

## บทที่ 4

### วัตถุประสงค์ วิธีการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ การจัดระบบวัดนิวตรอนและรังสีแกมมา และวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ผ่านการทดลองขั้นต้นเพื่อหาเงื่อนไขและสภาวะที่เหมาะสม เช่นต้นกำเนิดนิวตรอน และความแรงรังสีของนิวตรอนที่ใช้ การจัดระบบวัดนิวตรอนและการกำบังรังสี ภาชนะที่ใช้บรรจุตัวอย่าง โดยการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนกับตัวอย่างสารละลายยูเรียที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคนี้ในการวัดปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างที่มีปริมาณของไฮโดรเจนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ผลการทดลองที่ได้จากการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนกับตัวอย่างสารละลายยูเรียความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญสำหรับนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา สำหรับการวัดปริมาณไขมันในเนื้อหมูปอด

#### 4.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

- 4.1.1 ต้นกำเนิดนิวตรอน  $^{241}\text{Am}/^9\text{Be}$  ความแรงรังสีรวม 120 มิลลิวีซี
- 4.1.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{137}\text{Cs}$  ความแรงรังสี 30 มิลลิวีซี
- 4.1.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  ความแรงรังสี 100 มิลลิวีซี
- 4.1.4 หัววัดนิวตรอนเข้าโบราณิโตรฟลูออไรด์ ขนาด 2.54 ซม. × 26.5 ซม. จำนวน 2 หัววัด
- 4.1.5 ชุดวัดนิวตรอนเข้า ประกอบด้วย
  - ก. NIM BIN power supply รุ่น NT 1003A
  - ข. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (high voltage power supply) รุ่น ORTEC 456
  - ค. อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น ขยายสัญญาณ และตัดสัญญาณรบกวน (preamplifier, amplifier and discriminator) รุ่น Canberra PAD 814 A
  - ง. อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น ขยายสัญญาณ และวิเคราะห์สัญญาณ (preamplifier, amplifier and single channel analyzer) รุ่น ORTEC 4890
  - จ. เน็ตเวิร์ครวมสัญญาณดิจิทัล (digital summing network)

ฉ. เครื่องนับรังสี (counter) รุ่น ORTEC 875

ช. อุปกรณ์ตั้งเวลา และนับรังสี (timer & counter) รุ่น ORTEC 773

4.2.6 หัววัดรังสีแกมมา ชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) ขนาด 2 นิ้ว × 2 นิ้ว

4.2.7 ชุดวัดรังสีแกมมาประกอบด้วย

ก. NIM BIN power supply รุ่น NT 1003A

ข. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (high voltage power supply) รุ่น ORTEC 556

ค. อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น (Preamplifier) รุ่น

ง. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (amplifier) รุ่น ORTEC 575A

จ. อุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยว (single channel analyzer) รุ่น

Canberra 2030

ฉ. อุปกรณ์ตั้งเวลา (timer) รุ่น ORTEC 719

ช. อุปกรณ์นับรังสี (counter) รุ่น ORTEC 875

4.2.8 กล่องพาราฟินขนาด 30 ซม. × 30 ซม. × 16 ซม. สำหรับบรรจุต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว

4.2.9 แผ่นแคดเมียม (Cadmium sheet: Cd) ขนาด 30 ซม. × 30 ซม.หนา 0.65 ซม. สำหรับดูดจับนิวตรอนช้า

4.2.10 แผ่นยางผสมโบรอน (Boron rubber sheet) ขนาด 30 ซม. × 30 ซม.หนา 0.3 ซม. และขนาด 30 ซม. × 60 ซม.หนา 0.3 ซม. สำหรับดูดจับนิวตรอนช้า

4.2.11 แผ่นแคดเมียมหนา 0.7 ซม. ขนาด 30 ซม. × 13 ซม. สำหรับครอบหัววัด

4.2.12 แผ่นยางผสมโบรอนหนา 0.3 ซม. ขนาด 30 ซม. × 5 ซม. และ ขนาด 10 ซม.

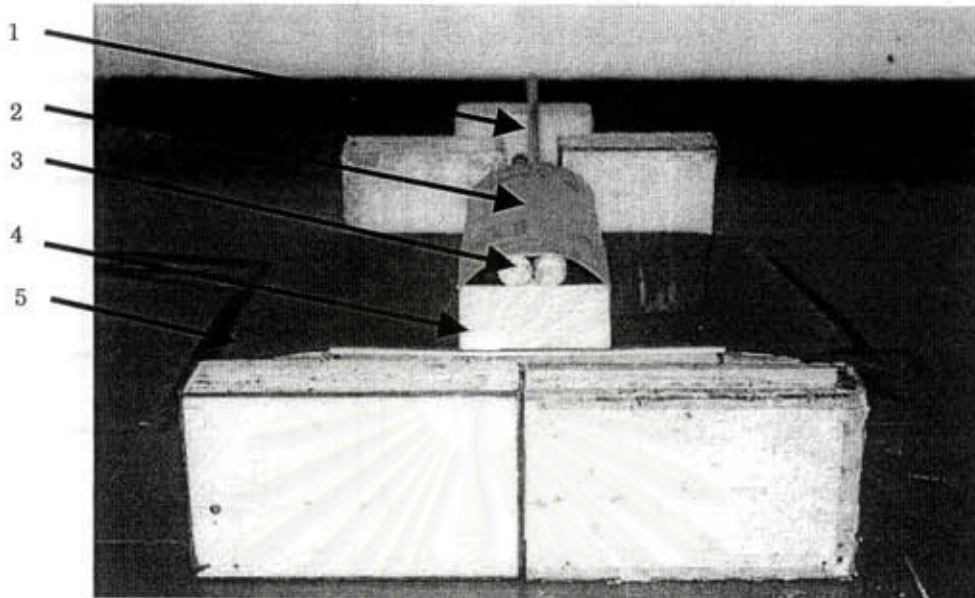
× 5 ซม. อย่างละ 2 แผ่น สำหรับหุ้มภาชนะใส่ตัวอย่าง

4.2.13 เครื่องชั่ง รุ่น Teraoka NT 24-01 สำหรับชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

4.2.14 กล่องอะลูมิเนียมหนา 0.1 ซม. ขนาด 10 ซม. × 30 ซม. × 5 ซม. สำหรับบรรจุตัวอย่าง

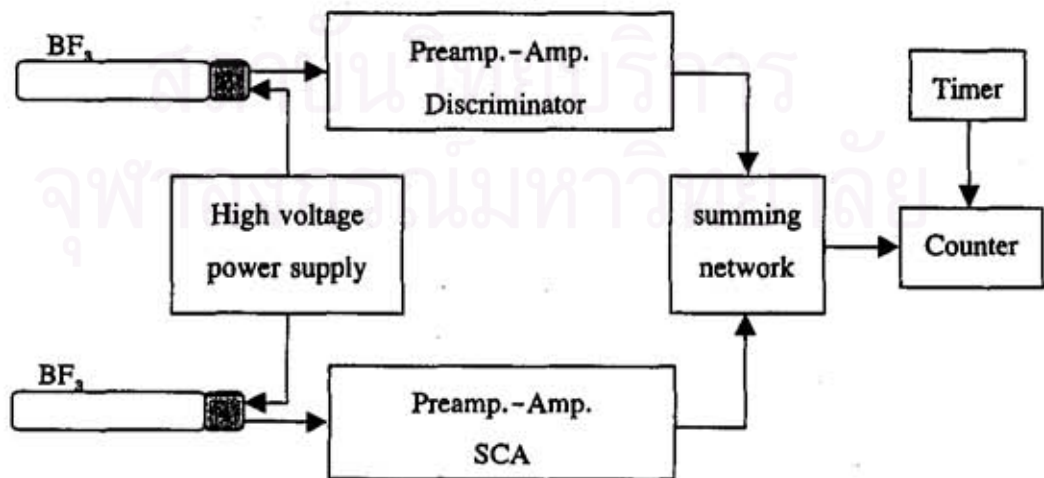
4.2.15 ตัวอย่างน้ำสำหรับเปรียบเทียบจำนวนนับรังสี

4.2.16 ตัวอย่างเนื้อหมูบด และไขมันบด

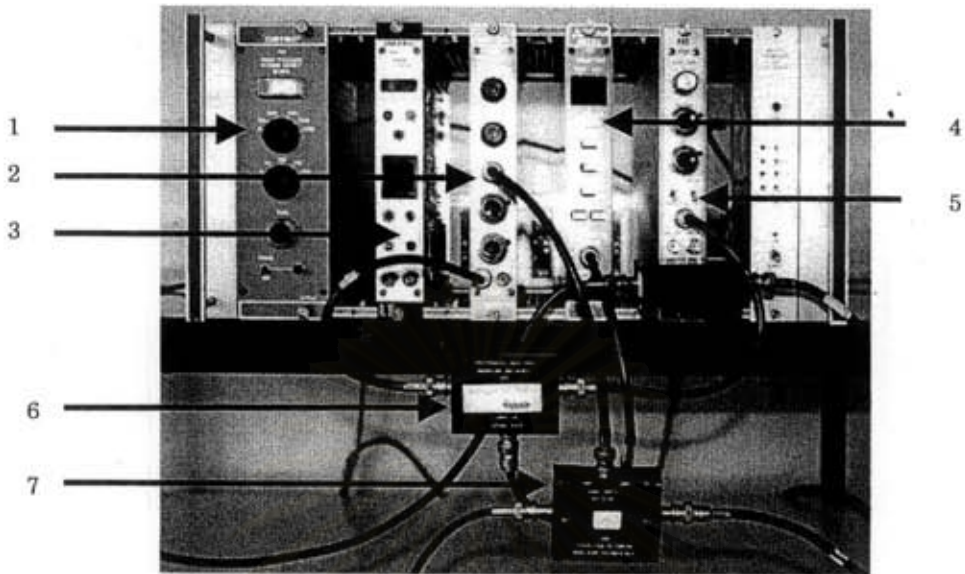


1. ท่อฟิวซีสำหรับบรรจุต้นกำเนิดนิวตรอน
2. แผ่นแคดเมียม
3. หัววัดนิวตรอนโบรอนไตรฟลูออไรด์
4. กล่องอะลูมิเนียมสำหรับบรรจุตัวอย่าง
5. แผ่นยางผสมโบรอน

รูปที่ 4.1 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนช้า

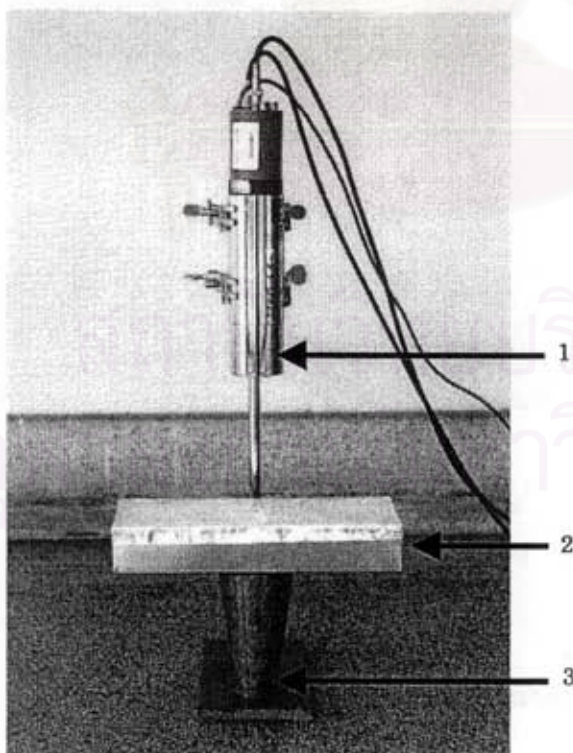


รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพการจัดระบบวัดนิวตรอนช้าโดยใช้หัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์



- |                    |          |                    |
|--------------------|----------|--------------------|
| 1. HV power supply | 2. Timer | 3. Timer / counter |
| 4. Counter         | 5. PAD   | 5. Summing Network |
| 7. RC network      |          |                    |

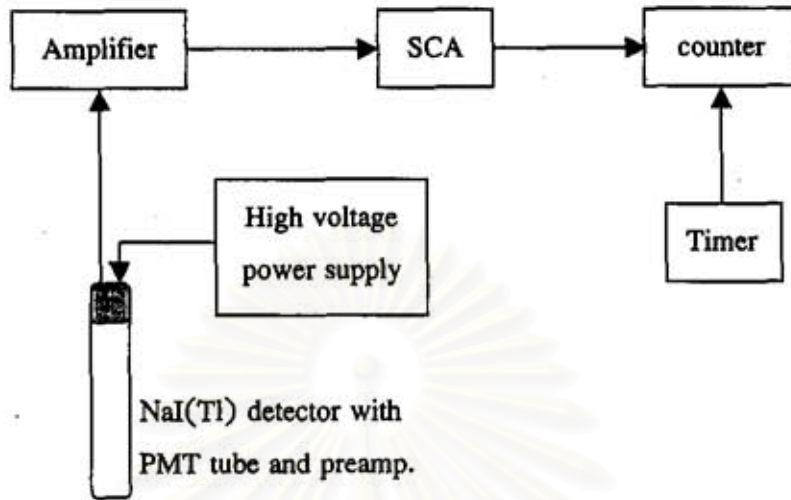
รูปที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดนิวตรอนช้า



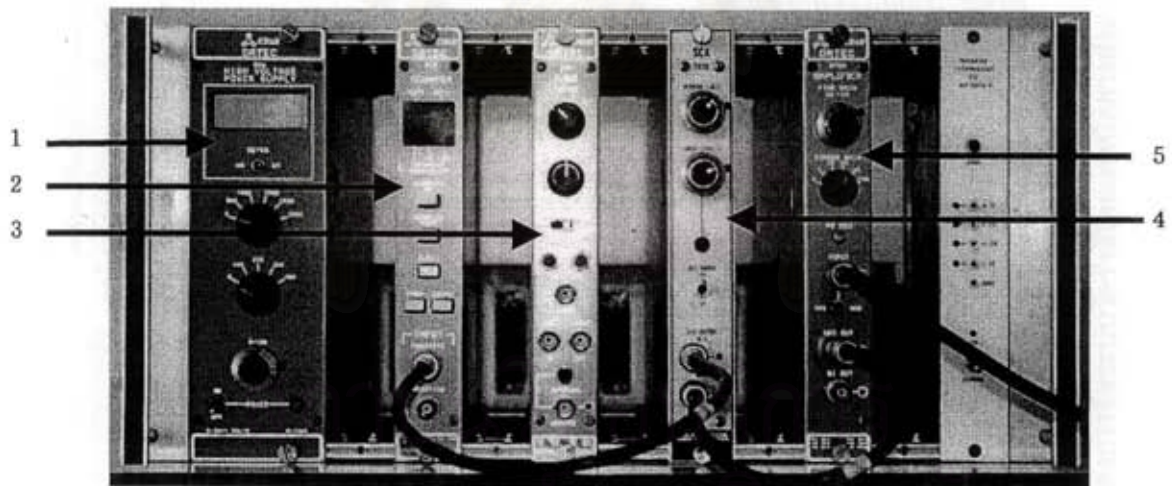
1. หัววัดรังสีแกมมา NaI(Tl)
2. ตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในกล่องอะลูมิเนียม
3. ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  พร้อมตะกั่วกำบังรังสีและคออลิมิเตอร์

รูปที่ 4.4 แสดงการจัดระบบวัดรังสีแกมมา





รูปที่ 4.5 แสดงแผนภาพการจัดการระบบวัดรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม)

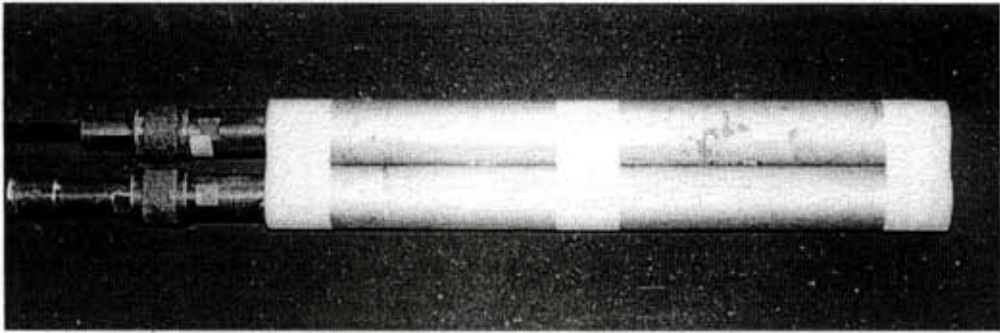


- |                    |              |          |
|--------------------|--------------|----------|
| 1. HV power supply | 2. Counter   | 3. Timer |
| 4. SCA             | 5. amplifier |          |

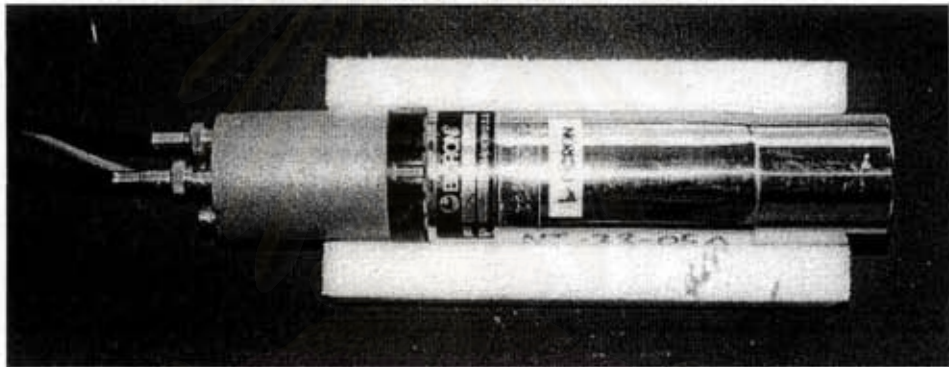
รูปที่ 4.6 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดรังสีแกมมา



รูปที่ 4.7 แสดงการจัดระบบวัดรังสีโดยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา



รูปที่ 4.8 แสดงหัววัดนิวตรอนชนิดบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์

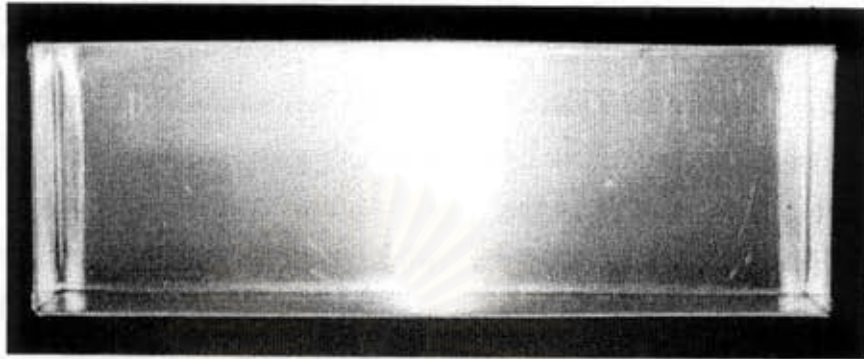


รูปที่ 4.9 แสดงหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอดัด (ทลเลียม)



รูปที่ 4.10 แสดงเครื่องชั่งที่ใช้ในการชั่งตัวอย่าง





(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 (ก) ถังอะลูมิเนียมที่ใช้บรรจุตัวอย่าง (ข) ถังอะลูมิเนียมล้อมรอบด้วยแผ่นยางผสมโบรอนสำหรับกำบังนิวตรอนที่กระเจิงจากวัสดุกำบังนิวตรอน

#### 4.2 วิธีการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการวัดปริมาณไขมันในเนื้อหมูปอดโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา ซึ่งเป็นเทคนิคนิวเคลียร์ที่มีข้อดีกว่าการใช้เทคนิคอื่น ๆ หลายประการเช่น ให้ค่าเฉลี่ยที่มีความถูกต้องสูง และสะดวกรวดเร็ว เพื่อให้การทดลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้แบ่งขั้นตอนของการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

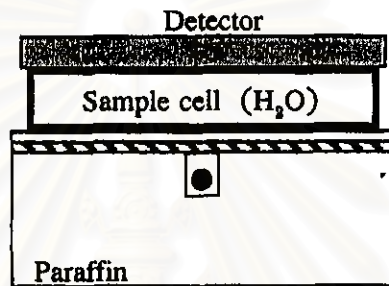


1. หาเงื่อนไขของตัวอย่างและระบบวัดที่เหมาะสมในการวัดนิวตรอนช้า
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนับนิวตรอน และรังสีแกมมาเมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักหรือความหนาต่าง ๆ กัน
3. สร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนสุทธิ กับปริมาณของไขมันในตัวอย่างเป็นเปอร์เซ็นต์และหาค่าแก้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาแตกต่างกัน
4. ทดสอบตัวอย่างที่ไม่ทราบปริมาณไขมันด้วยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน และรังสีแกมมา เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบวัดที่ได้พัฒนาขึ้น ผลการทดลองที่ได้จากขั้นตอนทั้งหมด สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประยุกต์ใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา เป็นเทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลายวิธีใหม่สำหรับวัดปริมาณไขมันในเนื้อหุ่มบด

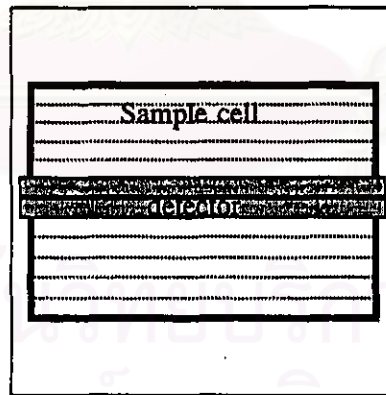
#### 4.2.1 หาเงื่อนไขของระบบวัดและตัวอย่างที่เหมาะสมในการวัดนิวตรอนช้า

การทดลองนี้ได้เลือกใช้พาราฟินเป็นตัวห้วงพลังงานของนิวตรอนเนื่องจากพาราฟินเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ราคาถูก และสามารถตัด เจาะหรือทำให้อยู่ในรูปทรงต่าง ๆ ได้ง่าย ขนาดของพาราฟินที่ใช้เก็บต้นกำเนิดนิวตรอนเพื่อผลิตนิวตรอนช้ามีผลต่อความเข้มของนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นอย่างมาก จากการศึกษาของ A.J. Cox และคณะ [32] พบว่าขนาดของพาราฟินที่เหมาะสมสำหรับเก็บต้นกำเนิดนิวตรอนเพื่อนำเอานิวตรอนช้าออกมาใช้ประโยชน์ ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 30 ซม. ผนังด้านข้างและด้านล่างควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 ซม. จึงจะทำให้ได้ความเข้มของนิวตรอนช้าที่ออกมามีความเข้มสูงที่สุด ในการทดลองนี้จึงได้ใช้พาราฟินขนาด 30 ซม. × 30 ซม. × 16 ซม. เจาะรูทางด้านข้างสำหรับใส่ท่อพีวีซีที่บรรจุต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ความแรงรังสีรวม 120 มิลลิวูรี และเจาะพาราฟินออกให้เป็นหลุมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. ลึก 2.5 ซม. ที่บริเวณกึ่งกลางด้านบนของกล่องพาราฟิน จากนั้นปิดด้านบนของพาราฟินด้วยแผ่นแคดเมียมหนา 0.65 มิลลิเมตร ขนาด 30 ซม. × 30 ซม. และแผ่นยางผสมโบรอนหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น เพื่อดูดจับนิวตรอนพลังงานต่ำออก ภาชนะที่ใช้บรรจุตัวอย่างทำด้วยอะลูมิเนียมที่ล้อมรอบด้วยแผ่นยางผสมโบรอน จากนั้นได้ทำการทดลองวัดความเข้มของนิวตรอนที่เกิดขึ้นด้วยหัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์ 2 หัววัดที่ครอบด้วยแผ่นแคดเมียมเพื่อดูดจับนิวตรอนพลังงานต่ำจากการกระเจิงเข้าสู่หัววัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 หัววัดนิวตรอนทั้ง 2 หัววัดถูกต่อกับชุดนับนิวตรอนช้าดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 สัญญาณที่ได้จากทั้ง 2 หัววัดจะผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณ จากนั้นสัญญาณที่ได้จากทั้ง 2 หัววัดจะถูกรวมด้วยเน็ตเวิร์ครวมสัญญาณดิจิตอลก่อนจะเข้าสู่อุปกรณ์นับรังสี ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับวัดนิวตรอนช้ามีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก) ทำการทดลองวัดนิวตรอนช้าเพื่อศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำต่อจำนวนนับนิวตรอน วัดอุณหภูมิเพื่อหาความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำที่เหมาะสม โดยใช้ภาชนะอลูมิเนียมขนาดยาว 25.5 ซม. สูง 2.5 ซม. ที่มีความกว้างต่าง ๆ กัน บรรจุน้ำเต็มภาชนะดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.12 วางหัววัดทั้ง 2 หัววัดลงบนถาดกึ่งกลางตัวอย่าง ใช้เวลาในการวัด 4 นาที เปลี่ยนความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำที่ระยะ 6, 8, 10, 12, 16 และ 25.5 ซม. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.13



(ก) ระบบวัดทางด้านข้าง



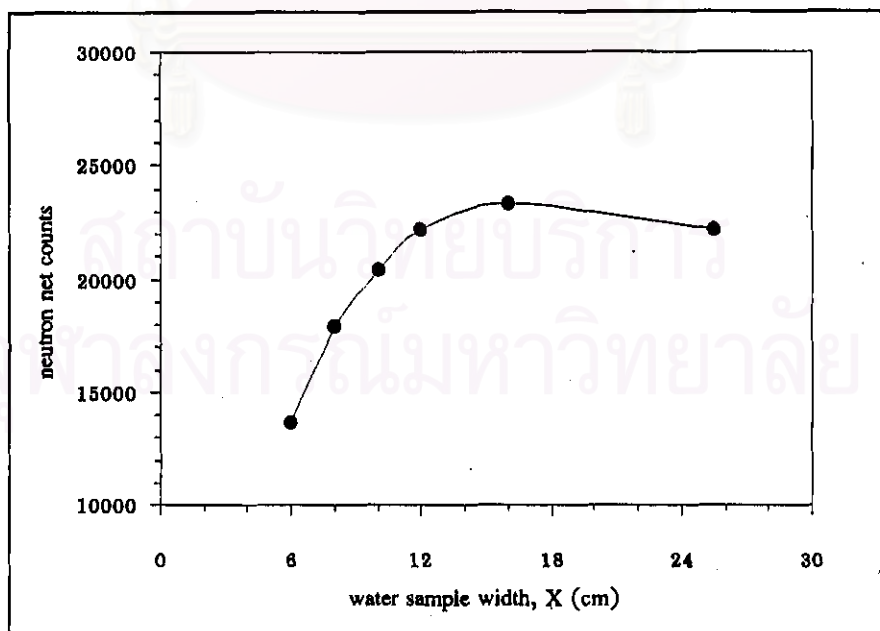
(ข) ระบบวัดทางด้านบน

- Neutron source
- ▨ Cadmium sheet
- ▭ Boron rubber sheet

รูปที่ 4.12 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเมื่อเปลี่ยนความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองระหว่างความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำต่อจำนวนนับนิวตรอน

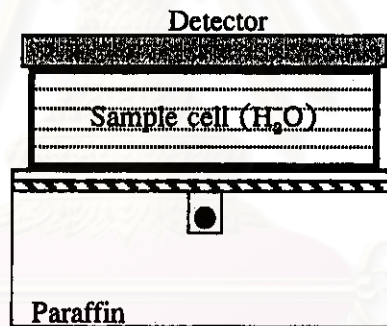
| ความกว้างของ<br>ภาชนะบรรจุน้ำ (ซม.) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ<br>ต่อ 4 นาที |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| 6                                   | 13670                              |
| 8                                   | 17951                              |
| 10                                  | 20399                              |
| 12                                  | 22162                              |
| 16                                  | 23293                              |
| 25.5                                | 22157                              |



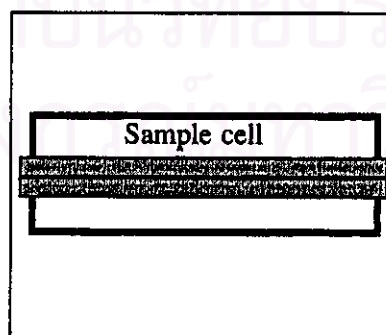
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำกับจำนวนนับนิวตรอน

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.13 พบว่าจำนวนนับนิวตรอนจะเพิ่มขึ้นในช่วงความกว้างของภาชนะตั้งแต่ 6 ถึง 10 ซม. และจะค่อนข้างคงที่เมื่อภาชนะมีความกว้างตั้งแต่ 10 ถึง 16 ซม. หลังจากเพิ่มความกว้างของภาชนะมากกว่า 16 ซม. พบว่าจำนวนนับนิวตรอนจะลดลง เนื่องจากใช้ภาชนะที่มีความกว้างมากเกินไป นิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถกระเจิงกลับเข้าสู่หัววัดได้ดังนั้นจำนวนนับนิวตรอนจึงลดลง ในการทดลองขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ภาชนะที่มีขนาดกว้างเท่ากับ 10 ซม. เนื่องจากเป็นความกว้างที่น้อยที่สุดที่ให้จำนวนนับนิวตรอนและความไวกับระบบวัดที่เหมาะสมที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของภาชนะเพียงเล็กน้อย

ข) ทำการทดลองโดยใช้ภาชนะบรรจุน้ำที่มีความยาว 30 ซม. กว้าง 10 ซม. โดยทำการเปลี่ยนความสูงของภาชนะบรรจุน้ำที่ความสูง 3, 4, 5, 6 และ 7 ซม. ตามลำดับ วางหัววัดนิวตรอนช้าทั้ง 2 หัววัดกึ่งกลางตัวอย่างติดกับผิวน้ำ ใช้เวลาในการวัด 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.14 วัดดูประสงค์เพื่อหาความสูงของภาชนะที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.15



(ก) ระบบวัดทางด้านข้าง



- Neutron source
- ▨ Cadmium sheet
- ▭ Boron rubber sheet

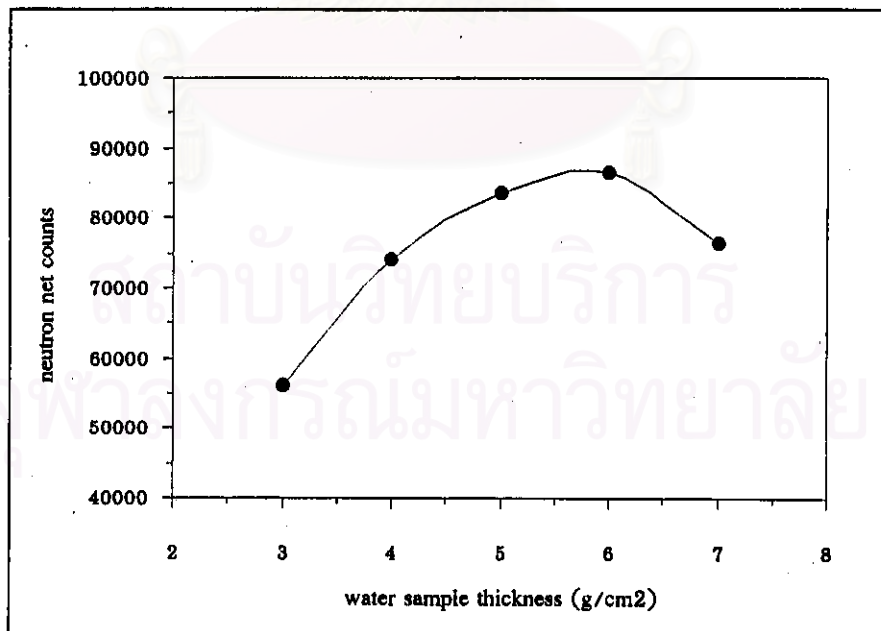
(ข) ระบบวัดทางด้านบน

รูปที่ 4.14 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเมื่อเปลี่ยนความสูงของภาชนะบรรจุน้ำ



ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองระหว่างความสูงของภาชนะบรรจุน้ำต่อจำนวนนับนิวตรอน  
(ภาชนะกว้าง = 10 ซม.)

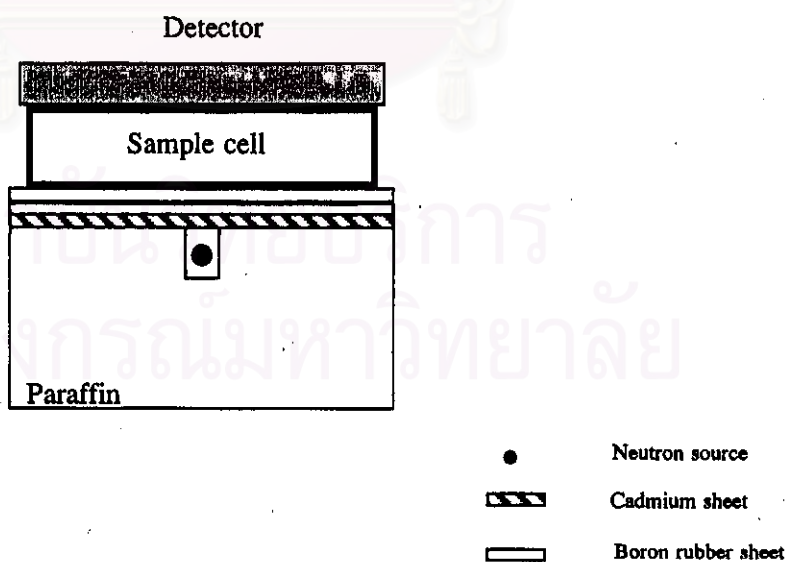
| ความสูงของ<br>ภาชนะบรรจุน้ำ (ซม.) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ<br>ต่อ 10 นาที |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 3                                 | 56296                               |
| 4                                 | 73961                               |
| 5                                 | 83598                               |
| 6                                 | 86450                               |
| 7                                 | 76418                               |



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของภาชนะบรรจุน้ำกับจำนวนนับนิวตรอน

จากผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนความสูงของภาชนะบรรจุน้ำดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.15 พบว่าจำนวนนับนิวตรอนจะเพิ่มขึ้นในช่วงที่ภาชนะมีความสูงตั้งแต่ 3 ถึง 5 ซม. เนื่องจากปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น แต่จำนวนนับนิวตรอนจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มความสูงของภาชนะมากกว่า 6 ซม. เนื่องจากนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจะถูกกระเจิงหรือดูดกลืนไปด้วยปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างที่มากเกินไปทำให้ไม่สามารถผ่านเข้าสู่หัววัดได้ ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงได้เลือกใช้ภาชนะที่มีความสูงเท่ากับ 5 ซม. เนื่องจากเป็นความสูงที่ให้จำนวนนับนิวตรอนและความไวกับระบบวัดที่เหมาะสมที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนความสูงของภาชนะไปเพียงเล็กน้อย

ค) ทำการทดลองเพื่อหาน้ำหนักหรือความหนาของตัวอย่างที่เหมาะสม โดยวัดค่าจำนวนนับของนิวตรอนและอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับนิวตรอนของทั้งมันหมูบดและหมูเนื้อแดงบด โดยเปลี่ยนน้ำหนักของทั้งมันหมูบดและหมูเนื้อแดงบดเป็น 800, 1000, 1200, 1400, 1700 และ 2000 กรัม ซึ่งคิดเป็นความหนาเท่ากับ 2.67, 3.33, 4.00, 4.67, 5.67 และ 6.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> ตามลำดับ วางหัววัดบริเวณกึ่งกลางตัวอย่าง โดยใช้แผ่นยางผสมโบรอนในการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่ำ 1 แผ่น ใช้เวลาในการวัด 10 นาที ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.17 จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยใช้แผ่นยางผสมโบรอนเพิ่มเป็น 2 แผ่น ดังรูปที่ 4.16 เพื่อเปรียบเทียบจำนวนนับนิวตรอน และอัตราส่วนจำนวนนับนิวตรอนจากมันหมูบดกับหมูเนื้อแดงบด ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.18



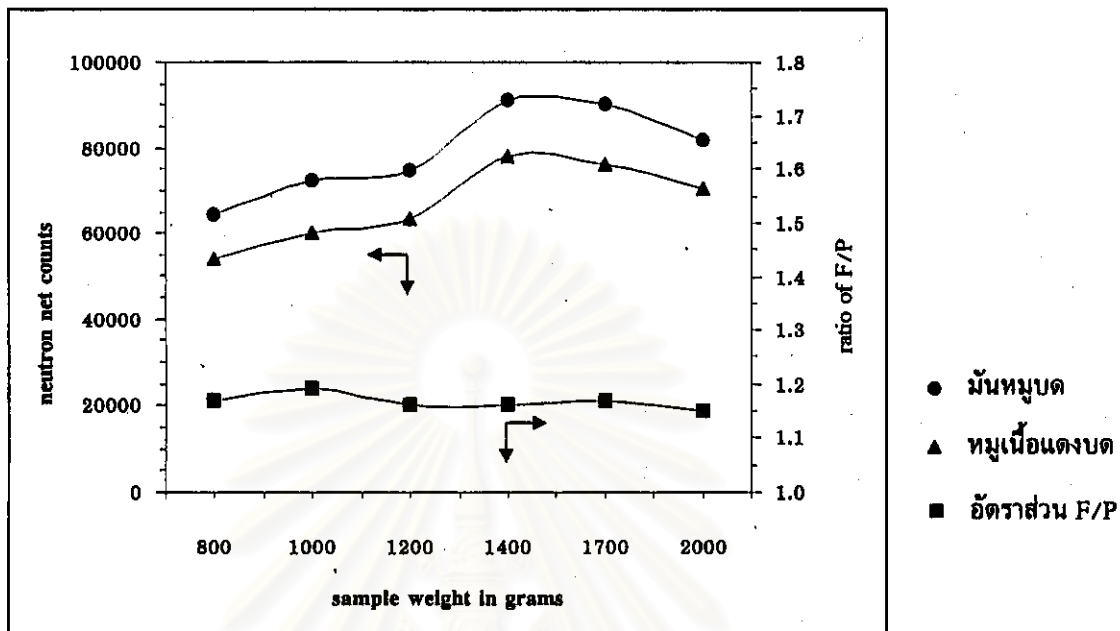
รูปที่ 4.16 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนโดยใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองระหว่างความหนาของเนื้อหมูบดต่อจำนวนนับนิวตรอนเมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 1 แผ่น

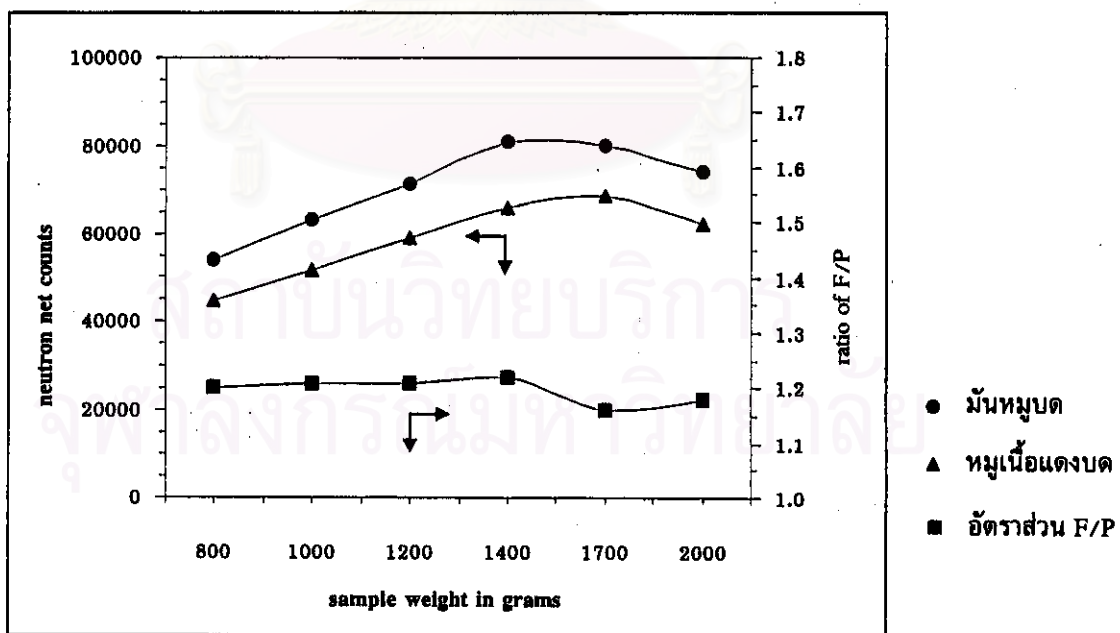
| น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม) | ความหนาของตัวอย่าง (กรัม/ซม <sup>2</sup> ) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิของมันหมู (F) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิของหมูเนื้อแดง (P) | อัตราส่วน (F/P) |
|---------------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------|
| 800                       | 2.67                                       | 64232                             | 53902                                  | 1.17            |
| 1000                      | 3.33                                       | 72532                             | 60303                                  | 1.19            |
| 1200                      | 4.00                                       | 74685                             | 63490                                  | 1.16            |
| 1400                      | 4.67                                       | 91199                             | 77821                                  | 1.16            |
| 1700                      | 5.67                                       | 90005                             | 76135                                  | 1.17            |
| 2000                      | 6.67                                       | 81616                             | 70462                                  | 1.15            |

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองระหว่างความหนาของเนื้อหมูบดต่อจำนวนนับนิวตรอนเมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น

| น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม) | ความหนาของตัวอย่าง (กรัม/ซม <sup>2</sup> ) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิของมันหมู (F) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิของหมูเนื้อแดง (P) | อัตราส่วน (F/P) |
|---------------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------|
| 800                       | 2.67                                       | 54076                             | 44648                                  | 1.20            |
| 1000                      | 3.33                                       | 62873                             | 51570                                  | 1.21            |
| 1200                      | 4.00                                       | 71284                             | 58913                                  | 1.21            |
| 1400                      | 4.67                                       | 80709                             | 65606                                  | 1.22            |
| 1700                      | 5.67                                       | 79976                             | 68415                                  | 1.16            |
| 2000                      | 6.67                                       | 73768                             | 62158                                  | 1.18            |



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเนื้อหุบุดต่อจำนวนนับนิวตรอน  
เมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 1 แผ่น



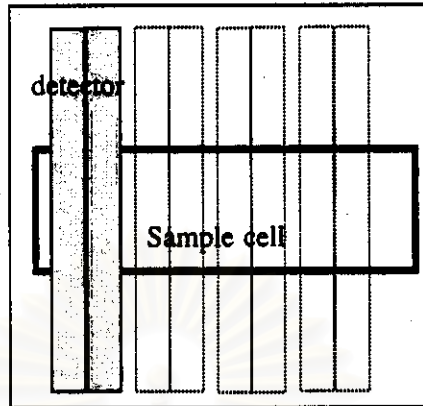
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเนื้อหุบุดต่อจำนวนนับนิวตรอน  
เมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น



จากผลการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตเอพิเทอร์มัลนิวตรอนโดยใช้แผ่นยางผสมโบรอนจำนวน 1 แผ่น ในการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่ำไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.17 พบว่าในช่วงความหนาของตัวอย่างตั้งแต่ 2.67 ถึง 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> จำนวนนับนิวตรอนจากตัวอย่างทั้งสองชนิดมีค่าสูงชันอย่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีนิวตรอนพลังงานต่ำที่ไม่เหมาะสมเข้าทำปฏิกิริยากับตัวอย่างด้วย โดยจำนวนนับนิวตรอนมีค่าสูงสุดเมื่อตัวอย่างมีความหนา 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> และจะลดลงเมื่อตัวอย่างมีความหนาเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนระหว่างจำนวนนับนิวตรอนจากมันหุบดและหมูเนื้อแดงบดมีค่าใกล้เคียงกัน ในทุกช่วงความหนา ผลการทดลองวัดนิวตรอนเมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น ในการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่ำดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.18 พบว่าจำนวนนับนิวตรอนจากตัวอย่างทั้งสองจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในช่วงความหนาตั้งแต่ 2.67 ถึง 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> โดยมีจำนวนนับนิวตรอนสูงสุดที่ความหนา 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> และมีค่าลดลงเมื่อตัวอย่างมีความหนาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น ให้อัตราส่วนระหว่างจำนวนนับนิวตรอนจากมันหุบดและหมูเนื้อแดงบดมีค่าสูงสุดเมื่อตัวอย่างมีความหนา 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> เช่นเดียวกัน ในขณะที่จำนวนนับนิวตรอนขณะที่ไม่มีตัวอย่างจากการใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น มีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 1 แผ่น ประมาณ 2 เท่า เนื่องจากนิวตรอนพลังงานต่ำที่ไม่เหมาะสมจะถูกดูดจับไว้ด้วยแผ่นยางผสมโบรอนแผ่นที่ 2 ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น ในการดูดจับนิวตรอนพลังงานต่ำที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอพิเทอร์มัลนิวตรอน จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 พบว่าอัตราส่วนจำนวนนับนิวตรอนจากมันหุบดและหมูเนื้อแดงบดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วงความหนาของตัวอย่างเป็นผลให้ระบบวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดความเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันในตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้แม้ว่าจะมีความหนาหรือน้ำหนักแตกต่างกัน

ง) ทำการทดลองวัดนิวตรอนช้าโดยใช้ตัวอย่างหมูเนื้อแดงบดหนา 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> และทำการเปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนตามแนวยาวจากขอบกล่องด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของกล่อง โดยวัดระยะจากขอบด้านใดด้านหนึ่งของกล่องถึงตำแหน่งกึ่งกลางของหัววัดทั้ง 2 หัววัดเป็นระยะตั้งแต่ 3 ถึง 27 ซม. การวางหัววัดจะวางขวางกับกล่องโดยให้ช่วงกลางของหัววัดวางพาดอยู่บนขอบกล่อง ดังรูปที่ 4.19 ใช้เวลาในการวัด 10 นาที ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.20

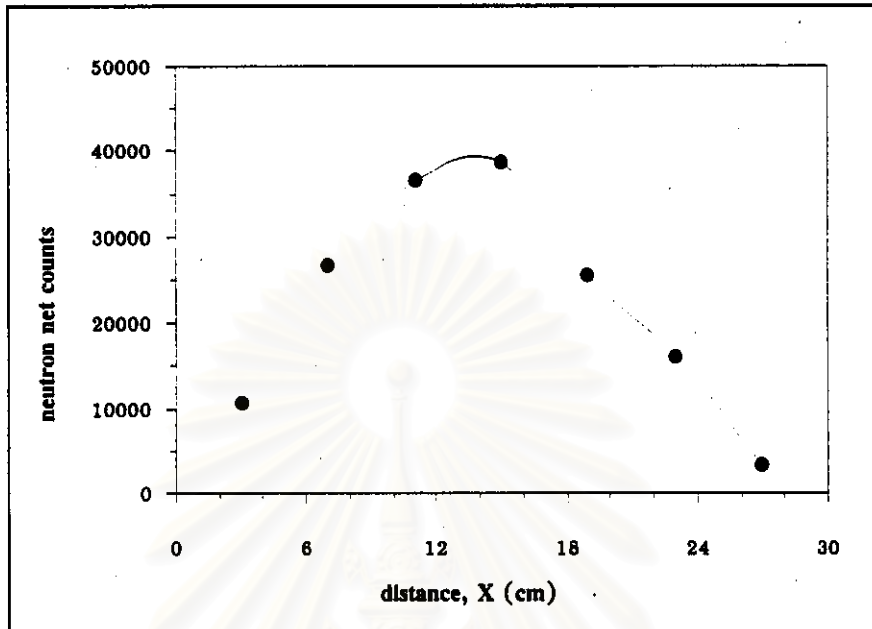
→ X ←



รูปที่ 4.19 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดตามแนวยาวของภาชนะบรรจุตัวอย่าง  
หมู่น้ำแข็งบด

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองระหว่างตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนต่อจำนวนนับนิวตรอน

| ตำแหน่งของหัววัด<br>(ซม.) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ<br>ต่อ 10 นาที |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 3                         | 10523                               |
| 7                         | 26725                               |
| 11                        | 36456                               |
| 15                        | 38594                               |
| 19                        | 25570                               |
| 23                        | 16098                               |
| 27                        | 3306                                |



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนกับจำนวนนับนิวตรอน

จากผลการทดลองเพื่อหาตำแหน่งของหัววัดที่เหมาะสมในการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.20 พบว่าตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนที่มีประสิทธิภาพในการวัดนิวตรอนสูงที่สุดคือบริเวณกึ่งกลางของภาชนะบรรจุตัวอย่างเนื้อแดงบด ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนต่อไปจึงได้ใช้ตำแหน่งเดียวกันนี้ในการจัดระบบวัดรังสีแกมมาเพื่อใช้ในการปรับเทียบความหนาของตัวอย่าง

จ) จัดระบบวัดรังสีแกมมาดังรูปที่ 4.4 เพื่อหาต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ โดยใช้รังสีแกมมา 662 keV จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{137}\text{Cs}$  ความแรงรังสี 30 มิลลิวูรี และรังสีแกมมาพลังงาน 60 keV จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  ความแรงรังสี 100 มิลลิวูรี เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนต่อรังสีแกมมาของเนื้อหมูบด ทำการทดลองวัดรังสีแกมมากับตัวอย่างเนื้อหมูบดน้ำหนักรวม 1400 กรัม คิดเป็นความหนาเท่ากับ 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> จำนวน 4 ตัวอย่าง ใช้เวลาในการวัด 1 นาที ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา 2 ชนิด

| ตัวอย่าง<br>เนื้อหุ่มบด<br>ที่* | จำนวนนับรังสี<br>แกมมาจาก<br>ต้นกำเนิด $^{137}\text{Cs}$<br>พลังงาน 662 keV | ค่าสัมประสิทธิ์<br>การลดทอน<br>( $\mu$ )<br>$\text{cm}^2/\text{g}$ | จำนวนนับรังสี<br>แกมมาจาก<br>ต้นกำเนิด $^{241}\text{Am}$<br>พลังงาน 60 keV | ค่าสัมประสิทธิ์<br>การลดทอน<br>( $\mu$ )<br>$\text{cm}^2/\text{g}$ |
|---------------------------------|---|--|--|--|
| 1                               | 108520  | 0.0799   | 134648   | 0.1699   |
| 2                               | 109129  | 0.0787   | 134860   | 0.1693   |
| 3                               | 107904  | 0.0812   | 133864   | 0.1712   |
| 4                               | 108068  | 0.0808   | 137485   | 0.1655   |
| Blank ( $I_0$ )                 | 157593  | -  | 297601   | -  |

\* เนื้อหุ่มบดขนาด 30 ซม.  $\times$  10 ซม.  $\times$  5 ซม.

จากการทดลองเพื่อหาต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่เหมาะสมพบว่าการใช้รังสีแกมมาพลังงาน 60 keV จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  ให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเนื้อหุ่มต่อรังสีแกมมาสูงกว่าการใช้รังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{137}\text{Cs}$  ประมาณ 2 เท่า ซึ่งทำให้เห็นได้ชัดว่าสำหรับการทดลองนี้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  ให้ความไวกับระบบวัดสูงกว่าการใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{137}\text{Cs}$  ซึ่งสามารถที่จะใช้วัดความเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวอย่างเพียงเล็กน้อยได้ดีกว่า ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  ในการเปรียบเทียบความหนาของตัวอย่าง

4.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนนับนิวตรอนและจำนวนนับรังสีแกมมาเมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักหรือความหนาต่าง ๆ กัน ในขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยดังนี้

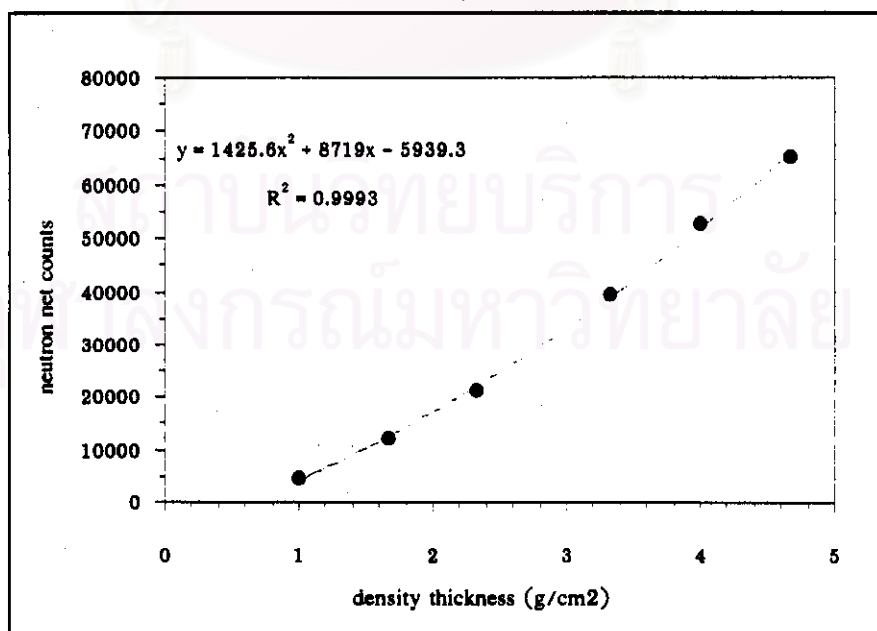
ก) ทำการทดลองวัดนิวตรอนเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนับนิวตรอนเมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักต่าง ๆ กัน โดยใช้ตัวอย่างหุ่มเนื้อแดงบดที่มีน้ำหนัก 300, 500, 700, 1000, 1200 และ 1400 กรัม บรรจุอยู่ในภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมขนาด 30 ซม.  $\times$  10 ซม.  $\times$  5 ซม. คิดเป็นความหนาเท่ากับ 1, 1.67, 2.33, 3.33, 4 และ 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> ตามลำดับ ใช้



เวลาในการวัด 10 นาที วัดดูประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของตัวอย่างกับจำนวนนับนิวตรอนผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.21 นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการเขียนกราฟเปรียบเทียบเพื่อนำมาหาค่าแก้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของตัวอย่างหมูเนื้อแดง

| น้ำหนักของตัวอย่าง<br>(กรัม) | ความหนาของตัวอย่าง<br>(กรัม/ซม <sup>2</sup> ) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ<br>ต่อ 10 นาที |
|------------------------------|---|-------------------------------------|
| 300                          | 1   | 4599                                |
| 500                          | 1.67  | 12306                               |
| 700                          | 2.33  | 21415                               |
| 1000                         | 3.33  | 39325                               |
| 1200                         | 4.00  | 52601                               |
| 1400                         | 4.67  | 65187                               |



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของหมูเนื้อแดง

จากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับน้ำหนักหรือความหนาของหมูเนื้อแดงบดดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.21 พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นแบบโพลีโนเมียลดังสมการที่ 4.1 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของตัวอย่างโดยจำนวนนับนิวตรอนจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักหรือความหนามากขึ้น

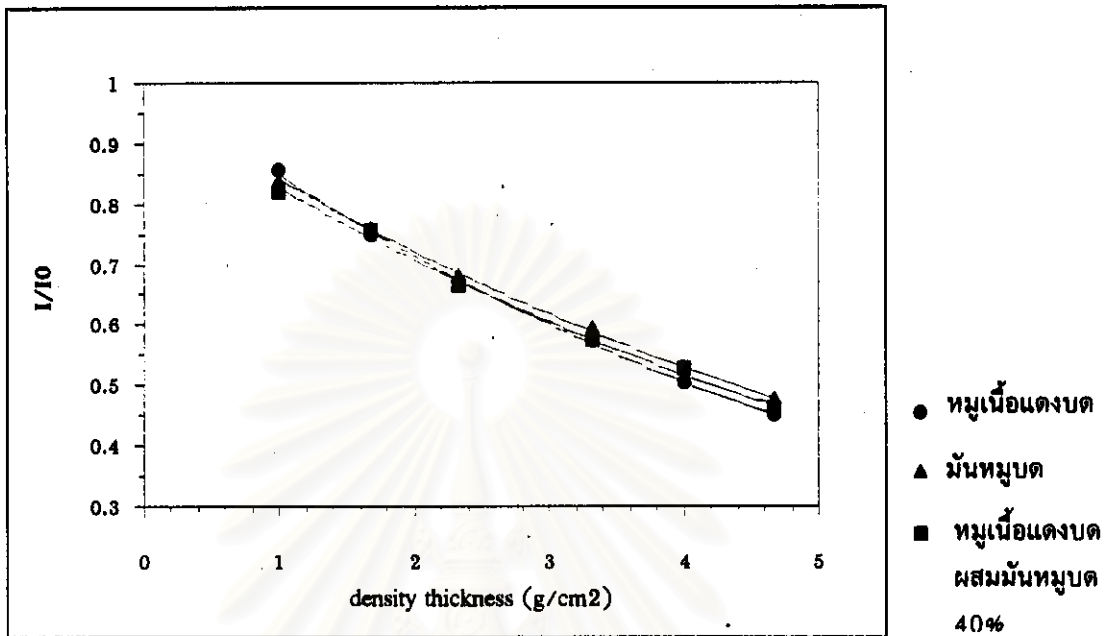
$$y = 1425.6X^2 + 8719X - 5939.3 \quad R^2 = 0.9993 \quad (4.1)$$

โดยที่ y คือ จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ  
x คือ ความหนาของตัวอย่าง (กรัม/ซม<sup>2</sup>)

ข) ทำการทดลองวัดรังสีแกมมาเพื่อศึกษาการตอบสนองของจำนวนนับรังสีแกมมาเมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักหรือความหนาต่างๆ กัน โดยทำการวัดรังสีแกมมาผ่านตัวอย่างหมูเนื้อแดงบด หมูเนื้อแดงบดผสมมันหมูบด 40% และมันหมูบด ที่มีน้ำหนัก 300, 500, 700, 1000, 1200 และ 1400 กรัม คิดเป็นความหนาเท่ากับ 1, 1.67, 2.33, 3.33, 4.00 และ 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> ตามลำดับ ใช้เวลาในการวัด 1 นาที ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของมันหมูต่าง ๆ กัน

| น้ำหนักของ<br>ตัวอย่าง<br>(กรัม) | ความหนาของ<br>ตัวอย่าง<br>(กรัม/ซม <sup>2</sup> ) | จำนวนนับรังสีแกมมา<br>ของหมูเนื้อแดงบด<br>ต่อ 1 นาที | จำนวนนับรังสีแกมมาของ<br>หมูเนื้อแดงบดผสม<br>มันหมูบด 40 % ต่อ 1 นาที | จำนวนนับรังสีแกมมา<br>ของมันหมูบด<br>ต่อ 1 นาที |
|----------------------------------|---|--|---|---|
| 0                                | 0   | 296724   | 296724  | 296724  |
| 300                              | 1.00  | 253641   | 243086  | 248983  |
| 500                              | 1.67  | 222345   | 224523  | 225053  |
| 700                              | 2.33  | 198386   | 197184  | 202735  |
| 1000                             | 3.33  | 170136   | 170449  | 176576  |
| 1200                             | 4.00  | 149895   | 156112  | 156176  |
| 1400                             | 4.67  | 133370   | 136707  | 141567  |



รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของมันหมูต่าง ๆ กัน (ขนาด 30 ซม.(ก) × 10 ซม.(ข))

จากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.22 พบว่าจำนวนนับรังสีแกมมามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับความหนาของตัวอย่างดังสมการที่ 4.2 คือเมื่อตัวอย่างมีความหนาเพิ่มขึ้นจำนวนนับรังสีแกมมาจะมีค่าลดลง แต่จำนวนนับรังสีแกมมาจะไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของตัวอย่าง ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันต่างกันจะให้จำนวนนับรังสีแกมมาใกล้เคียงกัน

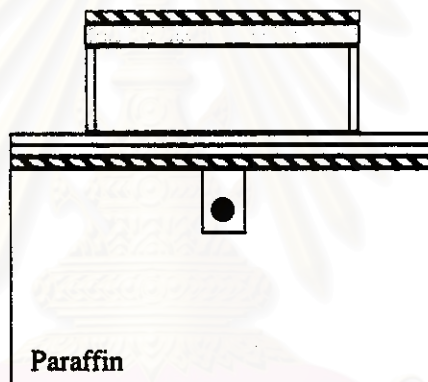
$$y = 0.9775 e^{-0.1559x} \quad R^2 = 0.9964 \quad (4.2)$$

โดยที่ y คือ อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมา  
x คือ ความหนาของตัวอย่าง (กรัม/ซม<sup>2</sup>)

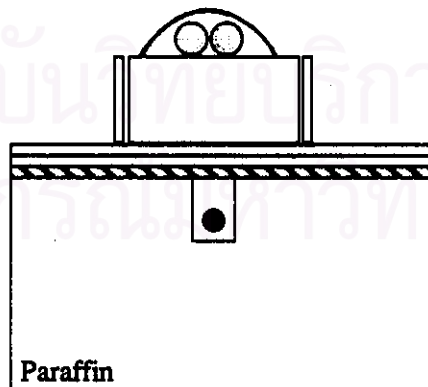
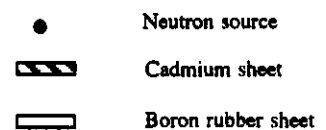
4.2.3 สร้างกราฟเปรียบเทียบสำหรับการวัดปริมาณไขมัน และหาค่าแก้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาแตกต่างกัน ในขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยดังนี้

ก) สร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนสุทธิกับปริมาณของไขมันในตัวอย่างเป็นเปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองโดยการผสมตัวอย่างหมูเนื้อแดงบดและมันหมูบดให้มี

ปริมาณของไขมันต่าง ๆ กัน นำตัวอย่างที่เตรียมขึ้นส่งตรวจหาปริมาณไขมันที่แท้จริงด้วยวิธีมาตรฐาน เพื่อนำค่าปริมาณของไขมันที่แท้จริงมาใช้เขียนในกราฟเปรียบเทียบแทนค่าปริมาณของไขมันที่เตรียมขึ้น โดยตัวอย่างชุดที่ 1 มีปริมาณของไขมันอยู่ในช่วง 4.3-84.54 เปอร์เซ็นต์ คือ 4.3, 22.74, 36.08, 49.71, 68.67 และ 84.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตัวอย่างชุดที่ 2 มีปริมาณของไขมันอยู่ในช่วงต่ำ ๆ 5.73-42.02 เปอร์เซ็นต์ คือ 5.73, 12.36, 19.26, 24.65 และ 42.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำหนักรวมของตัวอย่างเท่ากับ 1400 กรัม บรรจุตัวอย่างที่เตรียมขึ้นลงในกล่องอะลูมิเนียมขนาด 30 ซม. × 10 ซม. × 5 ซม. จากนั้นนำมาทดลองโดยจัดระบบวัดนิวตรอนดังรูปที่ 4.23 ใช้เวลาในการวัด 30 นาที เขียนกราฟระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณของไขมันในตัวอย่างเพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบทั้ง 2 ชุด ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.9, 4.10 และรูปที่ 4.24, 4.25



(ก) แสดงระบบวัดทางด้านข้าง



(ข) แสดงระบบวัดทางด้านหน้า

รูปที่ 4.23 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนที่ใช้ในการสร้างกราฟเปรียบเทียบ

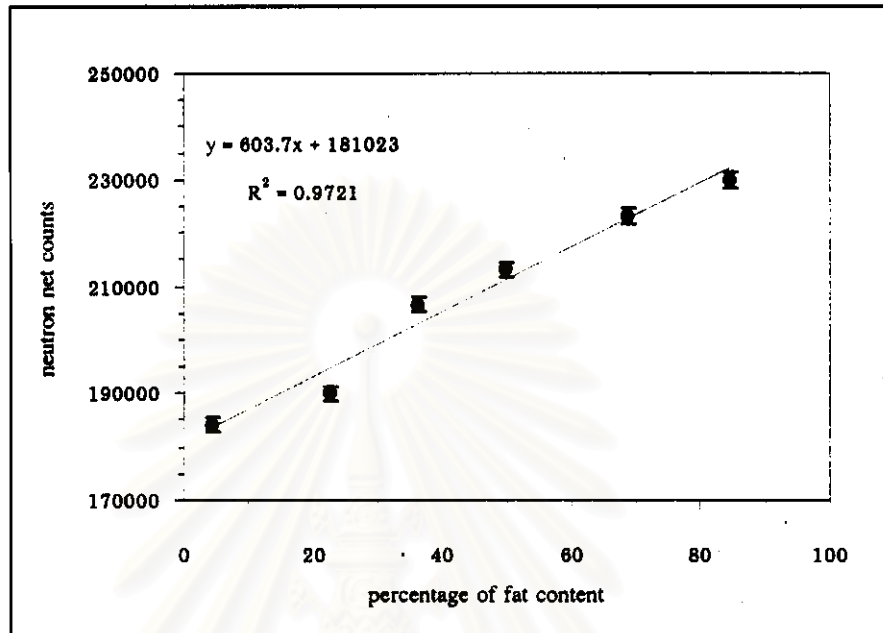
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองสร้างกราฟเปรียบเทียบของตัวอย่างชุดที่ 1 (ปริมาณไขมันในช่วง 4.3-84.54 %)

| ปริมาณของไขมันในตัวอย่าง<br>(%) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ<br>ต่อ 30 นาที |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 4.3                             | 184071                              |
| 22.74                           | 189950                              |
| 36.08                           | 206515                              |
| 49.71                           | 213037                              |
| 68.67                           | 223169                              |
| 84.54                           | 230008                              |

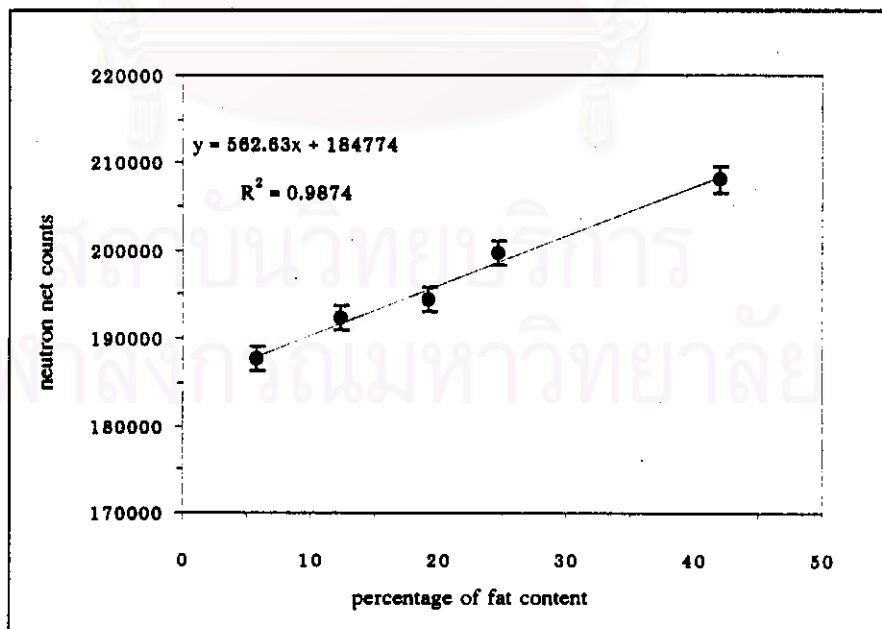
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองสร้างกราฟเปรียบเทียบของตัวอย่างชุดที่ 2 (ปริมาณไขมันในช่วง 5.73-42.02 %)

| ปริมาณของไขมันในตัวอย่าง<br>(%) | จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ<br>ต่อ 30 นาที |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 5.73                            | 187733                              |
| 12.36                           | 192261                              |
| 19.26                           | 194455                              |
| 24.65                           | 199799                              |
| 42.02                           | 208146                              |





รูปที่ 4.24 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันของตัวอย่างชุดที่ 1 (ปริมาณไขมันในช่วง 4.3-84.54 %)



รูปที่ 4.25 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันของตัวอย่างชุดที่ 2 (ปริมาณไขมันในช่วง 5.73-42.02 %)

จากผลการทดลองสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่างพบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงโดยจำนวนนับนิวตรอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างมีปริมาณไขมันสูงขึ้นดังสมการที่ 4.3 สำหรับตัวอย่างชุดที่ 1 (รูปที่ 4.24) และสมการที่ 4.4 สำหรับตัวอย่างชุดที่ 2 (รูปที่ 4.25)

$$y = 603.7X + 181023 \quad R^2 = 0.9721 \quad (4.3)$$

$$y = 562.63X + 184774 \quad R^2 = 0.9874 \quad (4.4)$$

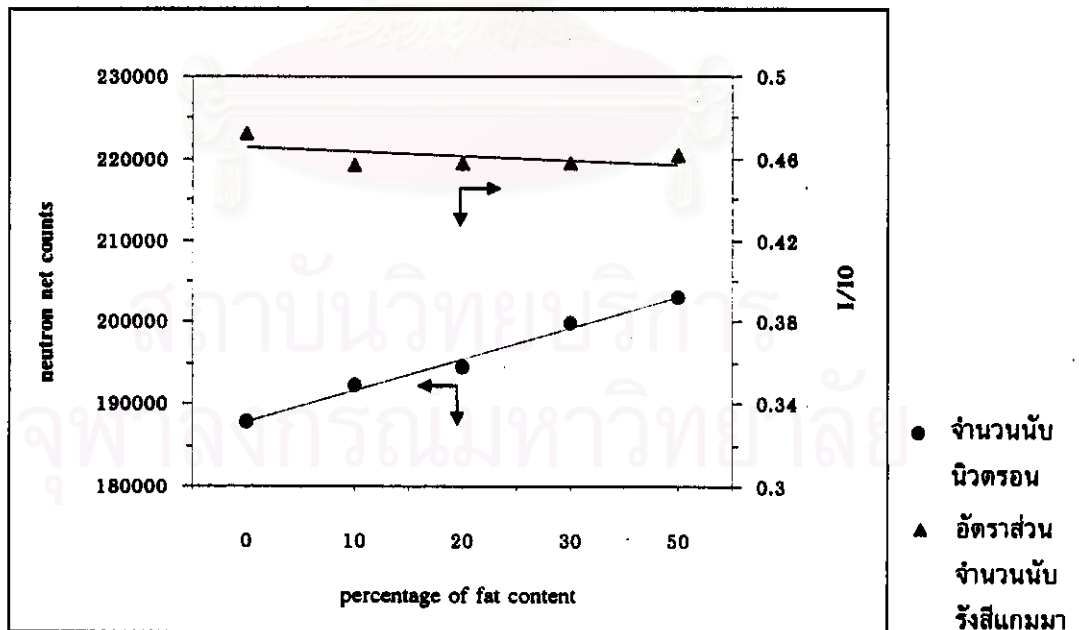
โดยที่ y คือ จำนวนนับนิวตรอน  
x คือ ปริมาณไขมันในตัวอย่างเป็นเปอร์เซ็นต์

จากกราฟเปรียบเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.25 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในช่วงที่มีปริมาณไขมันต่ำๆ คือในช่วง 5.73 ถึง 42.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับตัวอย่างเนื้อหมูปดที่มีจำหน่ายทั่วไปที่จะนำมาทดสอบมากกว่าการใช้กราฟเปรียบเทียบจากรูปที่ 4.24 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในช่วงกว้าง ดังนั้นในงานวิจัยขั้นตอนต่อไปจึงได้เลือกกราฟเปรียบเทียบจากรูปที่ 4.25 มาใช้ในการวัดปริมาณไขมันในตัวอย่างด้วยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา

ข) ทำการทดลองวัดรังสีแกมมาโดยจัดระบบวัดรังสีดังรูปที่ 4.4 โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  กับตัวอย่างเนื้อหมูปดที่มีปริมาณไขมันต่างๆ กัน ดังนี้คือ 5.73, 12.36, 19.26, 24.65 และ 42.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทำการวัดรังสีแกมมาด้วยน้ำที่มีความหนา 4.67 กรัม/ซม<sup>2</sup> เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบความหนาของตัวอย่างเนื้อหมูปด ใช้เวลาในการวัด 1 นาที นำอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาขณะที่มีตัวอย่างและไม่มีตัวอย่างมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับความหนาของตัวอย่างเพื่อใช้ในการคำนวณแก้ค่าสำหรับกรณีตัวอย่างที่มีความหนาแตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.26

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมากับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของปริมาณไขมันต่าง ๆ กัน

| ปริมาณของไขมัน<br>ในตัวอย่าง (%) | จำนวนนับรังสีแกมมา<br>ต่อ 1 นาที | อัตราส่วนจำนวนนับรังสี<br>แกมมา (I/I <sub>0</sub> ) |
|----------------------------------|----------------------------------|---|
| 5.73                             | 140540                           | 0.4724  |
| 12.36                            | 135968                           | 0.4571  |
| 19.26                            | 136248                           | 0.4580  |
| 24.65                            | 135288                           | 0.4576  |
| 42.02                            | 137307                           | 0.4616  |



รูปที่ 4.26 แสดงกราฟเปรียบเทียบของเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา

จากรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมา โดยในจุดที่มีจำนวนนับนิวตรอนน้อยกว่าปกติจะมีจำนวนนับรังสีแกมมาสูงกว่าปกติ แสดงให้เห็นว่าในจุดนั้นมีความหนาหรือความหนาแน่นของตัวอย่างน้อยกว่าปกติ เนื่องจากนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจากการกระเจิงภายในตัวอย่างน้อยลงทำให้จำนวนนับนิวตรอนที่ได้มีค่าน้อยกว่าปกติ ในทางตรงข้ามเมื่อตัวอย่างมีความหนาหรือความหนาแน่นน้อยลง รังสีแกมมาจึงสามารถทะลุผ่านตัวอย่างได้มากขึ้นจึงทำให้อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาสูงกว่าปกติ จากกราฟเปรียบเทียบที่แสดงในรูปที่ 4.26 นี้ทำให้เห็นได้ว่าการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถนำมาช่วยในการแก้ค่าความหนาที่แตกต่างกันของตัวอย่างได้เป็นอย่างดี

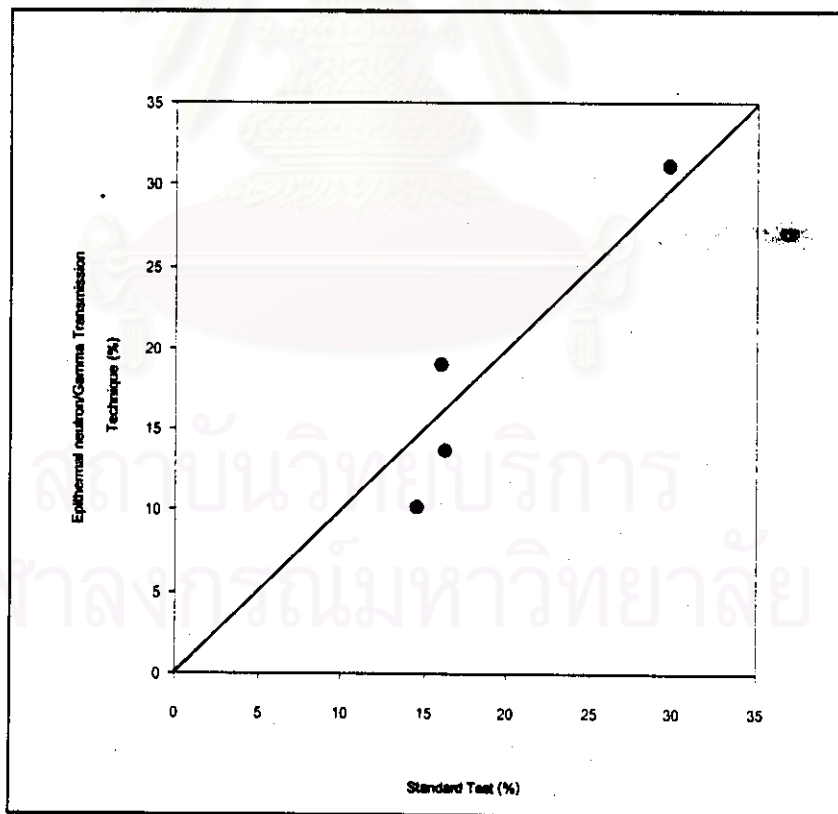
4.2.4 ทำการทดลองวัดปริมาณไขมันในตัวอย่างเนื้อหมูปอดโดยใช้การส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา โดยใช้ตัวอย่างเนื้อหมูปอดที่จำหน่ายโดยทั่วไปที่ไม่ทราบปริมาณไขมันขนาด 1400 กรัม บรรจุอยู่ในกล่องอะลูมิเนียม ใช้เวลาสำหรับการวัดนิวตรอน 30 นาที และใช้เวลาสำหรับการวัดรังสีแกมมา 1 นาที นำจำนวนนับนิวตรอนและรังสีแกมมาที่ได้ไปแก้ค่าเพื่อหาจำนวนนับนิวตรอนที่ถูกต้อง แล้วนำจำนวนนับนิวตรอนที่ได้ไปอ่านค่าปริมาณไขมันจากกราฟเปรียบเทียบ ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 จากนั้นนำตัวอย่างที่ทำการทดลองตรวจหาปริมาณไขมันด้วยวิธีมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันที่อ่านได้จากกราฟเปรียบเทียบ เขียนปริมาณไขมันที่ได้จากกราฟเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันที่ได้จากวิธีมาตรฐานเพื่อหาประสิทธิภาพและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการหาปริมาณไขมันด้วยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.27

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดลองหาปริมาณไขมันจากตัวอย่าง

| ตัวอย่างที่ | จำนวนนับนิวตรอน<br>ต่อ 30 นาที | จำนวนนับรังสีแกมมา<br>ต่อ 1 นาที | ปริมาณของไขมัน<br>(เปอร์เซ็นต์) |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1           | 197859                         | 134648                           | 13.65                           |
| 2           | 195662                         | 134860                           | 10.13                           |
| 3           | 201700                         | 133864                           | 19.04                           |
| 4           | 204818                         | 137485                           | 31.20                           |

ตารางที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณของไขมันที่ได้จากวิธีมาตรฐานและการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา

| ตัวอย่างที่ | ปริมาณไขมันที่ได้จากเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา | ปริมาณไขมันที่ได้จากวิธีมาตรฐาน | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด |
|-------------|--|---------------------------------|------------------------|
| 1           | 13.65  | 16.26                           | -2.61                  |
| 2           | 10.13  | 14.60                           | -4.47                  |
| 3           | 19.04  | 16.01                           | 3.03                   |
| 4           | 31.20  | 29.68                           | 1.52                   |



รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไขมันที่ได้จากวิธีมาตรฐานและการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา



จากผลการทดลองวัดปริมาณไขมันในตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.27 พบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ยไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ โดยจากรูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันที่วัดได้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมากับวิธีมาตรฐาน พบว่าถ้าผลการวัดด้วยวิธีทั้งสองใกล้เคียงกันเมื่อนำมาเขียนในกราฟก็จะอยู่ใกล้กับเส้นตรงมาก ถ้าผลการวัดด้วยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมาที่อ่านได้มากกว่าวิธีมาตรฐานก็จะอยู่เหนือเส้นตรง ในทางตรงข้ามถ้าอ่านได้น้อยกว่าก็จะอยู่ใต้เส้นตรง ซึ่งจากผลการทดลองเห็นได้ว่าการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมาสามารถวัดปริมาณไขมันได้ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย