". Journal of Electrolytical Chemistry. 261 (1989) p.301-308.
2. ศิริวัฒนา ไทรสมบูรณ์. การหาปริมาณน้ำชนิดหนักจากแหล่งน้ำธรรมชาติด้วยวิธีการลอยตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.
3. N. Wada. "Measurement of Moisture and Hydrogen Contents by Intermediate Neutron Moderation". Journal of Radioanalytical Chemistry. 23(1974) : p.147-158.
4. N. Wada. " Measurement of Low Concentrations of Hydrogen in Small Sample by Intermediate Neutron Moderation". Journal of Radioanalytical Chemistry , 44(1978) : p.175-187.
5. N. Wada. " On Stream Measurement of Heavy Water Concentration by Intermediate Neutron Moderation". Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry , 129 No.1 (1989) : p.121-131.
6. A. Takahashi. Excess Heat and Nuclear Products from Pulsed D_2O/Pd Electrolysis. (Paper Presented at MIT on April 15, 1992 and Texas A&M University on April 20, 1992), Department of Nuclear Engineering, Osaka University, 1992: 50 pp.
7. A.A. Harms. "Physical Processes and Mathematical Methods in Neu - tron Radiography". Atomic Energy Review, 15 No.2 (1977) : p.147.

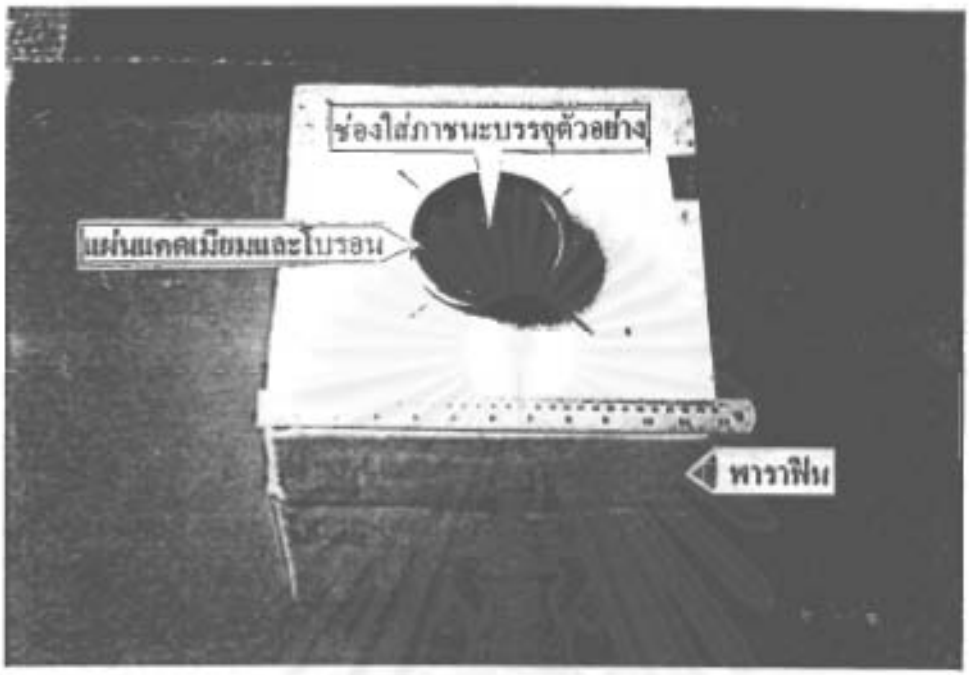
6. ภาคผนวก

ภาพถ่ายอุปกรณ์หลัก ที่ใช้ในการวิจัย

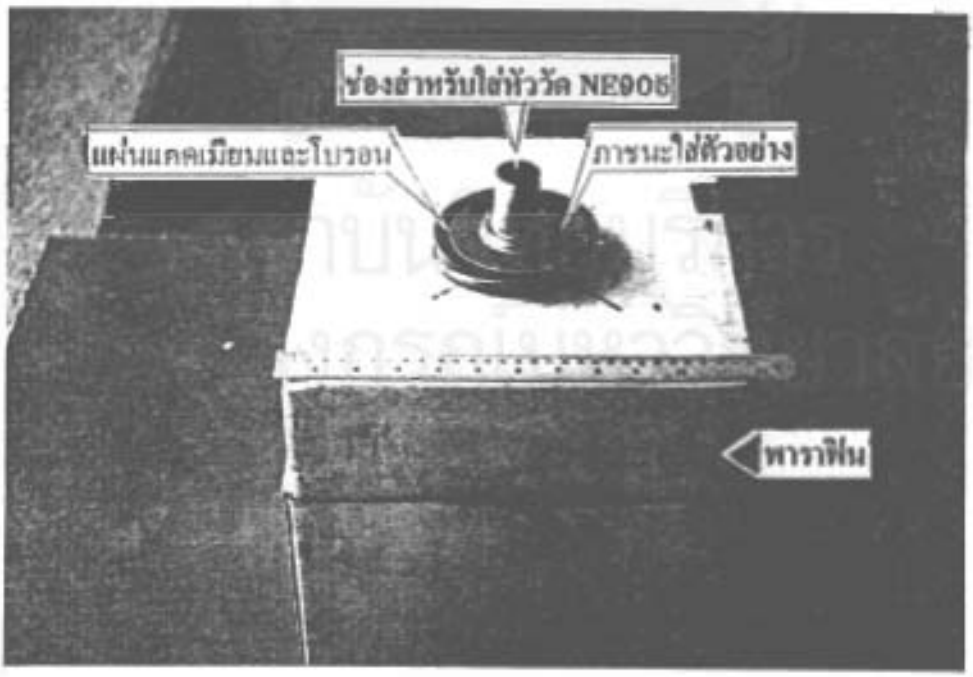


รูปที่ ผ1 ส่วนประกอบของหัววัดนิวตรอนแบบแก้วเรืองรังสี NE905

รูปที่ ผ2 ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนัก



รูปที่ ผ3 พาราฟินสำหรับบรรจุตัวอย่างนิวตรอน



รูปที่ ผ4 ลักษณะการวางภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนัก และหัวการวัดรังสี

รูปที่ ผ5 อุปกรณ์นับแบบหลายช่อง และไมโครคอมพิวเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย