บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์การวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

3.1.1 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนชนิดพลูโตเนียม - 238 / เบริลเลียม (Plutonium - 238 / Berryllium, Pu - 238 / Be) ความแรง 1.33 x 10^{12} เบคเคอเรล (becquerel, Bq) หรือ 5 คูรี (curie, Ci)

3.1.2 หัววัดนิวตรอน แบบบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ (boron trifluoride,BF_3) LND 2022 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.031 นิ้ว ยาว 7.875 นิ้ว ก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์มีความเข้มข้นของ โบรอน-10 เท่ากับร้อยละ 95 และบรรจุก๊าซที่ความดัน 70 เซนติเมตรของปรอท

3.1.3 ระบบนับรังสีประกอบด้วย

3.1.3.1 NIM BIN Power Supply

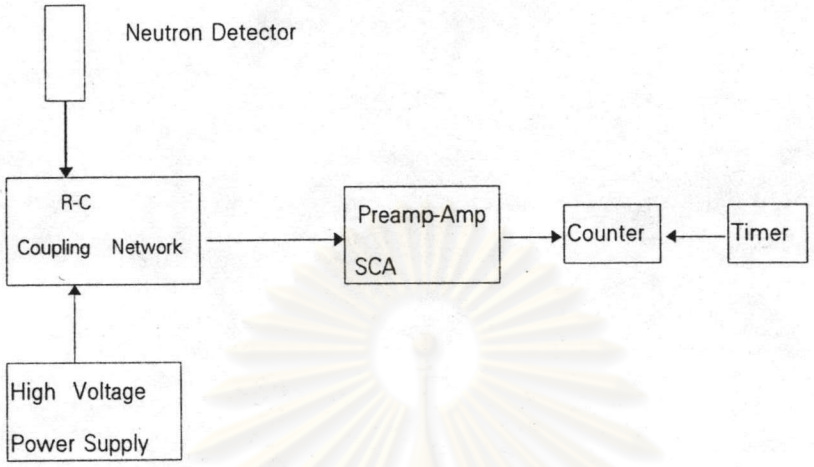
3.1.3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (high voltage power supply) ORTEC 556

3.1.3.3 Preamplifier-Amplifier and Single Channel Analyzer ORTEC 4890

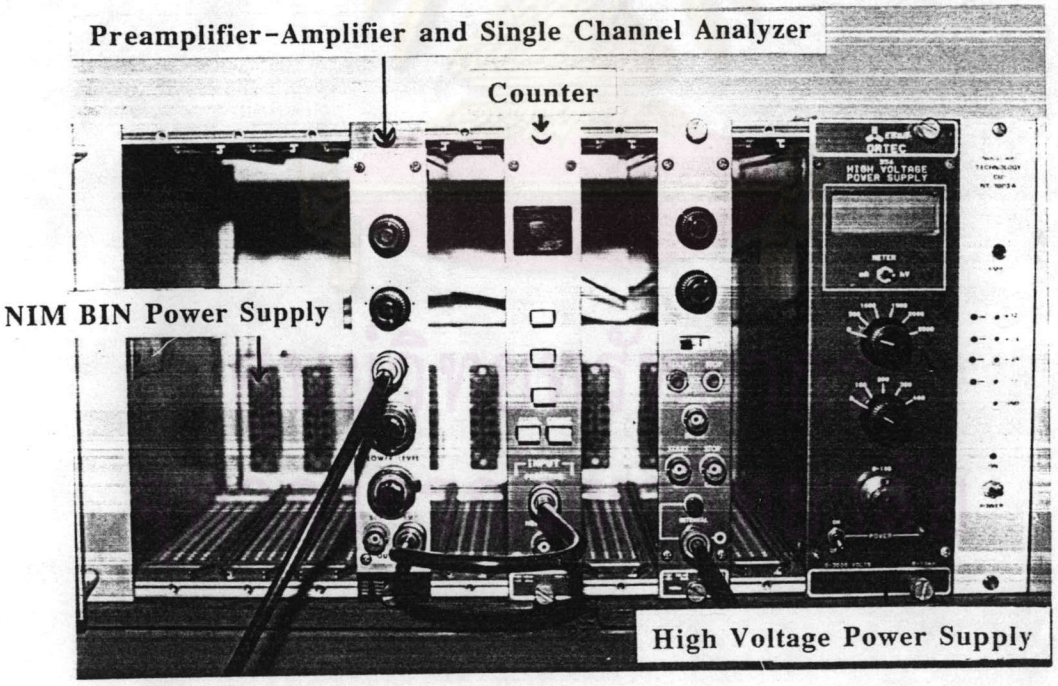
3.1.3.4 อุปกรณ์นับ (counter) ORTEC 875

3.1.3.5 อุปกรณ์ตั้งเวลา (timer) ORTEC 719

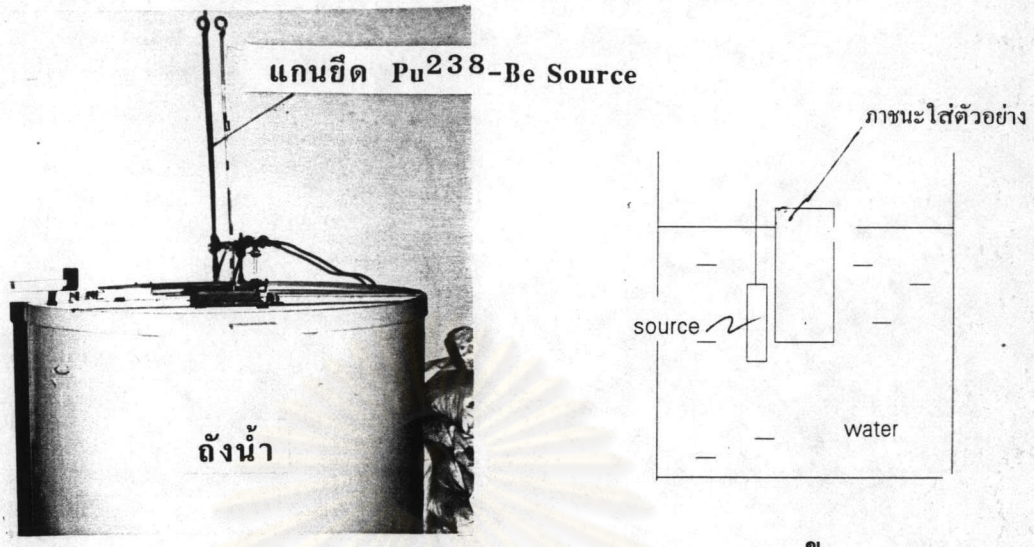
แผนภาพการจัดระบบนับรังสี แสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีนิวตรอน

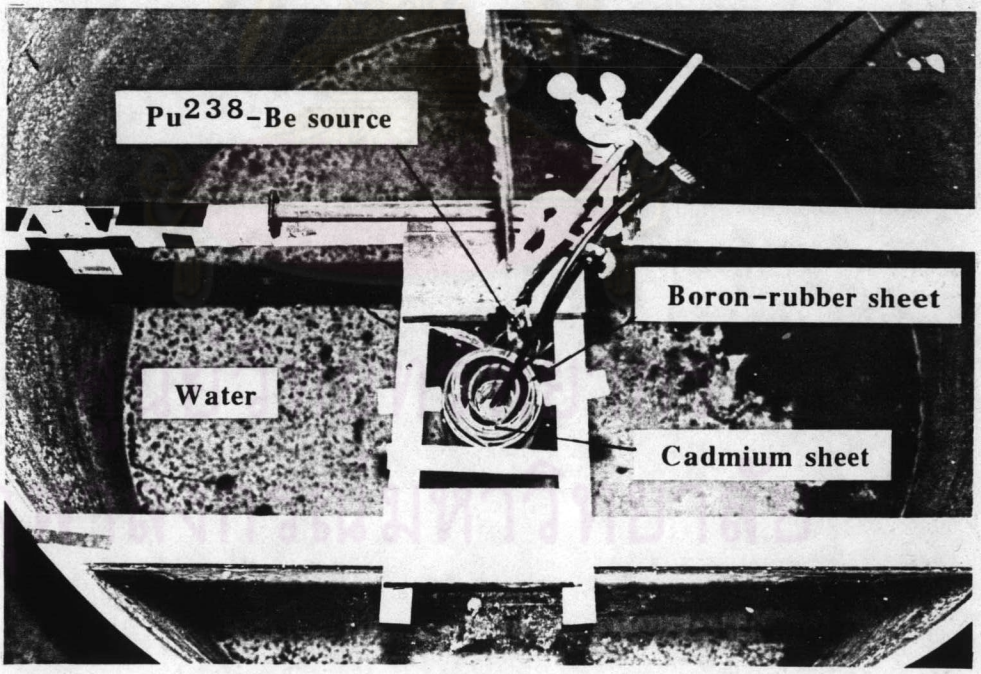


รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายระบบนับรังสี



ก. ข.

รูปที่ 3.3 ถังน้ำสำหรับบรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนเพื่อกำเนิดเอพิเทอร์มาลนิวตรอน
ก. ภาพถ่าย ข. แผนภาพแสดงส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายอุปกรณ์การอาบรังสีนิวตรอน

3.1.4 ถังเหล็กบรรจุต้นกำเนิดนิวตรอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 108 ซม. สูง 103 ซม. บรรจุน้ำ

3.1.5 น้ำกลั่น

3.1.6 น้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 99.95 ของ บริษัท Fluka Chemika

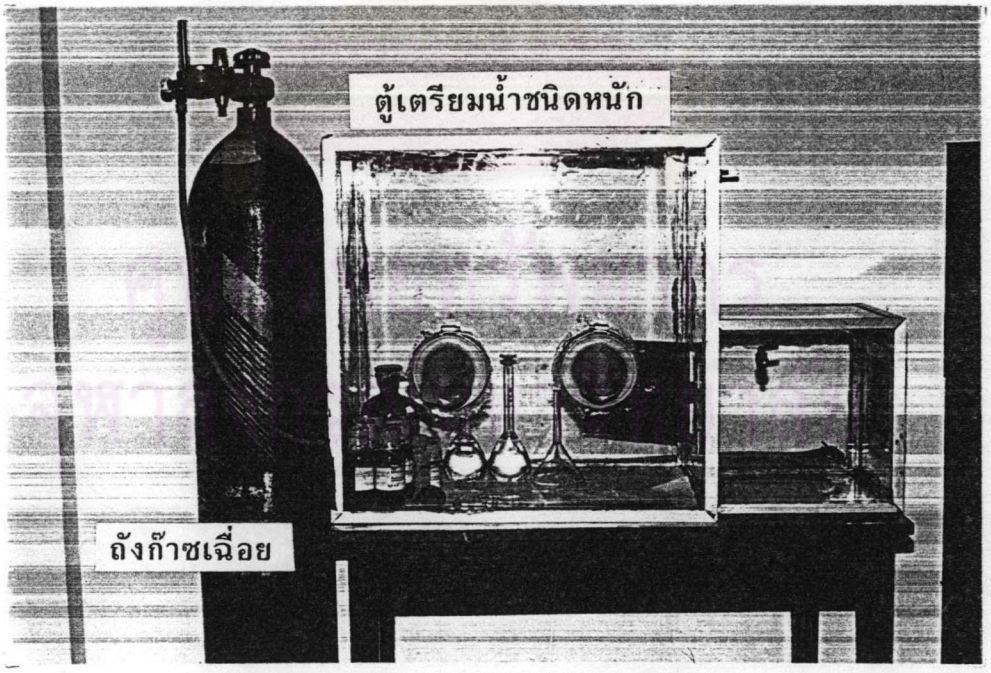
3.1.7 ตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้น 10, 8, 6, 4, 2, 1.5, 1, 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยโมล 220มล.

3.1.8 แผ่นแคดเมียม (Cadmium, Cd) ขนาด 25 ซม. x 31 ซม. x 0.05 ซม. สำหรับดูดจับเทอร์มาลนิวตรอน

3.1.9 แผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ (boron carbide) สำหรับดูดจับนิวตรอนช้า บริษัทผู้ผลิตคือ Reactor Experiment Inc. ได้ระบุว่าผสมโบรอนคาร์ไบด์หนา 3.5 มม. แผ่นยางดังกล่าวนี้มีค่า (attenuation factor) สำหรับเทอร์มาลนิวตรอน 1/20

3.1.10 ภาชนะใส่ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 18 ซม. ตรงกลางทำเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ซม. สูง 17 ซม. สำหรับใส่หัววัด

3.1.11 ตู้เตรียมตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย



รูปที่ 3.5 ตู้สำหรับเตรียมตัวอย่างน้ำชนิดหนักภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย

3.1.12 กระป๋องใส่ภาชนะใส่ตัวอย่างเพื่อป้องกันน้ำเข้า

รูปที่ 3.6 ภาชนะใส่ตัวอย่างทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม

3.1.13 เครื่องแก้วสำหรับใช้เตรียมน้ำชนิดหนักประกอบด้วย บีกเกอร์ ปิเปต ขวดวัดปริมาตร กระบอกตวง 250 มล.

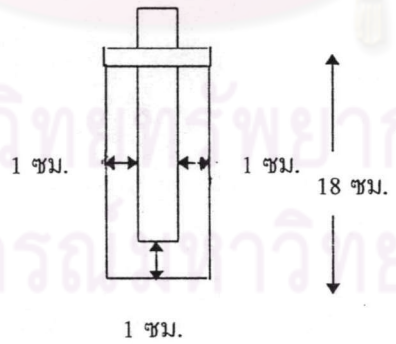
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนในการหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์โดยโมล การวิจัยนี้มีขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

- การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำเนิดเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและจัดระบบวัดเทอร์มาลนิวตรอน
- เตรียมตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ
- การสร้างกราฟปรับเทียบในการหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำ
- ทดลองหาปริมาณน้ำชนิดหนัก

3.2.1 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำเนิดเอพิเทอร์มาลนิวตรอน และในการวัดเทอร์มาลนิวตรอน

3.2.1.1 ออกแบบภาชนะใส่ตัวอย่างน้ำชนิดหนัก เนื่องจากระยะทางที่เอพิเทอร์มาลนิวตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างน้ำชนิดหนักมีผลต่อจำนวนนับนิวตรอนช้าที่จะเกิดขึ้น ประกอบกับน้ำชนิดหนักที่ใช้ในการวิจัยนี้มีราคาสูง (25 มล. ราคาประมาณ 4,000 บาท) จึงต้องออกแบบภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิดหนักให้เหมาะสม เพื่อให้ระบบวัดรังสีเทอร์มาลนิวตรอนมีประสิทธิภาพสูงโดยสิ้นเปลืองตัวอย่างน้ำชนิดหนักน้อยที่สุด จากการประเมินเบื้องต้นคาดว่าจะใช้ตัวอย่างน้ำชนิดหนักเพียงประมาณ 200 ถึง 250 มล. จึงได้ทำการออกแบบภาชนะบรรจุน้ำชนิดหนักเป็นทรงกระบอก 2 ชั้น โดยมีทรงกระบอกชั้นในสำหรับใส่หัววัดนิวตรอนช้า และมีตัวอย่างน้ำชนิดหนักอยู่รอบทรงกระบอกชั้นใน คือบริเวณด้านข้าง และด้านล่าง (ดังแสดงในรูปที่ 3.7) ความสูงของภาชนะได้ถูกออกแบบให้สูง 18 ซม. พอดีที่จะใส่หัววัดนิวตรอนช้าลงไปได้ทั้งหมด ภาชนะบรรจุตัวอย่างทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกชั้นนอกและชั้นในเท่ากับ 5 และ 3 ซม. ตามลำดับ ทำให้ระยะห่างระหว่างผนังทรงกระบอกชั้นนอกและใน มีค่าประมาณ 1 ซม. ภาชนะนี้สามารถบรรจุตัวอย่างได้ 220 มล. ภาชนะบรรจุตัวอย่างจะถูกวางลงในถังน้ำซึ่งบรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนเพื่อให้เอพิเทอร์มาลนิวตรอนส่งผ่านตัวอย่างน้ำชนิดหนักไปยังหัววัดรังสีนิวตรอนช้าได้โดยรอบ กล่าวคือ จากด้านข้างภาชนะโดยรอบและด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูป 3.7 ภาชนะใส่ตัวอย่างน้ำชนิดหนัก

3.2.1.2 การหาความหนาที่เหมาะสมของแผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ ที่ใช้ดูดกลืนเทอร์มาลนิวตรอน จากการคำนวณทราบว่าแผ่นแคดเมียมหนา 0.5 มม. สามารถดูดกลืนนิวตรอนช้าที่

ที่มีพลังงานต่ำกว่า 0.5 eV ได้หมด ในการวิจัยนี้จึงใช้แผ่นแคดเมียมที่มีความหนา 0.5 มม. หุ้มรอบภาชนะบรรจุตัวอย่างทั้งด้านข้างและด้านล่างเพื่อดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่ำ ส่วนการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานสูงกว่าใช้แผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ ซึ่งมีความหนา 3.5 มม. แต่เนื่องจากค่าภาคตัดขวางของโบรอน-10 มีค่าลดลงตาม 1/V (V = ความเร็วของนิวตรอน) ดังในกราฟรูปที่ 2.4 การใช้แผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ที่มีความหนาต่างๆ จึงมีผลต่อการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่างกันด้วย ซึ่งจะมีผลต่อความไวในการหาความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ขั้นตอนในการวิจัยมีดังนี้

3.2.1.2.1 นำแผ่นแคดเมียมซึ่งมีความหนา 0.5 มม. หุ้มรอบภาชนะใส่ตัวอย่างด้านข้างและด้านล่าง นำน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.966 โดยโมล ปริมาตร 220 มล. ใส่ในภาชนะใส่ตัวอย่าง แล้วนำไปวางในช่องสำหรับวางภาชนะใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้บริเวณด้านบนของถังน้ำที่บรรจุต้นกำเนิดนิวตรอน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 นับรังสีเป็นเวลา 10 นาที บันทึกค่าจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนที่ได้จากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน

3.2.1.2.2 เปลี่ยนน้ำชนิดหนักเป็นน้ำกลั่นปริมาตร 220 มล. ทำการทดลองตามข้อ 3.2.1.2.1

3.2.1.2.3 หาค่าอัตราส่วน ระหว่างจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนของน้ำกลั่นและจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนของน้ำชนิดหนัก

3.2.1.2.4 ทำการทดลองซ้ำโดยใช้แผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ มีความหนาต่างๆกัน คือ 3.5, 7.0 และ 10.5 มม. ตามลำดับ หุ้มรอบภาชนะใส่ตัวอย่าง

3.2.1.2.5 จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับของเทอร์มาลนิวตรอนของตัวอย่างน้ำกลั่นและจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนของน้ำชนิดหนัก เมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ความหนาต่าง ๆ กัน พันรอบภาชนะใส่ตัวอย่าง และเมื่อไม่มีแผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ การวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

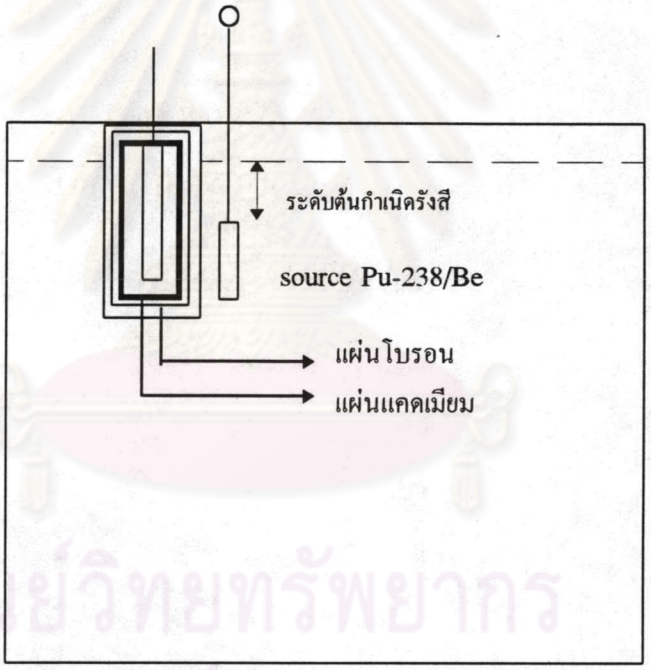
3.2.1.3 การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน จากผลการวิจัยที่ผ่านมาได้เลือกความหนาของแผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์ 7.0 มม. สำหรับห่อหุ้มภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำชนิกหนัก เนื่องจากให้อัตราส่วนของจำนวนนับรังสีต่อแบลงค์สูง (ประมาณ 10 เท่า) และได้จำนวนนับรังสีสูงพอประมาณ ประกอบกับมีแผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์อยู่จำกัดด้วย การวิจัยขั้นนี้ใช้ตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.966 โดยโมล และน้ำกลั่นในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของต้นกำเนิดนิวตรอนขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

3.2.1.3.1 วัดรังสีนิวตรอนช้าเป็นเวลา 10 นาทีในขณะที่ภาชนะบรรจุตัวอย่างวางอยู่ในช่องสำหรับวางภาชนะบรรจุตัวอย่างเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ผ่านมา โดยเริ่มต้นจากการวางต้นกำเนิดนิวตรอนไว้ชิดกับภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ระดับลึก 10 ซม. จากผิวน้ำลงไป

3.2.1.3.2 ทำเช่นเดียวกับ 3.2.1.3.1 โดยใช้ตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.966 โดยโมล 220 มล. และน้ำกลั่น 220 มล. ตามลำดับ

3.2.1.3.3 ทำการทดลองซ้ำ โดยเลื่อนต้นกำเนิดนิวตรอนลงไปเป็นที่ระดับลึก 15 20 และ 25 ซม. จากผิวน้ำ

3.2.1.3.4 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง จำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนจากน้ำกลั่น และจากตัวอย่างน้ำชนิดหนักเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.2



รูปที่ 3.8 แสดงระบบกำเนิดเอพิเทอร์มาลนิวตรอน

3.2.2 การปรับเทียบความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก น้ำชนิดหนักที่ผลิตโดยบริษัท Fluka มีความเข้มข้นร้อยละ 99.95 โดยโมล ปริมาตร 25 มล. น้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นสูงสามารถดูดความชื้นจากอากาศซึ่งทำให้ความเข้มข้นลดลง การเตรียมความเข้มข้นน้ำชนิดหนักจึงต้องเตรียมในบรรยากาศของอาร์กอน ก๊าซเฉื่อย หรือก๊าซไนโตรเจน ในตู้เตรียมตัวอย่างน้ำชนิดหนักดังแสดงในรูปที่ 3.5

ในการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอน กับความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงความเข้มข้นคือ ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0 ถึง 10 โดยโมล และช่วงร้อยละ 0 ถึง 2 โดยโมล

- ช่วงร้อยละ 0 ถึง 10 โดยโมล ได้เตรียมตัวอย่างน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยโมล ปริมาตร 250 มล. จากน้ำชนิดหนักความเข้มข้นร้อยละ 99.95 โดยโมล จากนั้นจึงนำไปใส่ภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อนับรังสีนิวตรอนเป็นเวลา 600 วินาที แล้วจึงนำมาทำให้เจือจางเป็นความเข้มข้นร้อยละ 8, 6, 4 และ 2 โดยโมล ทีละขั้นตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

- ช่วงร้อยละ 0 ถึง 2 โดยโมล เตรียมตัวอย่างทำนองเดียวกับในช่วงร้อยละ 0 ถึง 10 โดยโมล โดยเตรียมตัวอย่างให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 1.0, และ 0.5 โดยโมลทีละขั้นตามลำดับ แต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการนับรังสีนิวตรอนช้า 2400 วินาที เพื่อให้สามารถแยกความแตกต่างในช่วงความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ดีขึ้น

- ผลการวิจัยแสดงได้ในตารางที่ 4.4

3.2.3 การสร้างกราฟปรับเทียบในการหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำ จากขั้นตอนที่ผ่านมาทำให้ได้ข้อมูลสำหรับการจัดระบบกำเนิดเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและการวัดรังสีนิวตรอนที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ใช้ถังเหล็กรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 108 ซม. สูง 103 ซม. บรรจุน้ำใช้เก็บต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน Pu^{238}-Be โดยที่น้ำจะลดพลังงานของนิวตรอน

2. วางต้นกำเนิดรังสีต่ำกว่าระดับน้ำในถัง 10 ซม.

3. ใช้แผ่นแคดเมียม 0.5 มม. 1 แผ่น และแผ่นยางผสมโบรอนคาร์ไบด์หนา 3.5 มม. จำนวน 2 แผ่น ปิดทุกด้านของภาชนะใส่ตัวอย่างเพื่อทำหน้าที่ดูดจับเทอร์มาลนิวตรอนให้ เหลือแต่เอพิเทอร์มาลนิวตรอน

4. ใช้หัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์ในการวัดเทอร์มาลนิวตรอน

หลังจากจัดอุปกรณ์ตามที่กล่าวมาแล้ว จึงทำการสร้างกราฟปรับเทียบสำหรับใช้ในการหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำคือ น้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10, 8, 6, 4, 2, 1.5, 1 และ 0.5 โดยโมล โดยมีขั้นตอน

3.2.3.1 นำน้ำชนิดหนักปริมาตร 220 มล. ใส่ภาชนะนำไปใส่ในระบบวัดที่จัดไว้แล้วทำการวัดจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนที่เกิดจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาล

นิวตรอน และหาค่าจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนที่เกิดจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านน้ำกลั่น (ในน้ำกลั่นมีองค์ประกอบของน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.015 โดยโมล)

3.2.3.2 การหาค่าจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอน เพื่อวัดความเข้มข้นน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10, 8, 6, 4 และ 2 โดยโมล จากการทดลองตามข้อ 3.2.3.1 ได้ค่าจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอน นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก เป็นค่าแกน x และจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนเป็นแกน y ผลการวิจัยแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.1 และในตารางที่ 4.3

3.2.3.3 นำข้อมูลของน้ำชนิดหนัก ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2, 1.5, 1, 0.5 โดยโมลจากการทดลองตามข้อ 3.2.3.1 ได้ค่าจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอน นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักเป็นค่าแกน x และจำนวนนับเทอร์มาลนิวตรอนเป็นแกน y ผลการวิจัยแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.2 และในตารางที่ 4.4

3.2.4 การทดลองหาความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำชนิดหนัก การวิจัยขั้นตอนนี้เป็นการหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำโดยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน การเตรียมน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยโมล แล้วหาค่าจำนวนนับเทอร์มาล นิวตรอนที่ได้จากการผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านตัวอย่างแล้ว นำค่าจำนวนนับเทอร์มาล นิวตรอนที่ได้ไปอ่านจากกราฟปรับเทียบที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมาเพื่อหาค่าความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย