

การพัฒนากระบวนการตรวจสอบต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บด้วยเทคนิคนิวตรอน



นายธีรพัทธ์ มานวงศ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

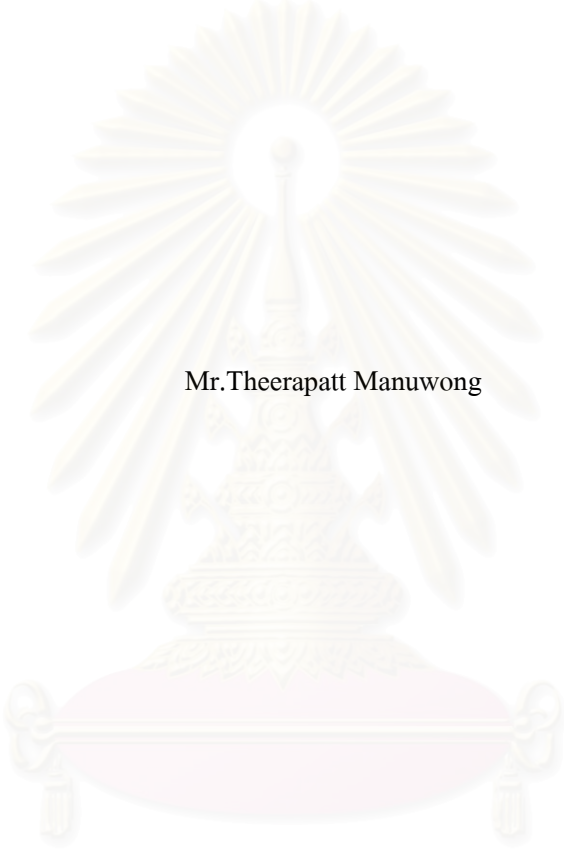
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A DETECTION SYSTEM FOR CRUDE OIL/WATER INTERFACE  
IN STORAGE TANK USING NEUTRON TECHNIQUE



Mr.Theerapatt Manuwong

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

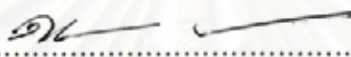
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

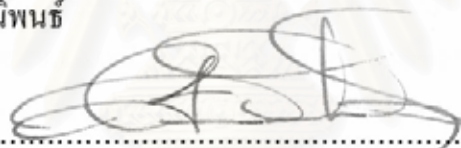
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บด้วยเทคนิคนิวตรอน
โดย	นายธีรพัทธ์ มานวงส์
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ เฉลิม ท่องอร่าม

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิเรก ลาวณิชย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สัญญา นิลสุวรรณ โฆษิต)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ เฉลิม ท่องอร่าม)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

ธีรพัทธ์ มานวงส์ : การพัฒนาระบบตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บด้วยเทคนิคนิวตรอน (DEVELOPMENT OF A DETECTION SYSTEM FOR CRUDE OIL/WATER INTERFACE IN STORAGE TANK USING NEUTRON TECHNIQUE)  
 อ. ที่ปรึกษา : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.เดโช ทองอร่าม, 73 หน้า.

การวิจัยนี้มุ่งที่จะพัฒนาระบบสำหรับตรวจหาตำแหน่งรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ โดยใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอน ซึ่งใช้ดักกัมมันตนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียมและแคลิฟอร์เนียม-252 เนื่องจากเคลื่อนย้ายได้สะดวก ได้ทดลองใช้หัววัดสองแบบคือ หัววัดแบบพรอพอร์ชันนัลชนิดบรรจุก๊าซ โบรอน ไตรฟลูออไรด์และแบบแก้วเรืองรังสีชนิด NE-905 ในการนับเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับ ผลการวิจัยพบว่าความเข้มของนิวตรอนกระเจิงกลับจากน้ำมันดิบมีค่าสูงกว่าจากน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าสำหรับน้ำมันดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้ เทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอนไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานในภาคสนาม เนื่องจากมีความไวต่ำ

จึงได้ทำการศึกษาเทคนิคอื่นเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกระเจิงกลับของนิวตรอน ได้แก่ การส่งผ่านนิวตรอน การกระเจิงกลับของรังสีแกมมา และการส่งผ่านรังสีแกมมา ผลการวิจัยในห้องปฏิบัติการพบว่าเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาเป็นเทคนิคที่สามารถนำไปใช้ในการตรวจหาค่าแห่งรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ดีที่สุด จึงได้ทำการทดสอบในภาคสนามกับถังเก็บน้ำมันดิบ ณ แหล่งผลิตน้ำมันดิบสังฆะจาย จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้ดักกัมมันตรังสีแกมมา โคบอลต์-60 และหัววัดรังสีแกมมาชนิด โซเดียมไอโอไดค์(ทลเลียม) เปรียบเทียบกับการใช้เครื่องวัดแบบนิวตรอนกระเจิงกลับ Hydrotector ที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งพบว่าเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถใช้ในการตรวจหาค่าแห่งรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
 สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
 ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต..... *ธีรพัทธ์ มานวงส์*  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *นเรศร์ จันทน์ขาว*  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *เดโช ทองอร่าม*

## 4670336021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: OIL/WATER INTERFACE / NEUTRON TECHNIQUE

THEERAPATT MANUWONG : DEVELOPMENT OF A DETECTION SYSTEM FOR CRUDE OIL/WATER INTERFACE IN STORAGE TANK USING NEUTRON TECHNIQUE . THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, THESIS COADVISOR : MR.DECHO THONG-ARAM, 73 pp.

This research was aimed to develop a system for detection of crude oil/water interface in storage tank using neutron backscattering technique. An Am-241/Be neutron and Cf-252 were used as the neutron sources due to their portability. Two detectors i.e. a boron trifluoride (BF<sub>3</sub>) proportional counter and an NE-905 glass scintillator detector were used to count backscattered thermal neutrons. The experiments showed that the intensity of backscattered neutrons from crude oil was slightly higher than from water. It could be concluded that, for the crude oil under this investigation, the technique was not applicable for field use due to its low sensitivity.

Other techniques were therefore investigated in comparison to the neutron backscattering i.e. neutron transmission, gamma-ray backscattering and gamma-ray transmission. It was found that, in laboratory, the gamma-ray transmission technique was most practical for detection of crude oil/ water interface. The technique was finally tested at a crude oil storage tank of Sangkajai Oil Field in Supun Buri Province using a Co-60 source and a NaI(Tl) detector in comparison to using a commercially available Hydrotector neutron backscatter probe. It was found that the interface could be satisfactorily detected using the gamma-ray transmission technique.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Nuclear Technology

Field of study Nuclear Technology

Academic year 2006

Student's signature.....*Theerapat Manuwong*

Advisor's signature.....*Nares Chankow*

Co-advisor's signature.....*Decho Thong-Aram*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความกรุณาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้คำปรึกษาและดูแลข้าพเจ้าตลอดมา อาจารย์เคโซ ทองอร่าม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่คอยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา อาจารย์จเด็จ เย็นใจที่ให้คำแนะนำและช่วยทำการวิจัยในภาคสนามและขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชานิเวศลิษฐ์ทุกท่านซึ่งได้กรุณาให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัท ปตท.สผ. จำกัด มหาชน โครงการสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อตัวอย่างน่ายกย่องและให้ความอนุเคราะห์เข้าทำงานวิจัยภาคสนาม ณ หลุมเจาะของแหล่งผลิตน้ำมันดิบสังขมา

ขอขอบคุณคุณศิริพล เชื้ออินตะ คุณชนรรจน์ แสงจันทร์และเจ้าหน้าที่จากสถาบันเทคโนโลยีนิเวศลิษฐ์แห่งชาติที่ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำการวิจัย ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ จากสำนักงานปรมานูเพื่อสันติที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ จากภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี โดยเฉพาะคุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลีที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่กรุณาให้การสนับสนุนทุกด้านและเป็นกำลังใจเสมอจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎี.....	4
2.1 คุณสมบัตินิเวตรอน.....	4
2.2 ต้นกำเนิดนิเวตรอน.....	4
2.3 อันตรกิริยาของนิเวตรอน.....	7
2.3.1 การดูดกลืนนิเวตรอน.....	7
2.3.2 การกระเจิงของนิเวตรอน.....	7
2.4 การลดพลังงานของนิเวตรอน.....	10
2.5 หัววัดนิเวตรอน.....	13
2.5.1 หัววัดรังสีนิเวตรอนชนิดบรรจุก๊าซ.....	13
2.5.2 หัววัดรังสีนิเวตรอนชนิดซินทิลเลชัน.....	14
2.6 คุณสมบัติของรังสีแกมมา.....	16
2.7 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา.....	16
2.8 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา.....	17
2.8.1 โฟโตอิเล็กทริก.....	17
2.8.2 การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน.....	18

บทที่	หน้า
2.8.3 การเกิดผลผลิตคู่.....	18
2.9 การทะลุผ่านวัตถุของรังสีแกมมา.....	19
2.10 หัววัดรังสีแกมมา.....	20
2.10.1 หัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน.....	20
2.10.2 หัววัดรังสีแกมมาชนิดสารกึ่งตัวนำ.....	20
2.11 การนับรังสีและการจัดการทางสถิติ.....	20
3 วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินการทดลอง.....	23
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	23
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	24
3.2.1 การศึกษาจากการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอนโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียมและแคลิฟอร์เนียม-252.....	24
3.2.2 การใช้เครื่อง HYDROTECTER ของบริษัทBoart longyear ในการวัดเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับ.....	26
3.2.3 การศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน.....	27
3.2.4 การศึกษาการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา.....	29
3.2.5 การศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	30
3.2.6 การทดสอบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ.....	31
3.2.7 การทดสอบระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนาม.....	32
3.2.8 การออกแบบและสร้างระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ.....	34
4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 ผลการศึกษาการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอนโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียมและแคลิฟอร์เนียม-252.....	36
4.2 ผลการใช้เครื่อง HYDROTECTER ของบริษัทBoart longyear ในการวัดเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับ.....	38
4.3 ผลการศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน.....	40
4.4 ผลการศึกษาการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา.....	41



บทที่	หน้า
4.5 ผลการศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	43
4.6 ผลการทดสอบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ.....	45
4.7 ผลการทดสอบระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนาม.....	48
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	51
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก .....	55
ภาคผนวก ก.....	56
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ญ

บทที่	หน้า
2.1 การจำแนกชนิดของนิวตรอนตามระดับพลังงาน.....	4
2.2 พารามิเตอร์ในการชนระหว่างนิวตรอนกับนิวเคลียสบางชนิด.....	13
2.3 คุณสมบัติของหัววัดรังสี NE-905 .....	16
4.1 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน อเมริกัน-241/เบริลเลียม.....	36
4.2 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน แคลิฟอร์เนีย-252.....	36
4.3 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนโดยเครื่อง HYDROTECTOR.....	38
4.4 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการส่งผ่าน.....	40
4.5 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการกระเจิงกลับโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) .....	41
4.6 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการกระเจิงกลับโดยหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905 .....	42
4.7 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการส่งผ่านโดยหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905.....	43
4.8 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการส่งผ่านโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม).....	44
4.9 ผลการนับรังสีในการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	45
4.10 ผลการนับรังสีในการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ เทคนิคการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอน.....	46
4.11 ผลการนับรังสีในการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยใช้เทคนิค การส่งผ่านรังสีแกมมา .....	48
4.12 ผลการนับรังสีในการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยใช้เครื่อง HYDROTECTOR.....	49

## สารบัญภาพ

ฉ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพลักษณะของต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241และแคลิฟอร์เนียม-252 .....	5
2.2 แผนภาพสเปกตรัมของต้นกำเนิดอเมริกัน-241และแคลิฟอร์เนียม-252 .....	6
2.3 แผนภาพสเปกตรัมนิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดต่างๆ .....	6
2.4 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาของนิวตรอนในแบบต่างๆ.....	8
2.5 แผนภาพการชนแบบยืดหยุ่นของนิวตรอนและ เวกเตอร์ของโมเมนตัม.. .....	10
2.6 แผนภาพโครงสร้างพื้นฐานของหัววัดนิวตรอนชนิดบรรจุก๊าซ.....	14
2.7 แผนภาพโครงสร้างพื้นฐานของหัววัดนิวตรอนชนิดซินทิลเลชัน.....	15
2.8 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาฟิโตอิเล็กทริก.....	18
2.9 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมพัตตัน.....	18
2.10 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาการเกิดผลผลิตคู่.....	19
2.11 แผนภาพการลดความเข้มของรังสีแกมมาเมื่อผ่านวัตถุ.....	19
2.12 แผนภาพการแจกแจงข้อมูลทางสถิติแบบเกาส์เซียนหรือแบบปกติ.....	21
3.1 แผนภาพและภาพการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดนิวตรอนในการวัด เทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับ(ลักษณะที่ 1 ไม่ใช้วัสดุบ่งคับลำนิวตรอน).....	25
3.2 แผนภาพการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดนิวตรอนในการวัด เทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับ(ลักษณะที่ 2 ใช้วัสดุบ่งคับลำนิวตรอน).....	25
3.3 ภาพเครื่อง HYDROTECTER ของบริษัท Boart longyear.....	26
3.4 แผนภาพการนับเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับด้วยเครื่อง HYDROTECTER .....	27
3.5 แผนภาพและภาพการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดนิวตรอนสำหรับเทคนิคการ ส่งผ่านนิวตรอน(ลักษณะที่ 1 ไม่มีวัสดุบ่งคับลำนิวตรอน).....	28
3.6 แผนภาพการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดนิวตรอนสำหรับเทคนิคการ ส่งผ่านนิวตรอน(ลักษณะที่ 2 เมื่อมีวัสดุบ่งคับลำนิวตรอน).....	28
3.7 แผนภาพและภาพการจัดวางต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีแกมมาในการวัดรังสี แกมมาจากการกระเจิงกลับ.....	29
3.8 แผนภาพและภาพการจัดวางต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีแกมมาสำหรับเทคนิค การการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	30
3.9 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการโดยใช้ เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	31

รูปที่	หน้า
3.10 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของนิวตรอน.....	32
3.11 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	33
3.12 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยเครื่อง HYDROTECTOR.....	33
3.13 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำที่ได้พัฒนาขึ้น.....	35
4.1 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการหาช่วงรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	47
4.2 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการหาช่วงรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยเทคนิคการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอน.....	48
4.3 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการหาช่วงรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนาม โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา.....	49
4.4 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการหาช่วงรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนาม โดยใช้เครื่องHYDROTECTOR.....	51

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปิโตรเลียมมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย เนื่องจากพลังงานจากปิโตรเลียมเป็นรูปแบบพลังงานที่ช่วยการเคลื่อนที่ของมนุษย์ได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเลียมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในการพัฒนาที่ผ่านมาการนำเทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมปิโตรเลียมนับว่ายังมีน้อยอยู่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเอาเทคโนโลยีนิวเคลียร์มาพัฒนาระบบการตรวจหาระดับรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ เนื่องจากน้ำมันดิบที่ได้จากแหล่งผลิตไม่ว่าจะเป็นทางทะเลหรือบนบกพบว่าจะมีน้ำปนมากับน้ำมันดิบด้วย ซึ่งทำการกลั่นลำดับส่วนไม่ได้ต้องแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบก่อน จึงต้องนำเข้ถังพักหรือถังเก็บน้ำมันดิบ เพื่อรอให้น้ำมันดิบกับน้ำแยกตัวกัน โดยน้ำมันดิบจะลอยตัวอยู่ด้านบน น้ำจะตกลงด้านล่างและเมื่อน้ำมันดิบกับน้ำแยกตัวกันแล้วจึงทำการถ่ายน้ำที่อยู่ด้านล่างออกก่อนการถ่ายน้ำมันดิบเข้าสู่เตาเผา เพื่อทำการกลั่นลำดับส่วนต่อไป ดังนั้นจำเป็นต้องทราบรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำเพราะความสูงของรอยต่อนั้นทำให้ทราบความสูงและคำนวณปริมาตรของน้ำที่จะทำการถ่ายออกได้ วิธีการตรวจหารอยต่อแบบเดิมใช้เทคนิค Dip tank คือการวัดโดยใช้แท่งไม้ชุบสารเคมีจุ่มลงในถัง สารเคมีจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำในถังเก็บ แล้วนำมาตรวจดูช่วงการเกิดปฏิกิริยาซึ่งสัมพันธ์กับความสูงของน้ำ ซึ่งวิธีนี้ผู้ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงจากการปฏิบัติงานในพื้นที่อันตราย จากการสัมผัสสารเคมี ทั้งผลที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำพอสมควรซึ่งอาจจะเกิดจากความผิดพลาดทางการวัดของผู้ปฏิบัติงานได้ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์นี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ ซึ่งโดยทั่วไปใช้เทคนิคการวัดการกระเจิงกลับของนิวตรอน ผู้วิจัยจึงเลือกทำการวิจัยการใช้เทคนิคการวัดการกระเจิงกลับของนิวตรอนในการตรวจหารอยต่อโดยอาศัยหลักการที่ว่านิวตรอนเร็วที่ถูกส่งเข้าไปในน้ำมันดิบและน้ำ เมื่อชนกับอะตอมไฮโดรเจนที่เป็นธาตุองค์ประกอบในน้ำมันดิบและน้ำ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่ต่างกันแล้วจะลดพลังงานลงเกิดเป็นเทอร์มัลนิวตรอนในปริมาณที่ต่างกัน และเมื่อใช้หัววัดเทอร์มัลนิวตรอนเช่น หัววัดเทอร์มัลนิวตรอนที่บรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์หรือหัววัดแบบแก้วเรืองรังสีชนิด NE-905 นับปริมาณเทอร์มัลนิวตรอนที่เกิดขึ้นผลการนับปริมาณเทอร์มัลนิวตรอนที่ต่างกันจะทำให้ตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้

นอกจากนี้ในการวิจัยยังได้ทำการวิจัยหารอยต่อด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็ว การกระเจิงกลับของรังสีแกมมาและการส่งผ่านรังสีแกมมา เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้เทคนิคการวัดการกระเจิงกลับของนิวตรอน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างระบบตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ ณ หลุมเจาะ โดยใช้เทคนิคนิวตรอน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบและสร้างระบบตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ ณ หลุมเจาะ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแคลิฟอร์เนียม-252 และหัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์หรือหัววัดรังสีแบบแก้วเรืองรังสีชนิด NE-905

## 1.4 ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี ข้อมูลและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ศึกษาการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอนในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ
- 1.4.3 ศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็ว การกระเจิงกลับของรังสีแกมมาและการส่งผ่านรังสีแกมมาในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ
- 1.4.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวิจัย และประยุกต์ใช้เทคนิคที่เหมาะสมในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ
- 1.4.5 ทดสอบระบบตรวจหารอยต่อในห้องปฏิบัติการ
- 1.4.6 ทดสอบระบบตรวจหารอยต่อในภาคสนาม
- 1.4.7 ออกแบบและสร้างระบบตรวจหารอยต่อโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถัง โดยใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ที่สะดวกและรวดเร็ว

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 ปี 2538 พรรรัตน์ ศรีสวัสดิ์ [1] ทำการวิจัยเรื่อง การหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำโดยวิธีส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอน. งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอนในการหาความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก ในช่วงร้อยละ 0-10 โดยโมล โดยใช้หัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์บริเวณตรงกลางของภาชนะบรรจุตัวอย่างซึ่งภาชนะนี้จะจุ่มอยู่ในถังที่มีต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน พลูโตเนียม-238/เบริลเลียม ผลที่ได้คือ เมื่อความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักเพิ่มขึ้น จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจะลดลง มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

2 ปี 2545 ศราวุธ ใจเย็น[2] ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบระบบการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอน โดยใช้แคลิฟอร์เนียม-252 งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการออกแบบและสร้างระบบถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการตรวจสอบโดยไม่ทำลายผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางชนิด ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดแคลิฟอร์เนียม-252 จุ่มในถังโพสิเอทีลีนรูปทรงกระบอกและนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่มีค่าอัตราส่วน L/D เท่ากับ 20 และให้อัตราส่วนแคดเมียมเท่ากับ 17 ซึ่งระบบนี้ให้ความเข้มข้นนิวตรอนที่ตำแหน่งชิ้นงาน  $6.82 \times 10^2$  นิวตรอน/ตร.ซม.-วินาที และเวลาในการถ่ายภาพด้วยฟิล์ม Iiford HP 5 Plus, Iiford Delta 3200 และกระดาษ Fuji FP-3000B ที่เหมาะสมด้วยระบบนี้เพื่อให้ภาพที่มีความคมชัดมากกว่า 6, 2 และ 1 ชั่วโมงตามลำดับ และการทำให้อุณหภูมิของน้ำรอบๆ ต้นกำเนิดนิวตรอนและนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ ลดลงจาก 23 องศาเซลเซียสเป็น 5 องศาเซลเซียส ภาพที่ได้มีความเปรียบต่างเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 26

3 ปี 2539 ประวิทย์ เจริญกิจสุพัฒน์ [3] ทำการวิจัยเรื่อง การวัดความชื้นของแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนโดยใช้หัววัดแบบแก้วเรืองรังสี งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการวัดความชื้นโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนเร็ว ด้วยหลักการที่ว่าไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบของน้ำในธาตุที่มีผลต่อการลดพลังงานของนิวตรอนมากที่สุด ดังนั้นเมื่อส่งผ่านนิวตรอนเร็วเข้าไปในตัวอย่าง เมื่อชนกับไฮโดรเจนแล้ววัดนิวตรอนเร็วที่ทะลุผ่านออกมาโดยการใช้นิวตรอนเร็วหัววัดนิวตรอนแบบแก้วเรืองรังสีชนิด NE-905 ที่มีการออกแบบระบบวัดส่วนหน้าใหม่เพื่อเปลี่ยนนิวตรอนเร็วให้เป็นนิวตรอนช้าก่อนเข้าสู่หัววัด

4 ปี 2530 เฉลิมเดช เฉลิมลาภอักษร [4] ทำการวิจัยเรื่อง การวัดปริมาณความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดโดยเทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอน ซึ่งเกี่ยวกับการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์การวัดปริมาณความชื้นในอิฐมอญและดินลูกรัง โดยใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอนซึ่งอาศัยหลักการลดพลังงานลงของนิวตรอนเร็วเมื่อเข้าชนนิวเคลียสของไฮโดรเจน ที่เป็นส่วนประกอบของน้ำ งานวิจัยได้ออกแบบและสร้างโปรบวัดความชื้น ที่ประกอบด้วยต้นกำเนิดนิวตรอนนิวตรอนเร็วอเมริกัน-เบริลเลียมพร้อมหัววัดบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์และส่วนกำบังรังสีเวลาเคลื่อนย้ายเพื่อใช้ในการวัดภาคสนาม

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 คุณสมบัติของนิวตรอน

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่เป็นกลางไม่มีประจุไฟฟ้า มีมวล  $1.67492 \times 10^{-24}$  กรัม เป็นอนุภาคที่ไม่เสถียรจะสลายตัวให้อนุภาคโปรตอน อิเล็กตรอนและแอนตินิวตริโน ค่าครึ่งชีวิตของนิวตรอนอิสระมีค่าประมาณ 12 นาที นิวตรอนไม่สามารถเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้นได้ เนื่องจากเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุแต่สามารถเลือกช่วงพลังงานในการใช้งานได้ด้วยการหน่วงนิวตรอน ซึ่งเป็นการลดพลังงานของนิวตรอนจากพลังงานดั้งเดิม โดยการให้นิวตรอนชนกับอะตอมที่มีสัมประสิทธิ์การกระเจิงค่อนิวตรอนสูง ซึ่งนิวตรอนสามารถแบ่งตามระดับพลังงานได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของนิวตรอนตามระดับพลังงาน[1]

ชนิดของนิวตรอน	ระดับพลังงาน
นิวตรอนช้า(Slow neutron)	0 eV - $10^3$ eV
เทอร์มัลนิวตรอน(Thermal neutron)	0.01eV - 0.3 eV
นิวตรอนเร็ว(Fast neutron)	$10^3$ eV – 20 MeV

#### 2.2 ต้นกำเนิดนิวตรอน

2.2.1 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ส่วนใหญ่ผลิตนิวตรอนจากการแตกตัวของยูเรเนียม-235ที่ทำอันตรกิริยากับเทอร์มัลนิวตรอน ซึ่งนิวตรอนจากปฏิกิริยาแตกตัวมีพลังงานเฉลี่ยประมาณ 2 MeV แต่เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบเทอร์มัล(Thermal reactor) มีสารหน่วงนิวตรอนอยู่ (เช่น น้ำ น้ำชนิดหนัก หรือกราไฟต์) พลังงานนิวตรอนส่วนใหญ่จึงอยู่ในช่วงเทอร์มัลนิวตรอน

2.2.2 เครื่องเร่งอนุภาค ผลิตนิวตรอนจากการเร่งอนุภาคหรือนิวเคลียสชนิดหนึ่งให้มีพลังงานสูง แล้วไปชนกับนิวเคลียสของอีกธาตุหนึ่ง (เป้า) แล้วให้นิวตรอนพลังงานเดียว เช่น จากปฏิกิริยา  ${}^3\text{H}(d,n){}_2\text{He}^4$  ให้นิวตรอนพลังงาน 14 MeV



### 2.2.3 ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป

2.2.3.1 ประเภท ( $\alpha, n$ ) เป็นต้นกำเนิดที่มีไอโซโทปรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคแอลฟา เช่นอмериเซียม-241 พลูโทเนียม-238 ผสมกับธาตุที่นิวตรอนตัวสุดท้ายในนิวเคลียสมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่ำ เช่น เบริลเลียม โบรอน ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบ( $\alpha, n$ ) มีพลังงานเฉลี่ยประมาณ 4.5 MeV

2.2.3.2 ประเภท ( $\gamma, n$ ) เป็นไอโซโทปรังสีที่สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงานสูงผสมกับเบริลเลียม เช่น พลวง-124

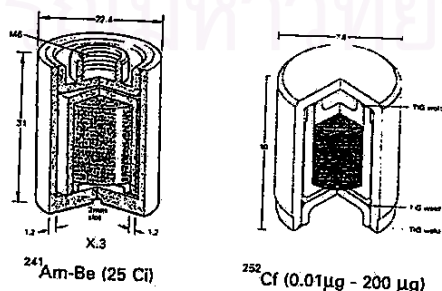
2.2.3.3 ประเภทแตกตัวได้เอง (Self fission) เป็นธาตุนักที่สามารถแตกตัวแบ่งนิวเคลียสเป็น 2 ส่วนได้เอง พร้อมกับปลดปล่อยนิวตรอนออกมา 2-3 ตัวต่อการแตกตัว 1 ครั้ง เช่น แคลิฟอร์เนียม-252 ซึ่งอัตราการปลดปล่อยนิวตรอนประมาณ  $2.3 \times 10^6$  นิวตรอนต่อวินาทีต่อไมโครกรัมหรือประมาณ  $4.3 \times 10^9$  นิวตรอนต่อวินาทีต่อ 1 คูรีมีพลังงานเฉลี่ยประมาณ 2 MeV โดยนิวตรอนมีพลังงานเฉลี่ย 4.5 MeV

ต้นกำเนิดนิวตรอนอмериเซียม-241/เบริลเลียม ( $^{241}\text{Am/Be}$ ) มีคุณสมบัติดังนี้

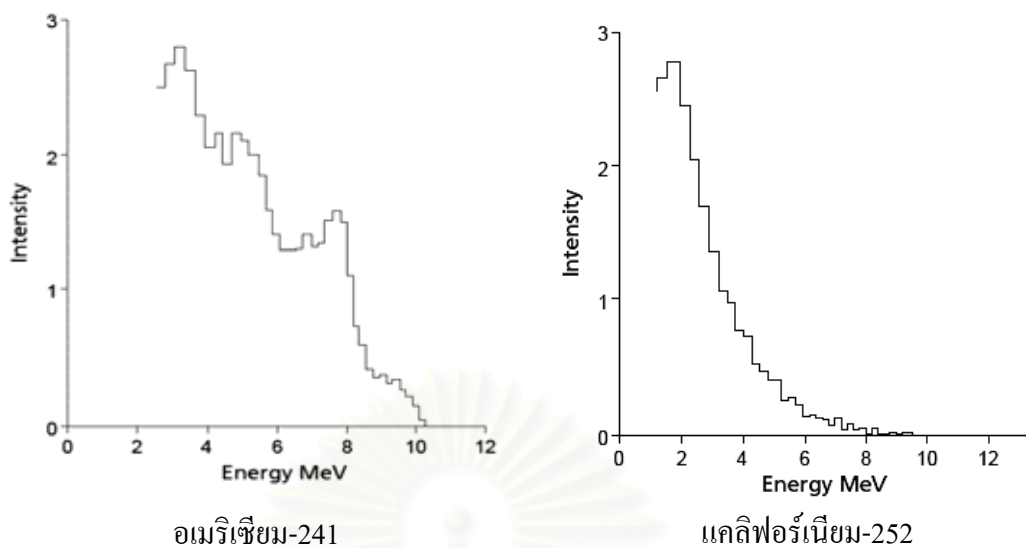
อмериเซียม-241 มีค่าครึ่งชีวิต 458 ปี เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนจากปฏิกิริยา ( $\alpha, n$ ) โดยอмериเซียม-241 เองจะสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาที่มีพลังงานประมาณ 5.49 MeV เข้าผสมกับเบริลเลียม-9 ที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวตรอนต่ำเพียง 1.67 MeV ซึ่งจะให้อัตราการปลดปล่อยนิวตรอนประมาณ  $2.2 \times 10^6$  นิวตรอนต่อวินาทีต่อ 1 คูรีของอмериเซียม-241

ต้นกำเนิดนิวตรอนแคลิฟอร์เนียม-252 ( $^{252}\text{Cf}$ ) มีคุณสมบัติดังนี้

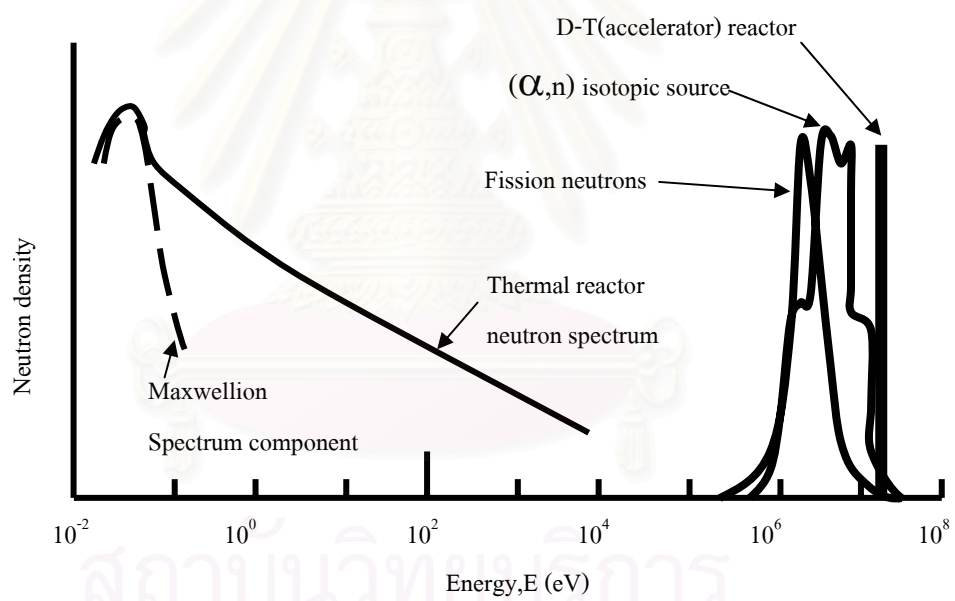
แคลิฟอร์เนียม-252 มีค่าครึ่งชีวิต 2.65 ปี จะมีการสลายตัวด้วยการแตกตัวเองประมาณร้อยละ 3.2 การแตกตัวแต่ละครั้งจะปล่อยนิวตรอนออกมาเฉลี่ย 3.76 ตัว อัตราการปลดปล่อยนิวตรอนจากแคลิฟอร์เนียม-252 ประมาณ  $4.3 \times 10^9$  นิวตรอนต่อวินาทีต่อคูรีของแคลิฟอร์เนียม-252 หรือประมาณ  $2.34 \times 10^{12}$  นิวตรอนต่อวินาทีต่อแคลิฟอร์เนียม-252 จำนวน 1 กรัม



รูปที่ 2.1 แผนภาพลักษณะต้นกำเนิดนิวตรอนอмериเซียม-241และแคลิฟอร์เนียม-252 [2]



รูปที่ 2.2 แผนภาพสเปกตรัมของต้นกำเนิดอเมริกาเซียม-241 และแคลิฟอร์เนียม-252



รูปที่ 2.3 แผนภาพสเปกตรัมนิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดต่างๆ

## 2.3 อันตรกิริยาของนิวตรอน

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุไฟฟ้าในตัวหรือเป็นกลางทางไฟฟ้า อันตรกิริยาจะเกิดขึ้นกับนิวเคลียสโดยตรงเพราะสามารถวิ่งผ่านอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียสได้ นิวตรอนจะทำอันตรกิริยาถ่ายโอนพลังงานให้กับนิวเคลียสของอะตอม นิวตรอนจะเกิดอันตรกิริยาได้ดังนี้

2.3.1 การดูดกลืนนิวตรอน (absorption) เป็นการที่นิวตรอนเคลื่อนที่เข้าชนเป้าหมายนิวเคลียสและรวมตัวอยู่ในนิวเคลียส เกิดเป็นนิวเคลียสรวม และสลายตัวให้อนุภาคอื่นๆ โดยมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่างๆ ดังนี้

2.3.1.1 การจับนิวตรอน หรือปฏิกิริยาดูดกลืนนิวตรอน เมื่อนิวตรอนชนกับนิวเคลียสจะถูกจับไว้ทำให้นิวเคลียสมีเลขมวลเพิ่มขึ้น 1 การรวมตัวของนิวตรอนกับนิวเคลียสจะทำให้ปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมาทันที ปฏิกิริยาเป็นแบบปลดปล่อยพลังงาน ใช้สัญลักษณ์  $(n,\gamma)$

2.3.1.2 ปฏิกิริยาฟิชชันหรือการแตกตัว เมื่อนิวตรอนไปรวมกับนิวเคลียสของธาตุหนักบางชนิด เกิดเป็นนิวเคลียสรวมจากนั้นจะแบ่งตัวเป็น 2 ส่วนแตกออกมาได้นิวเคลียสที่มีเลขมวลประมาณครึ่งหนึ่งของนิวเคลียสเดิม พร้อมกับมีอนุภาคนิวตรอน 2-3 ตัวออกมาด้วย ธาตุหนักที่เกิดปฏิกิริยาฟิชชันกับนิวตรอนได้แก่ ยูเรเนียม-235 พลูโตเนียม-239 สัญลักษณ์  $(n,f)$

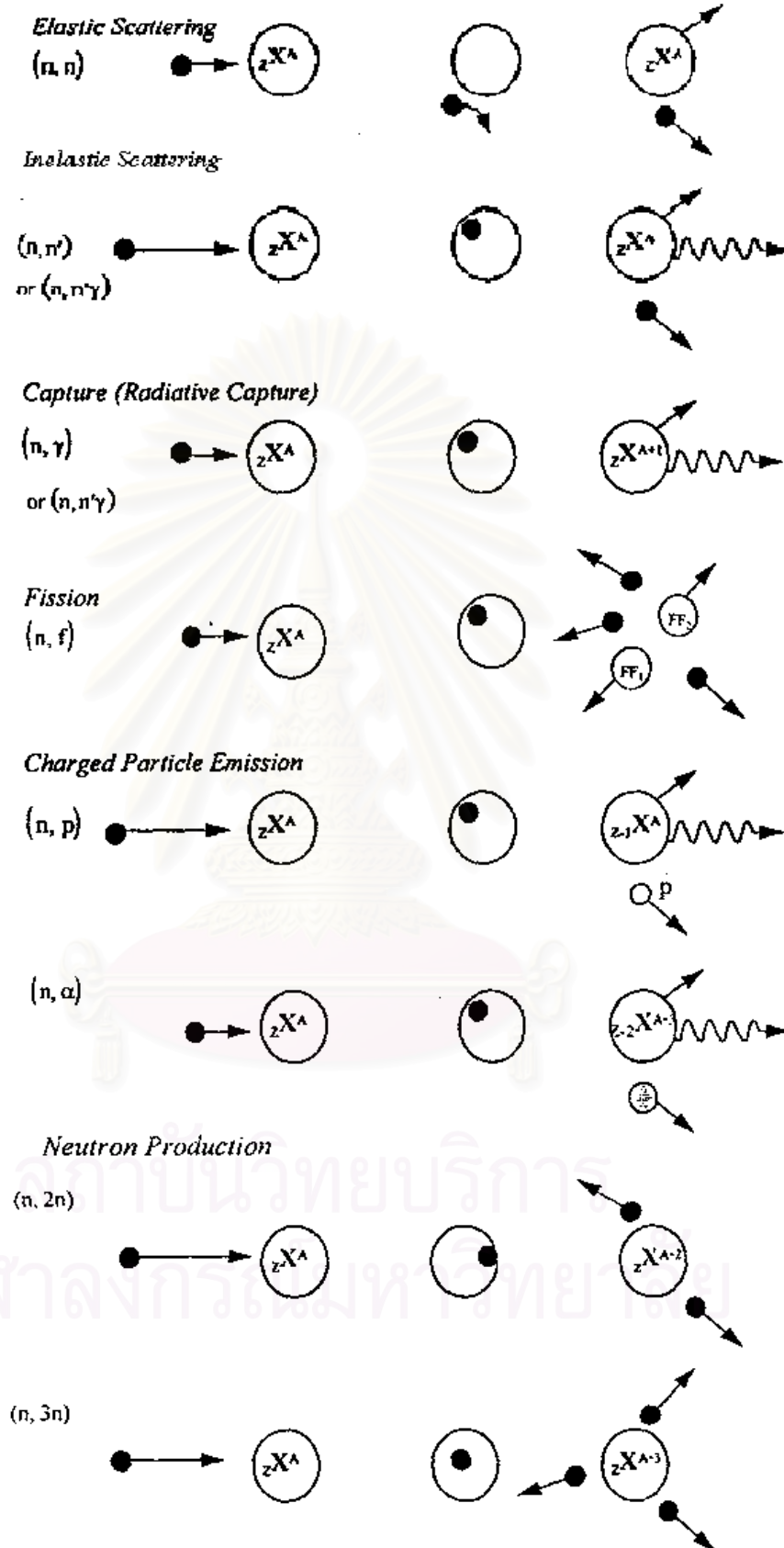
2.3.1.3 ปฏิกิริยาปลดปล่อยอนุภาคมีประจุ เมื่อนิวตรอนชนกับนิวเคลียสของธาตุบางชนิด ภายหลังการเกิดนิวเคลียสรวมแล้วจะปลดปล่อยอนุภาคที่มีประจุออกมา เช่น แอลฟา โปรตอน นิวตรอน

2.3.1.4 ปฏิกิริยาผลิตนิวตรอน เกิดกับนิวตรอนพลังงานสูงและเป็นชนิดดูดกลืนพลังงาน ผลของปฏิกิริยาได้นิวตรอนออกมามากกว่า 1 ตัว เช่น ปฏิกิริยา  $(n,2n)$  ปฏิกิริยา  $(n,3n)$  ซึ่งปฏิกิริยา  $(n,2n)$  เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูชนิดที่ใช้แร่ชนิดหนัก

2.3.2 การกระเจิงของนิวตรอน (scattering) เป็นการที่นิวตรอนเคลื่อนที่เข้าชนเป้าหมายนิวเคลียสและถ่ายโอนพลังงานให้นิวเคลียส โดยการถ่ายเทพลังงานขึ้นกับการชนดังนี้

2.3.2.1 การชนแบบยืดหยุ่น การชนแบบนี้เป็นการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมเท่านั้น ระดับพลังงานของนิวเคลียสที่ถูกชนยังคงอยู่ในสภาวะปกติ ส่วนนิวตรอนจะกระเจิงออกมาโดยมีทิศทางและความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป พลังงานจลน์รวมของนิวตรอนและนิวเคลียสก่อนและหลังการชนมีค่าคงเดิม ปฏิกิริยานี้ใช้สัญลักษณ์  $(n,n)$

2.3.2.2 การชนแบบไม่ยืดหยุ่น การชนแบบนี้จะมีการรวมตัวกันของนิวตรอนและนิวเคลียสเป็นนิวเคลียสรวม แล้วได้นิวตรอนตัวใหม่และนิวเคลียสอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น เมื่อนิวเคลียสกลับเข้าสู่สภาวะปกติก็จะปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา ซึ่งพลังงานจลน์รวมมีค่าต่างจากเดิม คือพลังงานจลน์รวมภายหลังการชนมีค่าลดลงเนื่องจากสูญเสียพลังงานจลน์หลังจากปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา การชนแบบนี้นิวตรอนจะต้องมีพลังงานมากพอที่จะทำให้นิวเคลียสอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น ปฏิกิริยานี้ใช้สัญลักษณ์  $(n,n')$



รูปที่ 2.4 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาของนิวตรอนในแบบต่างๆ[3]

อันตรกิริยาที่กล่าวมาข้างต้นมีโอกาสเกิดในตัวกลางเมื่อนิวตรอนเคลื่อนผ่าน แต่จะเกิดอันตรกิริยาแบบใดมากนั้นขึ้นกับค่าโอกาสของการทำอันตรกิริยาหรือค่าภาคตัดขวางของตัวกลางต่อพลังงานของนิวตรอนนั้น ซึ่งขนาดของพื้นที่ภาคตัดขวาง 1 บาร์น =  $10^{-24}$  cm<sup>2</sup> โดยภาคตัดขวางของอันตรกิริยาต่างๆ ใช้สัญลักษณ์  $\sigma$  เรียกว่า “ภาคตัดขวางจุลภาค” ได้แก่

$\sigma_s$  = ภาคตัดขวางจากการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic)

$\sigma_I$  = ภาคตัดขวางจากการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic)

$\sigma_a$  = ภาคตัดขวางจากการดูดกลืนนิวตรอน (absorption)

$\sigma_r$  = ภาคตัดขวางจากการจับนิวตรอน (capture)

$\sigma_f$  = ภาคตัดขวางจากปฏิกิริยาแตกตัว (fission)

โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาในตัวกลางโดยรวมคิดจากผลรวมของภาคตัดขวางจุลภาคต่างๆ ดังนี้

$$\sigma_t = \sigma_s + \sigma_I + \sigma_a + \sigma_r + \dots$$

เมื่อพิจารณาการลดทอนพลังงานของนิวตรอนโดยรวมต่อระยะทางที่นิวตรอนเคลื่อนในตัวกลาง ค่าภาคตัดขวางจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นอะตอมของตัวกลางเรียกว่า “ภาคตัดขวางมหัพภาค” ใช้สัญลักษณ์  $\Sigma$

$$\Sigma = N\sigma_t$$

เมื่อ N = ความหนาแน่นของอะตอมของตัวกลางนิวตรอนเข้าชนไฮโดรเจน

เมื่อนิวตรอนที่มีความเข้ม (I) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด (A) โอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยานั้นจะขึ้นกับความหนา (X) ค่าภาคตัดขวางจุลภาค ( $\sigma_t$ ) และความหนาแน่นของตัวกลาง (N) ดังนั้นจำนวนอันตรกิริยาที่จะเกิดขึ้นได้จาก

$$\text{จำนวนอันตรกิริยาต่อวินาที} = IN\sigma_t AX$$

หรือ

$$\text{จำนวนอันตรกิริยาต่อปริมาตรต่อวินาที (F)} = I\Sigma$$

โดยที่

AX = ปริมาตรของตัวกลาง

I = จำนวนนิวตรอนต่อตร.ซม.ต่อวินาที

2.4 การลดพลังงานของนิวตรอน

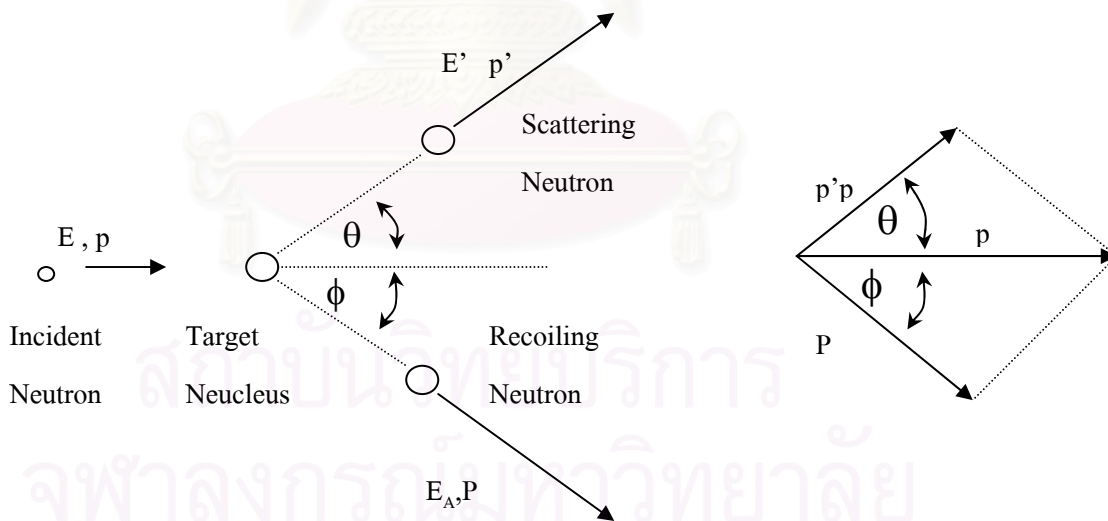
การลดพลังงานของนิวตรอนทำได้โดยให้นิวตรอนทำอันตรกิริยาหรือชนกับตัวกลางที่มีประกอบด้วยธาตุที่มีเลขมวลน้อยๆ และมีค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนน้อยด้วย ตัวกลางที่ลดพลังงานที่ดีที่สุดได้ เช่น น้ำ น้ำมวลหนัก คาร์บอน พาราฟิน โพลีเอทิลีน เป็นต้น

น้ำประกอบด้วยไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีเลขมวลน้อยที่สุดคือเท่ากับ 1 เป็นตัวกลางที่สำคัญในการลดพลังงานของนิวตรอน เมื่อนิวตรอนวิ่งไปชนกับนิวเคลียสของไฮโดรเจน นิวตรอนจะสูญเสียพลังงานให้กับนิวเคลียสของไฮโดรเจนที่ถูกชนเป็นจำนวนมาก และบางครั้งอาจจะสูญเสียพลังงานที่มีเกือบทั้งหมดให้ไฮโดรเจน ถ้าเกิดการชนอย่างจัง

และจากอันตรกิริยาการกระเจิงของนิวตรอนในการชนแบบยืดหยุ่น เมื่อนิวตรอนชนกับนิวเคลียสที่หยุดนิ่ง นิวตรอนจะกระเจิงออกมา พลังงานจลน์ของนิวตรอนจะลดลง ส่วนนิวเคลียสจะกระเจิงออกไป พลังงานจลน์ก่อนและหลังการชนสามารถคำนวณได้ตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและโมเมนตัมดังนี้

ถ้าให้  $E, p$  และ  $E', p'$  เป็นพลังงานจลน์ และ โมเมนตัมของนิวตรอนก่อนและหลังการชนตามลำดับ

และ  $E_A, p$  เป็นพลังงานจลน์และ โมเมนตัมของนิวเคลียสที่กระเจิงไป หลังการชน  $\theta$  และ  $\phi$  เป็นมุมที่นิวตรอนและนิวเคลียสกระเจิงออกไปจากแนวเดิมดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพการชนแบบยืดหยุ่นของนิวตรอนและเวกเตอร์ของ โมเมนตัม[4]

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานได้

$$E = E' + E_A \quad \dots\dots(2.1)$$

และจากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมได้

$$p = p' + P \quad \dots\dots(2.2)$$

จากรูปที่ 2.5 จะได้

$$P^2 = p^2 + (p')^2 - 2pp' \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

เพราะว่า

$$P = MV = M(2E_A/M)^{1/2}$$

ดังนั้น

$$P^2 = 2ME_A$$

ทำนองเดียวกัน  $p^2 = 2mE$  และ  $(p')^2 = 2mE'$

เมื่อ  $m, M$  เป็นมวลของนิวตรอนและนิวเคลียสตามลำดับ

แทนค่า  $p, p', P$  ในสมการ (2.3) จะได้

$$ME_A = mE + mE' - 2m(EE')^{1/2} \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$M/m(E_A) = E + E' - 2(EE')^{1/2} \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

เนื่องจาก  $M/m=A$  (เลขมวลของนิวเคลียส) ดังนั้น

$$A(E_A) = E + E' - 2(EE')^{1/2} \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

แทนค่า  $E_A = E - E'$  ลงในสมการ (2.6) จะได้

$$(A+1)E' - 2(EE')^{1/2} \cos \theta - (A-1)E = 0$$

ดังนั้น

$$E' = E [ \cos \theta + (A^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} ]^2 / (A+1)^2 \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

พิจารณาสมการที่ (2.7) ถ้า  $\theta = 0$  จะได้  $E=E'$  หมายถึงไม่มีการสูญเสียพลังงานของนิวตรอนให้แก่ นิวเคลียส ถ้า  $\theta = \pi$  หรือ  $180^\circ$  ค่าต่ำสุด ( $E'_{\min}$ )

เมื่อ  $\theta = \pi$  ;  $(E'_{\min}) = [(A-1)/(A+1)]^2 E = \alpha E \quad \dots\dots\dots(2.8)$

เมื่อ  $\alpha = [(A-1)/(A+1)]^2 \quad \dots\dots\dots(2.9)$

ค่า  $\alpha$  เรียกว่า พารามิเตอร์ของการชน

การชนของนิวตรอนกับนิวเคลียสไฮโดรเจนนั้น เนื่องจากนิวตรอน และนิวเคลียสไฮโดรเจนมีมวลใกล้เคียงกันการกระเจิงของนิวตรอนหลังการชนจะกระเจิงไปด้วยมุมไม่เกิน  $\pi/2$  ดังนั้น  $(E'_{\min})$  ในกรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ  $\theta = \pi/2$  ;  $(E'_{\min}) = 0$

ซึ่งผลที่ได้มีค่าเท่ากับการแทนค่า  $A=1$  ลงในสมการ (2.7)

ค่าพลังงานเฉลี่ยของนิวตรอนที่กระเจิงออกมาจากการชนกับนิวเคลียสธาตุเบาที่มีค่าประมาณ

$$E' = \frac{1}{2} (1+\alpha) E \quad \dots\dots(2.10)$$

และการสูญเสียพลังงานเฉลี่ยของนิวตรอนที่กระเจิงคิดเป็น

$$\Delta \bar{E} = E - E' = \frac{1}{2} (1-\alpha) E \quad \dots\dots(2.11)$$

และ

$$\Delta \bar{E} / E = \frac{1}{2} (1-\alpha) \quad \dots\dots(2.12)$$

เมื่อพิจารณาค่า  $\alpha$  จะพบว่ามีค่าตั้งแต่ 0-1 และค่าเพิ่มขึ้นตามเลขมวลที่เพิ่มขึ้นเช่น ในการชนของนิวตรอนกับนิวเคลียสไฮโดรเจนนั้น พลังงานของนิวตรอนจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งโดยเฉลี่ย ดังนั้นการชนกับนิวเคลียสของธาตุเบาจำนวนครั้งในการชนจะน้อยกว่าการชนกับนิวเคลียสของธาตุนหนักเมื่อต้องการให้พลังงานลดลงเหลือประมาณที่เท่ากันดังตารางที่ 2.2

การคำนวณการลดพลังงานของนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์มักจะคำนวณพลังงานในทอมของเลทาร์จี้ (lathalgy) ใช้สัญลักษณ์แทนเป็น  $u$  โดยที่

$$u = \ln(E_M / E) \quad \dots\dots(2.13)$$

เมื่อ  $E_M$  เป็นพลังงานสูงสุดของนิวตรอนในระบบ ,  $E$  เป็นพลังงานของนิวตรอน ค่าเลทาร์จี้ที่เปลี่ยนไปโดยเฉลี่ย  $\Delta u$  จะใช้สัญลักษณ์  $\xi$  คำนวณได้จาก

$$\Delta u = \xi = 1 - (A-1)^2 \ln [(A+1) / (A-1)] / 2A \quad \dots\dots(2.14)$$

ถ้าให้  $n$  เป็นจำนวนครั้งที่นิวตรอนเข้าชนกับนิวเคลียสชนิดหนึ่งเพื่อลดพลังงานจาก  $E_0$  จนเหลือ  $E_f$  ดังนั้น

$$n = \ln(E_0 / E_f) / \xi \quad \dots\dots(2.15)$$



ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ในการชนระหว่างนิวตรอนกับนิวเคลียสบางชนิด[1]

นิวเคลียส	เลขมวล	$\alpha$	$\xi$	n**
ไฮโดรเจน	1	0	1.000	18
น้ำ		-	0.920*	19
ควิเทียม	2	0.111	0.725	24
น้ำชนิดหนัก		-	0.509*	34
เบริลเลียม	9	0.640	0.209	84
คาร์บอน	12	0.716	0.158	111
ออกซิเจน	16	0.779	0.120	146
โซเดียม	23	0.840	0.0825	-
เหล็ก	56	0.931	0.0357	490
ยูเรเนียม	238	0.983	0.00838	2087

\* ค่าประมาณ

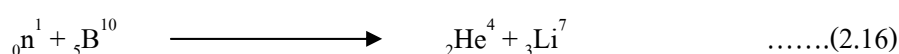
\*\* จำนวนครั้งที่นิวตรอนชนกับธาตุและสารประกอบบางชนิดในการลดพลังงานจาก 1 MeV ลงเหลือ 0.0253 eV

## 2.5 หัววัดรังสีนิวตรอน

### 2.5.1 หัววัดรังสีนิวตรอนชนิดบรรจุก๊าซ

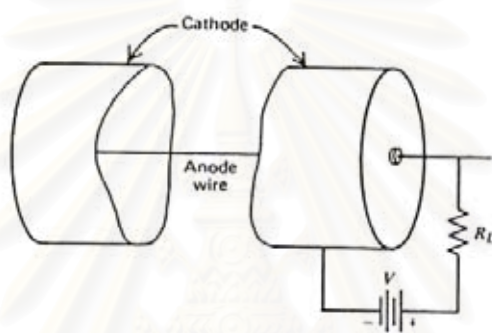
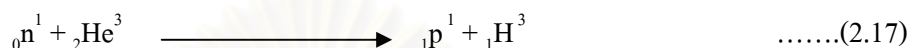
เป็นหัววัดชนิดบรรจุก๊าซที่ทำงานในช่วงพรอพอร์ชันนัล ซึ่งอาศัยการวัดทางอ้อมจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนกับตัวกลางที่บรรจุไว้ในหัววัดรังสี เนื่องจากนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุไม่สามารถทำให้เกิดการไอออไนเซชันโดยตรง จึงอาศัยอนุภาคที่มีประจุที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาทำให้ก๊าซที่บรรจุอยู่เกิดการไอออไนซ์ เป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนวิ่งไปที่ขั้วบวกและขั้วลบได้สัญญาณไฟฟ้าเกิดขึ้น

2.5.1.1 หัววัดรังสีนิวตรอนที่บรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF<sub>3</sub>) เป็นหัววัดรังสีที่บรรจุ BF<sub>3</sub> ที่มีโบรอน-10 เข้มข้นมากกว่าธรรมชาติประมาณ 96% ซึ่งจะทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับเทอร์มัลนิวตรอนทำให้เกิดอนุภาคอัลฟาและลิเทียม-7 ขึ้น ดังสมการที่ (2.16)



2.5.1.2 หัววัดรังสีนิวตรอนที่ฉาบผนังด้วยโบรอน (Boron lined detector) มีหลักการเหมือนหัววัดรังสีที่บรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ เพียงแต่โบรอนจะอยู่ในรูปของผงละเอียดฉาบอยู่ที่ผนังด้านในของหัววัดรังสี และก๊าซที่บรรจุในหัววัดเป็นก๊าซผสมของอาร์กอนและคาร์บอนไดออกไซด์

2.5.1.3 หัววัดรังสีนิวตรอนที่บรรจุก๊าซฮีเลียม-3 (He-3 detector) เป็นหัววัดรังสีที่อาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนกับฮีเลียม-3 ดังสมการที่ (2.17)



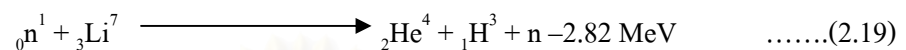
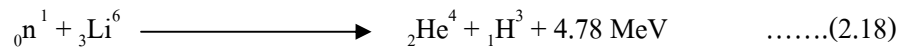
รูปที่ 2.6 แผนภาพโครงสร้างพื้นฐานของหัววัดนิวตรอนชนิดบรรจุก๊าซ

### 2.5.2 หัววัดรังสีนิวตรอนชนิดซินทิลเลชัน

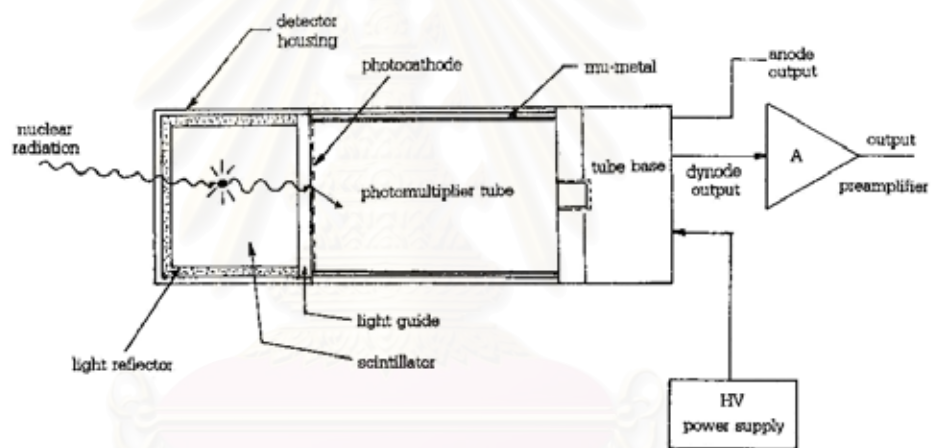
เป็นหัววัดที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ 1. ส่วนรับอันตรกิริยาและเกิดประกายแสง กับ 2. ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนประกายแสงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และทวีปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ โดยอันตรกิริยาในตัวกลางที่เกิดขึ้นในส่วนที่ 1. ทำให้เกิดประกายแสงส่งไปยังโฟโตแคโทดของหลอดทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนที่ 2. เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.5.2.1 หัววัดรังสีซินทิลเลเตอร์เหลว ชนิด NE-213 หัววัดนี้อาศัยหลักการที่นิวตรอนทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับลิเทียม-6 หรือลิเทียม-7 ซึ่งละลายอยู่ในซินทิลเลเตอร์เหลว แล้วอนุภาคมีประจุที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดแสงวาบ แสงจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าต่อไป หัววัดรังสีชนิดนี้หากมีปริมาณมากจะสามารถวัดรังสีแกมมาได้ด้วย

2.5.2.2 หัววัดรังสีแบบแก้วเรืองรังสี เป็นหัววัดที่ซินทิลเลเตอร์ทำจากแก้วซิลิเกตที่มีซีเรียม (Ce) เป็นแอคติเวเตอร์ ซึ่งซีเรียมจะเป็นตัวกระตุ้น หัววัดชนิดนี้สามารถวัดได้ทั้งรังสีนิวตรอนและแกมมาได้ ในการวัดรังสีนิวตรอนของหัววัดรังสีแบบนี้มีส่วนผสมของลิเทียม-6 และลิเทียม-7 ในความเข้มข้นต่างๆ กัน เพื่อปฏิกิริยานิวเคลียร์กับนิวตรอนตามสมการที่ (2.18) และ (2.19) ดังนี้



อนุภาคแอลฟาและทริเทียม ที่เกิดขึ้นจากรังสีนิวตรอนดังปฏิกิริยาข้างต้นจะทำให้เกิดสัญญาณแสงภายในหัววัดรังสี สัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ แล้วเข้าสู่ไดโอดและอานอด ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 แผนภาพโครงสร้างพื้นฐานของหัววัดนิวตรอนชนิดซินทิลเลชัน[5]

หัววัดนิวตรอนแบบแก้วเรืองรังสี จะมีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในความเข้มข้นและสัดส่วนของลิเทียม-6 ( ${}^6\text{Li}$ ) และลิเทียม-7 ( ${}^7\text{Li}$ ) ต่างๆ กัน เช่น หัววัดชนิด NE-904, NE-905 และ NE-906 มีความเข้มข้นของลิเทียม 6.6% โดยน้ำหนัก โดยที่

NE-904 มีลิเทียมธรรมชาติเป็นองค์ประกอบ ( ${}^6\text{Li}$  7.4 % ,  ${}^7\text{Li}$  92.6 %)

NE-905 มี enriched  ${}^6\text{Li}$  เป็นองค์ประกอบ ( ${}^6\text{Li}$  95 % ,  ${}^7\text{Li}$  5 %)

NE-906 มี depleted  ${}^6\text{Li}$  เป็นองค์ประกอบ ( ${}^6\text{Li}$  < 0.01 % ,  ${}^7\text{Li}$  > 99.99 %)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของหัววัดรังสี NE-905[1]

Manufacturer's Identification	Type
	NE-905
Density(g/ cm <sup>3</sup> )	2.48
Refractive index	1.55
Melting Point(°C)	1200
$\lambda$ of emission maximum(nm)	395
Light Output relative to anthrec	20-30%
Decay Constant(ns)	100
Content of Li	6.6wt%
<sup>6</sup> Li enrichment	95%
Background activity $\alpha$ per 100 g of glass(/min)	100-200
Resolution expected for thermal neutrons (depend on glass thickness)	15-28%

## 2.6 คุณสมบัติของรังสีแกมมา

รังสีแกมมากำเนิดจากนิวเคลียสที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นหรือไม่เสถียรปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่มีมวล ไม่มีประจุ ซึ่งสามารถทะลุทะลวงผ่านตัวกลางต่างๆ ได้ดี โดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง คือ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

## 2.7 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบไอโซโทป ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเล็ก ถูกปิดผนึกห่อหุ้มด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมสองชั้น เพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีตามมาตรฐานสากล ซึ่งจำแนกที่มาได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.7.1 ต้นกำเนิดรังสีที่สกัดจากกัมมันตรังสีในธรรมชาติ คือการสัปดาห์กัมมันตรังสีออกจากแร่ ได้แก่ เรเดียม-226 จากแร่ยูเรเนียม

2.7.2 ต้นกำเนิดจากรังสีที่ผลิตจากการอบรังสี ได้มาจากการนำไอโซโทปเสถียรของธาตุบางชนิดไปอบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ จะได้ไอโซโทปที่ไม่เสถียรปลดปล่อยรังสีแกมมาเพื่อเข้าสู่สภาวะเสถียรอีกครั้ง ได้แก่ โคบอลต์-60 ซึ่งมาจากโคบอลต์-59 อบรังสีนิวตรอน และอิริเดียม-192 จากอิริเดียม-191

2.7.3 ต้นกำเนิดรังสีที่สกัดจากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้งานแล้ว เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้งานแล้วจะมีการแตกตัวให้สารกัมมันตรังสีเกิดขึ้นมากมาย ไอโซโทปที่ถูกสกัดออกมาใช้งานเป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาคือ ซีเซียม-137

ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 มีคุณสมบัติดังนี้

ซีเซียมได้จากการแยกกัมมันตรังสีออกจากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้งานแล้ว โดยมี yield ประมาณ 6.2 % ใน ยูเรเนียม-235 และ 6.6 % ในพลูโตเนียม-239 มีค่าครึ่งชีวิต 30 ปี โดยปกติ ซีเซียม-137 จะให้เฉพาะรังสีเบตา แต่ daughter คือ แบเรียม-137m ให้รังสีแกมมาพลังงาน 0.662 MeV ซีเซียม-137 ให้ exposure rate เท่ากับ 0.33 R/hr ในอากาศที่ระยะห่าง 1 เมตร จากแหล่งกำเนิดรังสี

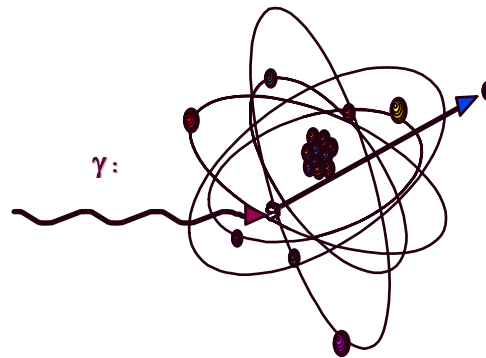
ต้นกำเนิดรังสีแกมมาโคบอลต์-60 มีคุณสมบัติดังนี้

โคบอลต์-60 ผลิตจากการอบรังสีผงโลหะหรือเม็ดโลหะโคบอลต์ที่บรรจุใน pellet ซึ่งทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีฟลักซ์สูงๆ หรืออบรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์บางแบบ แล้วนำมาประกอบเข้าเป็นแท่งๆ โคบอลต์-60 มีค่าครึ่งชีวิต 5.26 ปี และให้รังสีแกมมา 2 พลังงานคือ 1.17 และ 1.33 MeV พลังงานเฉลี่ยคือ 1.25 MeV แหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 จำนวน 1 Ci ให้ exposure rate เท่ากับ 1.33 R/hr ในอากาศที่ระยะห่าง 1 เมตรจากแหล่งกำเนิดรังสี

## 2.8 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา

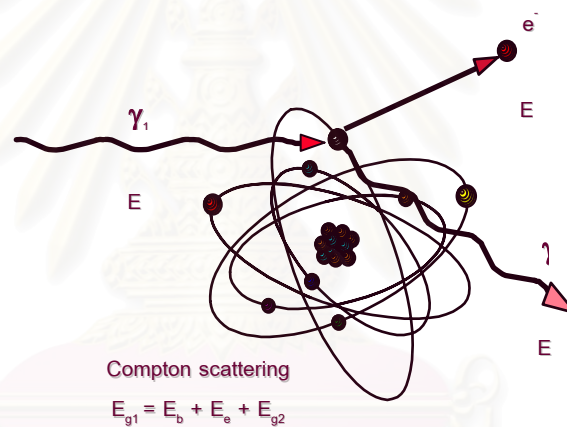
เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีประจุ ไม่มีมวล การทำอันตรกิริยากับวัตถุจะไม่เหมือนกับรังสีแอลฟาและเบตา ซึ่งการทำอันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อวัตถุต่างๆ แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

2.8.1 โฟโตอิเล็กทริก เกิดเมื่อรังสีแกมมาชนโดยตรงกับอะตอมของตัวกลาง และถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้แก่อิเล็กตรอนในวงโคจร และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเรียกว่า “ โฟโตอิเล็กตรอน ” โดยหลุดออกมาด้วยพลังงานจลน์ ที่เท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน



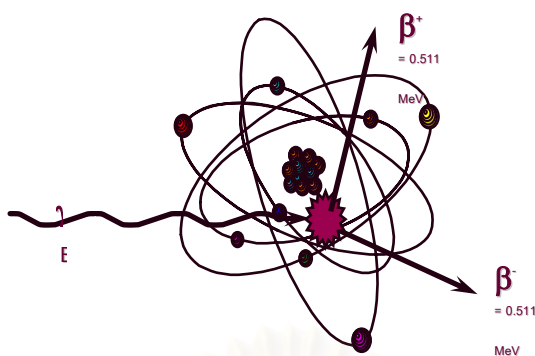
รูปที่ 2.8 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก

2.8.2 การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน เกิดเมื่อรังสีแกมมาชนกับตัวอะตอมของตัวกลาง และถ่ายทอดพลังงานบางส่วนให้แก่อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์เท่ากับผลต่างของรังสีแกมมาที่เข้ามา และพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.9 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน

2.8.3 การเกิดผลผลิตคู่ เกิดจากการถูกดูดกลืนแกมมาพลังงานสูงๆ เมื่อรังสีแกมมาเข้าทำอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้าของนิวเคลียสแล้วทำให้มีอิเล็กตรอนและโพสิตรอนเกิดขึ้น พลังงานของรังสีแกมมาจะต้องมีอย่างน้อยเท่ากับ Rest mass ของอิเล็กตรอน-โพสิตรอน นั่นคือ 1.02 MeV ถ้ารังสีแกมมาที่ทำให้เกิด Pair production มีค่ามากกว่า 1.022 MeV พลังงานส่วนที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน ซึ่งโพสิตรอนที่เกิดก็จะรวมกับอิเล็กตรอนแล้วทำให้เกิด Annihilation radiation คือ โปรตรอน 2 ตัวซึ่งมีพลังงานเท่ากันตัวละ 0.511 MeV เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม



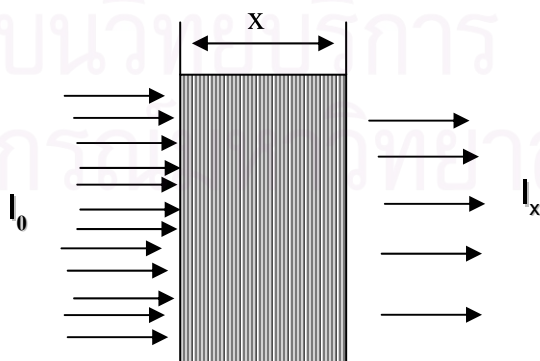
รูปที่ 2.10 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาการเกิดผลผลิตคู่

### 2.9 การทะลุผ่านวัตถุของรังสีแกมมา

เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบวัตถุ อาจเกิดอันตรกิริยาได้ทั้ง 3 แบบ ตามอันตรกิริยาของรังสีแกมมาข้างต้น ความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุไปได้ขึ้นกับพลังงานของรังสี ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ ชนิดและความหนาของวัตถุ ทำให้มีช่วงพลังงานหนึ่งที่มีความเข้มของรังสีผ่านวัตถุได้ โดยไม่เกิดอันตรกิริยาใดๆเลย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีที่ไม่เกิดอันตรกิริยาใดๆ ( $I_x$ ) กับความเข้มของรังสีที่ตกกระทบวัตถุ ( $I_0$ ) เป็นดังสมการที่ (2.20)

$$I_x = I_0 e^{(-\mu x)} \dots\dots(2.20)$$

เมื่อ  $\mu$  คือสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของวัตถุ ซึ่งขึ้นกับชนิดของวัตถุและพลังงานของรังสี และ  $x$  คือ ความหนาของวัตถุ



รูปที่ 2.11 แผนภาพการลดความเข้มของรังสีแกมมาเมื่อผ่านวัตถุ

## 2.10 หัววัดรังสีแกมมา

2.10.1 หัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน เป็นหัววัดที่อาศัยหลักการตื่นตัวของโมเลกุล หรือทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมของผลึกของสารที่ใช้สร้างหัววัดเปลี่ยนขึ้นไปอยู่ในวงโคจรที่สูงขึ้นเมื่อมีพลังงานตกกระทบจากรังสี หัววัดชนิดนี้สามารถแยกชนิดของสารเรืองแสงได้ดังนี้

2.10.1.1 สารเรืองแสงอินทรีย์ อาศัยหลักการเกิดการกระตุ้นของอิเล็กตรอน เมื่อสารอินทรีย์ดูดกลืนพลังงานจากรังสี อิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะเดิมต้องปล่อยพลังงานส่วนเกินออกไปในรูปของแสง การเกิดการเรืองแสงในสารอินทรีย์นี้เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานซึ่งเกิดในโมเลกุลเดี่ยว ทำให้สามารถใช้งานสารเรืองแสงอินทรีย์ได้หลายสถานะ ทั้งของเหลว และของแข็ง ตัวอย่างเช่น แบบที่เป็นผลึกอินทรีย์บริสุทธิ์ แอนทราซีน และแบบสารละลายอินทรีย์ที่ถูกเพิ่มธาตุที่มีค่าอะตอมมิกนัมเบอร์สูงๆ เช่น ตะกั่ว

2.10.1.2 สารเรืองแสงอนินทรีย์ เมื่อมีพลังงานจากรังสีถ่ายเทไปสู่อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน วาเลนซ์แบนด์ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดไปอยู่ในคอนดักชันแบนด์ และเมื่ออิเล็กตรอนจะกลับมาสู่สถานะเดิมจะต้องปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาซึ่งจะอยู่ในรูปของแสง และสารอนินทรีย์นี้จะมีโครงสร้างที่แน่นอนคงตัว อยู่ในรูปที่เป็นของแข็ง และมีการเติมที่ทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ลงไปในสารอนินทรีย์ ซึ่งเรียกว่า สารแอกติเวต ตัวอย่างเช่น แบบชนิดอัลคาไลฮาไลด์ ได้แก่ หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) ซีเซียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) แบบชนิดแก้วเรืองรังสี ซึ่งทำจากแก้วซิลิเกต ที่บรรจุทลเลียมและแอกติเวตซีเรียมลงไป

2.10.2 หัววัดรังสีแกมมาชนิดสารกึ่งตัวนำ หลักการทำงานคล้ายกับหัววัดบรรจุก๊าซชนิดไอออไนเซชันแชนเบอร์ ต่างกันที่ตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานอยู่ในสถานะของแข็ง เมื่อรังสีตกกระทบสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดปริมาณคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นทำหน้าที่ประจุพาหะในการสร้างสัญญาณไฟฟ้า หัววัดรังสีชนิดนี้จะตอบสนองการวัดพลังงานเป็นเชิงเส้นในช่วงกว้าง มีประสิทธิภาพในการวัดสูง เวลาในการวัดสั้น ไม่มีปัญหาเรื่องการรบกวนของสนามแม่เหล็ก และยังสามารถในการแจกแจงพลังงานสูงกว่าหัววัดชนิดอื่น เนื่องจากต้องการพลังงานในการกำเนิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลต่ำเพียง 2-3 eV เท่านั้น ตัวอย่าง หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำสำหรับวัดอนุภาคที่มีประจุ และหัววัดสำหรับวัดโฟตอน

## 2.11 การนับรังสีและการจัดการทางสถิติ

ให้  $X$  เป็นจำนวนนับรังสี ซึ่งได้จากการวัดเป็นเวลา  $t$  วินาทีและถ้าทำการนับรังสีหลายครั้งรวมเป็นชุดข้อมูลจากการนับรังสีดังนี้  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_n$

ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเท่ากับ 
$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$
 , เมื่อ  $X_n$  เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด



จากสถิติการนับจะเกิดการแจกแจงของข้อมูลโดยการแจกแจงที่ใช้ส่วนใหญ่มี 2 แบบคือ

1. แบบพัวซองส์ (Poisson Distribution) เมื่อจำนวนข้อมูลไม่มาก

ความเป็นไปได้  $P(x) = \frac{(\bar{x})^x e^{-\bar{x}}}{x!}$  .....(2.21)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma = \sqrt{\bar{X}}$  .....(2.22)

2. แบบเกาส์เซียนหรือแบบปกติ (Gaussian or Normal Distribution) เมื่อจำนวนข้อมูลมาก

ความเป็นไปได้  $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{X}}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\bar{x}}\right)$  .....(2.23)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}}{(n-1)}$  .....(2.24)

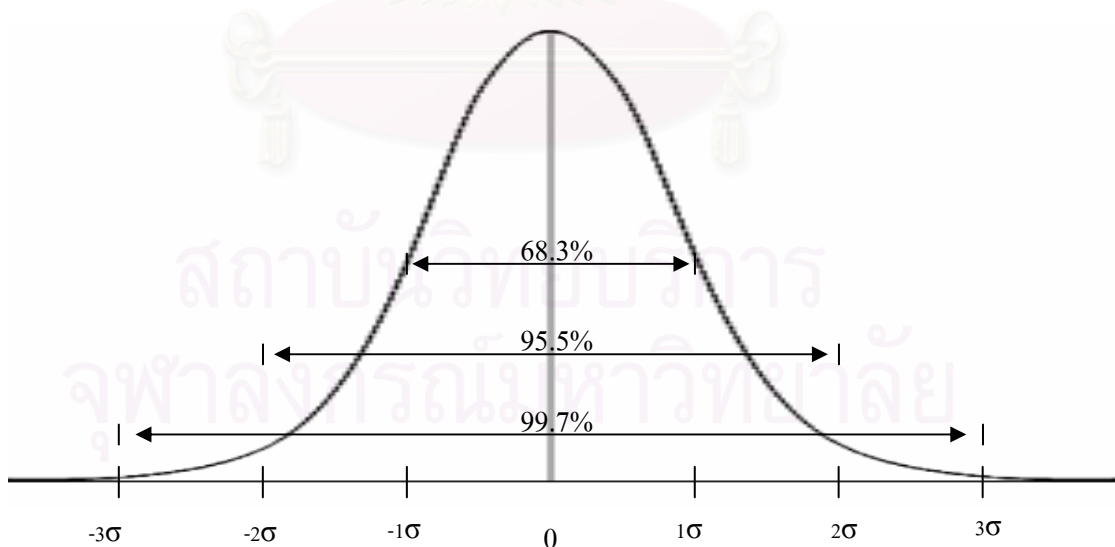
หรือ  $\sigma = \sqrt{\bar{X}}$  .....(2.25)

ในการรายงานค่าการนับรังสีที่ได้จะอยู่ในรูป  $X \pm m \sigma$  โดย  $m$  เท่ากับ 1, 2 หรือ 3 ก็ได้ ขึ้นกับขีดความเชื่อมั่นที่ต้องการดังนี้

$X \pm \sigma$  ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 68.3 %

$X \pm 2\sigma$  ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 95.5 %

$X \pm 3\sigma$  ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 99.7 %



รูปที่ 2.12 แผนภาพการแจกแจงข้อมูลทางสถิติแบบเกาส์เซียนหรือแบบปกติ[6]

ในการนับรังสีนั้นจะมีทั้ง ค่าการนับจริง  $X_n$  และ ค่าเบคกราวด์  $X_b$  ซึ่งซ้อนทับกันอยู่ ถ้าให้  $X_t$  เป็นค่าการนับรวมที่มีทั้งค่าการนับจริงและค่าเบคกราวด์ อยู่ จะ ได้ความสัมพันธ์ของค่า  $X_t$ ,  $X_n$  และ  $X_b$  ดังนี้

$$X_t = X_n + X_b \quad \text{.....(2.26)}$$

หรือ 
$$X_n = X_t - X_b \quad \text{.....(2.27)}$$

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $X_t$  และ  $X_b$  ทำให้ได้ค่าการคำนวณข้างต้น แต่สำหรับค่า  $X_n$  นั้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณได้จาก

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_b^2} \quad \text{.....(2.28)}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

##### 3.1.1 ต้นกำเนิดนิวตรอน

3.1.1.1 อเมริเซียม-241/เบริลเลียม ( $^{241}\text{Am/Be}$ ) ความแรง 90 มิลลิวรี

3.1.1.2 แคลิฟอร์เนียม-252 ( $^{252}\text{Cf}$ ) ความแรง 2.7 มิลลิวรี

##### 3.1.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

3.1.2.1 ซีเซียม-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) ความแรง 113.6 มิลลิวรี

3.1.2.2 โคบอลต์-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) ความแรง 2.5 มิลลิวรี

##### 3.1.3 หัววัดเทอร์มินัลนิวตรอนและแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905

##### 3.1.4 หัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม)

##### 3.1.5 ระบบวัดนิวตรอน ซึ่งประกอบด้วย

3.1.5.1 NIM BIN Power supply

3.1.5.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง(H.V) ของ ORTEC 456

3.1.5.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณและตัดสัญญาณรบกวน รุ่น PAD 814

3.1.5.4 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง

##### 3.1.6 เครื่องนับรังสีแบบกระเป๋ากว้าง SCALER RATEMETER model 2200 ของ Ludlum

##### 3.1.7 เครื่อง HYDROTECTER ของบริษัท Boart longyear ดังรูปที่ 3.3

##### 3.1.8 ตัวอย่างน้ำมันดิบจำนวน 10 ลิตร จากบริษัท ปตท.สผ.จำกัด มหาชน

##### 3.1.9 ตัวอย่างน้ำจำนวน 10 ลิตร

##### 3.1.10 พาราฟินแผ่นขนาด 15 ซม.x 30 ซม.x 3 ซม. จำนวน 9 แผ่น

##### 3.1.11 แคดเมียมแผ่น ขนาด 30.5 ซม.x 25.5 ซม.x 0.1 ซม. จำนวน 1 แผ่น

##### 3.1.12 อุปกรณ์และวัสดุอื่นๆ เช่น แผ่นเหล็กหนา 0.6 ซม. เป็นต้น

##### 3.1.13 โพลีเอทิลีน ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ซม.สูง 16 ซม.

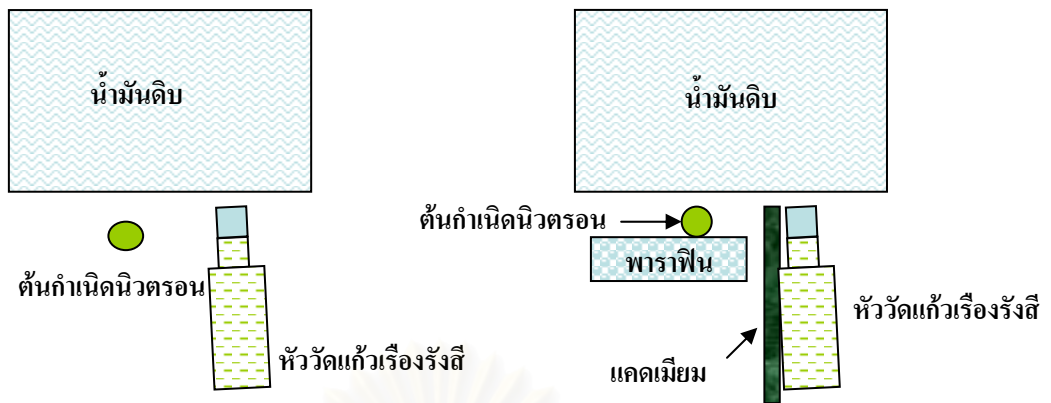
### 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ เพื่อให้การตรวจหารอยต่อทำได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

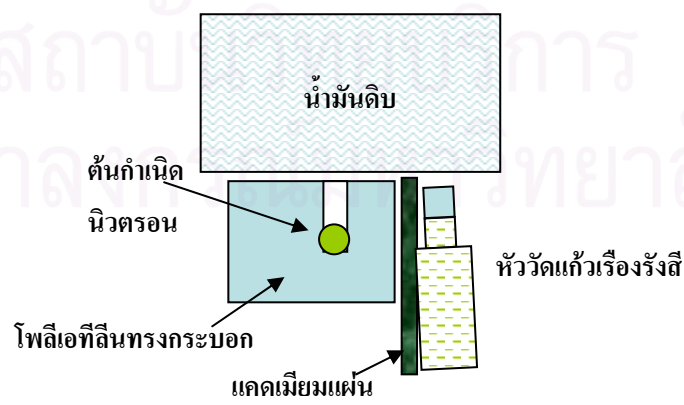
#### 3.2.1 การศึกษาการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอนโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียม และแคลิฟอร์เนียม-252

การศึกษาขั้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การใช้และไม่ใช้วัสดุบ่งคับลำนิวตรอน สำหรับลักษณะที่ 1 เป็นการศึกษาการจัดระบบการนับเทอร์มัลนิวตรอนที่เกิดจากการกระเจิงกลับเมื่อนิวตรอนเร็วเข้าชนอะตอมไฮโดรเจนในตัวอย่าง โดยจัดระบบดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งวางต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียม โดยที่ไม่มีวัสดุบ่งคับลำนิวตรอน และวางหัววัดนิวตรอนไว้ใต้ภาชนะบรรจุตัวอย่าง แล้วทำการวัดเทอร์มัลนิวตรอนที่กระเจิงจากแบลงค์หรือภาชนะเปล่า ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำมันดิบ และน้ำ ตามลำดับ บันทึกผลการวิจัยแล้วทำการคำนวณค่าการนับเทอร์มัลนิวตรอนสุทธิ ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.1 จากนั้นทดลองใช้แผ่นพาราฟินวางด้านล่างต้นกำเนิดนิวตรอนเพื่อเพิ่มความเข้มนิวตรอนจากการกระเจิงกลับ โดยแผ่นพาราฟินไปยังด้านบนที่มีภาชนะใส่ตัวอย่างอยู่ ทำการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างต่าง ๆ เช่นเดียวกับขั้นตอนข้างต้น การเพิ่มความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับ นอกจากจะเป็นการเพิ่มความเข้มนิวตรอนแล้ว ยังจะช่วยให้มีนิวตรอนพลังงานต่ำตกกระทบตัวอย่างมากขึ้น ซึ่งน่าจะทำให้เทคนิคนี้มีความไวต่อการแยกแยะความแตกต่างระหว่างน้ำกับน้ำมันดิบได้ดีกว่าใช้นิวตรอนเร็วเพียงอย่างเดียว จากนั้นได้ใช้แผ่นแคดเมียมกั้นระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับหัววัดนิวตรอน เพื่อลดเทอร์มัลนิวตรอนที่ไม่ได้มาจากการกระเจิงจากตัวอย่าง โดยตรงเข้าหัววัด แล้วทำการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากภาชนะเปล่า ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำมันดิบ และน้ำตามลำดับ เช่นเดียวกับที่ผ่านมาข้างต้น บันทึกผลแล้วคำนวณค่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนสุทธิ

ลักษณะที่ 2 ทำการวิจัยเหมือนข้างต้น แต่บรรจุต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียม ไว้ในโพสิเอทีลินทรงกระบอกที่มีรูตรงกลาง (ดังแสดงรูปที่ 3.2) เพื่อบ่งคับให้นิวตรอนจากต้นกำเนิดพุ่งไปยังภาชนะบรรจุตัวอย่าง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความเข้มของนิวตรอนที่เข้าชนตัวอย่าง และเพื่อลดแบคกราวด์ที่เกิดจากการกระเจิงของนิวตรอนจากบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย ทำการนับเทอร์มัลนิวตรอนที่กระเจิงจากภาชนะเปล่า ภาชนะบรรจุน้ำมันดิบ และภาชนะบรรจุน้ำ บันทึกผลแล้วคำนวณค่าการนับเทอร์มัลนิวตรอนสุทธิ ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพและภาพการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดนิวตรอนในการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับ (ลักษณะที่ 1 ไม่ใช้วัสดุบังคับลำนิวตรอน)



รูปที่ 3.2 แผนภาพการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดนิวตรอนในการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับ (ลักษณะที่ 2 ใช้วัสดุบังคับลำนิวตรอน)

ทำการวิจัยซ้ำโดยเปลี่ยนต้นกำเนิดนิวตรอนจากอเมริกัน-241/เบริลเลียม เป็น แคลิฟอร์เนียม-252 โดยเลือกใช้เงื่อนไขที่มีแผ่นพาราฟินวางไว้ด้านล่างของต้นกำเนิดนิวตรอน โดยมีแผ่นแคดเมียมกั้นเทอร์มัลนิวตรอนระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับหัววัดนิวตรอน และเงื่อนไขที่บรรจุต้นกำเนิดนิวตรอนไว้ในโพลีเอทิลีนทรงกระบอก โดยมีแผ่นแคดเมียมกั้นระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับหัววัดนิวตรอนเช่นกัน ทำการนับเทอร์มัลนิวตรอนที่กระเจิงจากภาชนะเปล่า ภาชนะบรรจุน้ำมันดิบ และภาชนะบรรจุน้ำ บันทึกผลแล้วคำนวณค่าการนับเทอร์มัลนิวตรอนสุทธิ ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.2

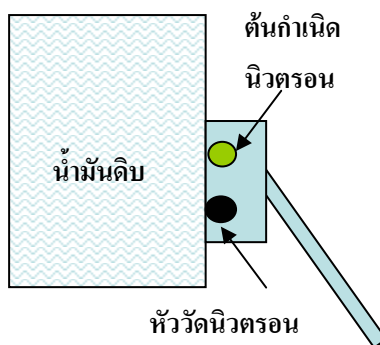
### 3.2.2 การใช้เครื่อง HYDROTECTOR ของบริษัท Boart longyear ในการวัดเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับ

เครื่อง HYDROTECTOR (ดังรูปที่ 3.3) เป็นเครื่องที่ประกอบด้วยหัววัดนิวตรอนชนิดบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ ( $\text{BF}_3$ ) และต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียม โดยหัววัดจะนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากการกระเจิงกลับเมื่อนิวตรอนเร็วเข้าชนอะตอมไฮโดรเจนของวัตถุ ซึ่งเครื่องนี้ได้มีการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายและจัดได้ว่ามีมาตรฐานในการนำไปใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้นำมาใช้เพื่อนำผลจากเครื่องวัดใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการวัดจากระบบวัดนิวตรอนกระเจิงกลับที่ประกอบขึ้นเองในการวิจัยนี้

ทำการวิจัยวัดเทอร์มัลนิวตรอนที่กระเจิงกลับจากตัวอย่างน้ำและน้ำมันดิบที่อุณหภูมิโดยประมาณ 25, 27 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อให้ให้น้ำมันดิบเหลวมากขึ้น โดยการทาบบโรวัดเข้ากับผนังของภาชนะบรรจุตัวอย่างดังรูปที่ 3.4 ผลการวิจัยดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 3.3 ภาพเครื่อง HYDROTECTOR ของบริษัท Boart longyear

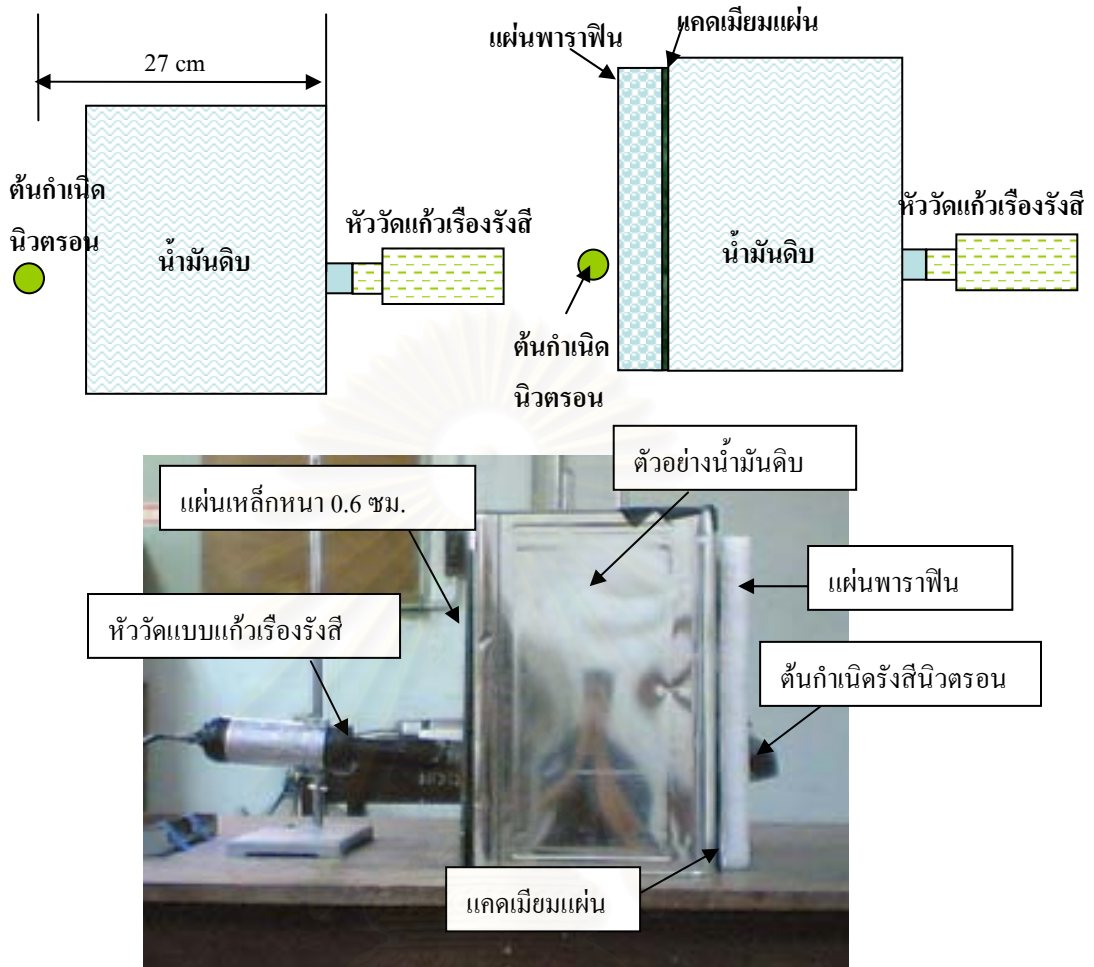


รูปที่ 3.4 แผนภาพการนับเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับด้วยเครื่อง HYDROTECTER

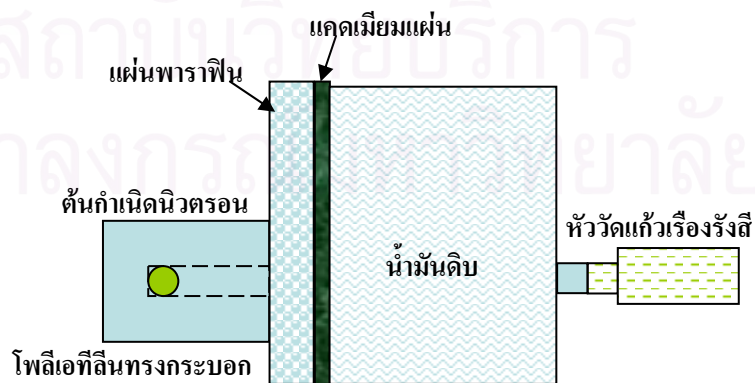
### 3.2.3 การศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน

เนื่องจากเทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอนมีความไวต่อการแยกความแตกต่างระหว่างน้ำมันดิบที่ใช้ในการศึกษากับน้ำได้ไม่ดัดนัก จึงได้ทดลองใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเพื่อเปรียบเทียบความไวกันด้วย สำหรับเทคนิคนี้อาศัยหลักการเกิดเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากการส่งผ่านนิวตรอนเร็วเมื่อเข้าชนอะตอมไฮโดรเจนในตัวอย่างจนลดพลังงานลงเป็นเทอร์มัลนิวตรอนเข้าสู่หัววัดนิวตรอนช้า ซึ่งนิวตรอนเป็นอนุภาคที่มีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง จึงอาจนำมาใช้ในการตรวจหารอยต่อของน้ำมันดิบกับน้ำได้ การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนโดยไม่มีวัสดุบ่งคับลำนิวตรอน และการใช้วัสดุบ่งคับลำนิวตรอน ซึ่งวัสดุบ่งคับลำนิวตรอนที่ใช้ก็คือ โพลีเอทิลีนรูปทรงกระบอกที่มีรูตรงกลางสำหรับใส่ต้นกำเนิดนิวตรอน นอกจากนี้ยังได้ทดลองใช้แผ่นพาราฟินกั้นระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับภาชนะบรรจุตัวอย่าง เพื่อเพิ่มความไวจากการลดพลังงานของนิวตรอนลง ต่อจากนั้นได้ทดลองใช้แผ่นแคดเมียมกั้นระหว่างแผ่นพาราฟินกับภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อตัดนิวตรอนพลังงานต่ำทิ้งไปก่อนส่งผ่านตัวอย่าง ซึ่งคาดว่าจะทำให้แบคกราวด์ลดลง ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 แผนภาพและภาพแสดงการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอน และหัววัดนิวตรอนสำหรับเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน (ลักษณะที่ 1 ไม่มีวัสดุบ่งคับลำนิวตรอน)

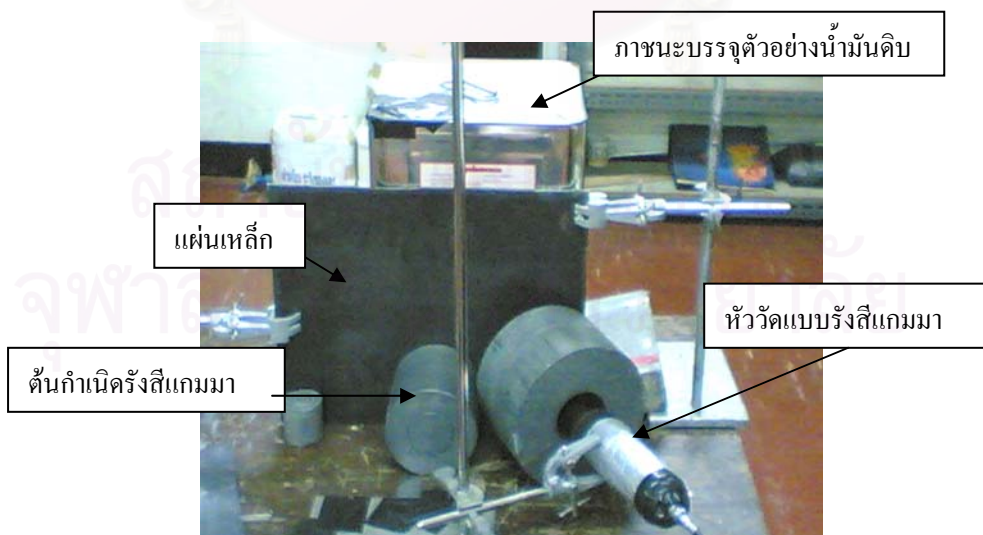
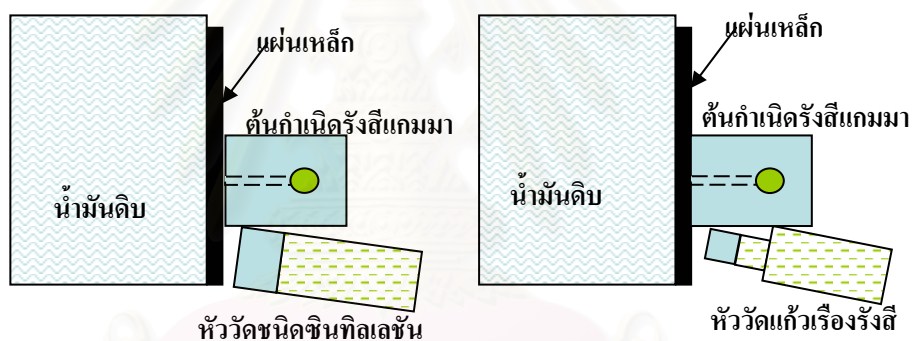


รูปที่ 3.6 แผนภาพและภาพแสดงการจัดวางต้นกำเนิดนิวตรอน และหัววัดนิวตรอนสำหรับเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน (ลักษณะที่ 2 เมื่อมีวัสดุบ่งคับลำนิวตรอน)



### 3.2.4 การศึกษาการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา

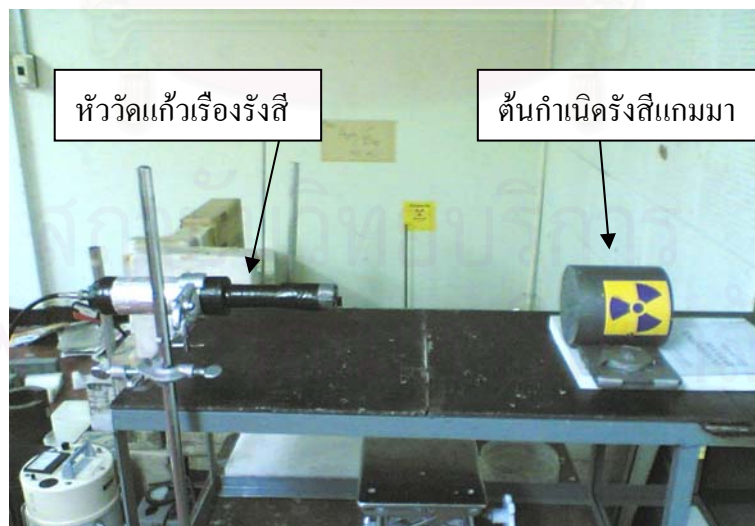
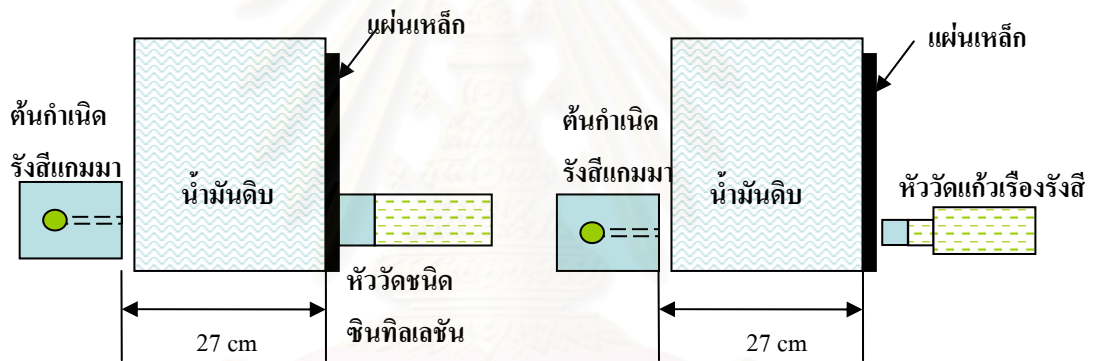
เนื่องจากในขั้นตอนที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคนิวตรอนทั้งแบบการกระเจิงกลับและการส่งผ่านไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ชัดเจน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริงในภาคสนาม จึงได้ศึกษาทดลองโดยการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมาในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำด้วย รังสีแกมมาอาจเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมพ์ตันได้ และการกระเจิงนั้นขึ้นกับเลขอะตอมของสารตัวอย่างและความหนาแน่นของตัวอย่างก็มีผลต่อการกระเจิงกลับด้วย ในการวิจัยได้จัดตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 และหัววัดรังสีแกมมาดังรูปที่ 3.7 โดยใช้หัววัดแก้วเรืองรังสี NE-905 และหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) วัดรังสีแกมมาเพื่อเปรียบเทียบผล และมีแผ่นเหล็กหนา 6 มม. วางแนบอยู่กับภาชนะบรรจุตัวอย่าง เพื่อให้ใกล้เคียงกับความหนาของถังเหล็กที่บรรจุน้ำมันดิบในภาคสนาม การวิจัยนี้ทำโดยวัดรังสีแกมมากระเจิงกลับจากภาชนะเปล่า(แบลงค์) ภาชนะบรรจุน้ำมันดิบ และบรรจุน้ำ ตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 3.7 แผนภาพและภาพการจัดวางต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีแกมมาในการวัดรังสีแกมมาจากการกระเจิงกลับ

### 3.2.5 การศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

การศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ อาศัยความสามารถในการทะลุทะลวงสูงของรังสีแกมมาซึ่งขึ้นอยู่กับเลขอะตอมและความหนาแน่น ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของสารประกอบหรือของผสมขึ้นอยู่กับเลขอะตอมยังผล (effective atomic number) การวัดรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านน้ำมันดิบและน้ำจึงอาจจะได้ค่าที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันดิบเป็นสำคัญ การวิจัยนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 และใช้หัววัดรังสีแกมมา 2 แบบคือ หัววัดแบบแก้วเรืองรังสี NE-905 และหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ซึ่งได้จัดระบบดังแสดงในรูปที่ 3.8 ในการนี้ได้นำแผ่นเหล็กหนา 6 มม. วางไว้หน้าหัววัดรังสีแกมมาเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับถังเหล็กที่บรรจุน้ำมันดิบ การวิจัยทำโดยการวัดรังสีแกมมาทะลุผ่านจากภาชนะเปล่า(แบลงค์) ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำ ตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพและภาพการจัดวางต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีแกมมา สำหรับเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

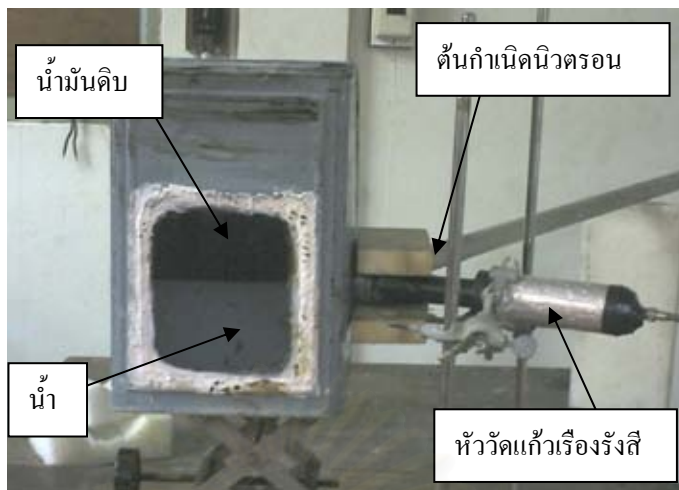
### 3.2.6 การทดสอบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ

การวิจัยขั้นนี้เป็นการทดสอบระบบการตรวจหารอยต่อของน้ำมันดิบกับน้ำด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาเปรียบเทียบกับเทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอน โดยนำน้ำมันดิบและน้ำมาผสมกันในภาชนะเดียวกัน ซึ่งด้านข้างของภาชนะเป็นกระจกใสสามารถมองเห็นรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้อย่างชัดเจน ได้ทำการวิจัยตามขั้นตอนต่อไปนี้

- (1) ติดตั้งระบบวัดซึ่งประกอบด้วยหัววัดรังสีแกมมาและต้นกำเนิดแกมมาเข้ากับอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9
- (2) ทำการวัดรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านในระดับต่าง ๆ ทุก ๆ 1 ซม. ผลการวิจัยดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.2
- (3) ทำการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับของนิวตรอน ในระดับต่าง ๆ ทุก ๆ 1 ซม. เช่นเดียวกันกับในขั้นตอนที่ผ่านมา โดยจัดระบบดังแสดงในรูปที่ 3.10 ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.3
- (5) ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธี



รูปที่ 3.9 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา



รูปที่ 3.10 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เทคนิคการการกระเจิงกลับของนิวตรอน

### 3.2.7 การทดสอบระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนาม

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ดีพอที่จะนำไปใช้งานได้จริงในภาคสนาม จึงได้ทำการทดสอบเทคนิคที่พัฒนาขึ้น โดยการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ ณ หลุมเจาะบริษัท ปตท.สผ.จำกัด (มหาชน) โครงการสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี โดยในการทดสอบในภาคสนามนั้นต้องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีแกมมาเป็นโคบอลต์-60 แทนซีเซียม-137 เนื่องจากต้องการพลังงานรังสีแกมมาสูงพอที่จะทะลุผ่านผนังเหล็กหนาประมาณด้านละ 7 มม. สองด้าน รวมกันเป็น 14 มม. และต้องให้สามารถทะลุผ่านน้ำมันดิบและน้ำที่อยู่ในถังประมาณ 1 เมตรด้วย และได้ทดลองใช้เครื่อง HYDROTECTER ในการตรวจหารอยต่อเพื่อเปรียบเทียบกัน ขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

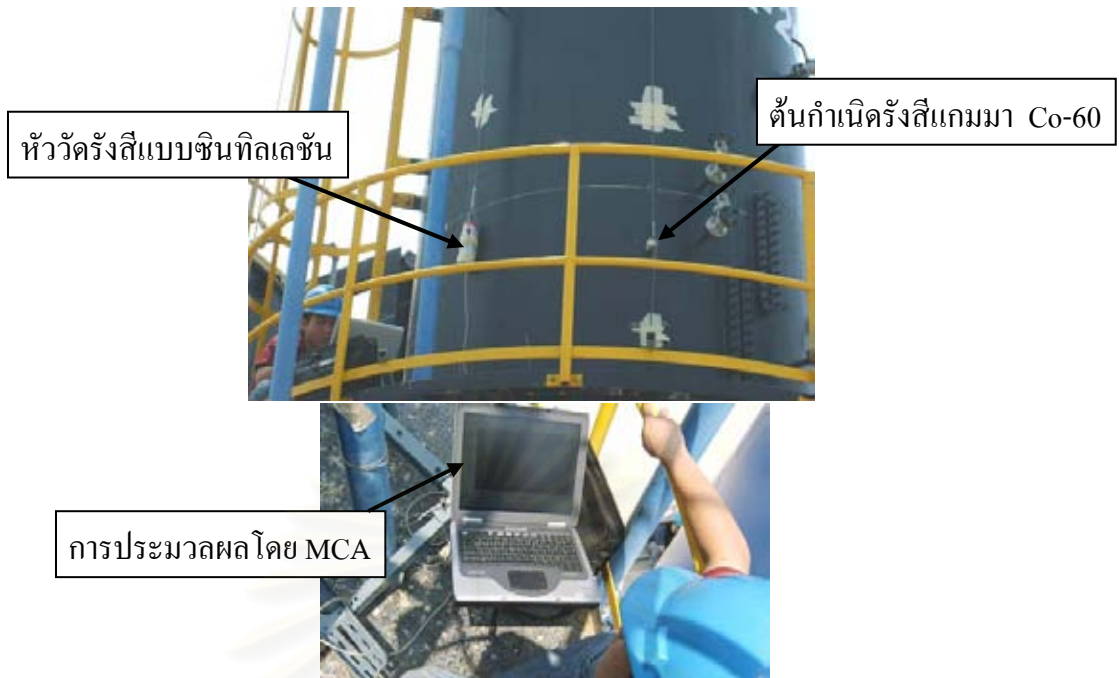
(1) ติดตั้งระบบวัดเข้ากับถังเก็บให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ ดังแสดงในรูปที่

3.11

(2) ทำการวัดสีแกมมาตามระดับสูงโดยห่างกันจุดละ 5 ซม. ผลการวิจัยดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.4

(3) ทำการวัดรังสีด้วยเครื่อง HYDROTECTER โดยทำการนับเทอร์มัลนิวตรอนตามระดับความสูงห่างกันจุดละ 5 ซม. ดังรูปที่ 3.12 ผลการวิจัยดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.5

(4) ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธี



รูปที่ 3.11 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา



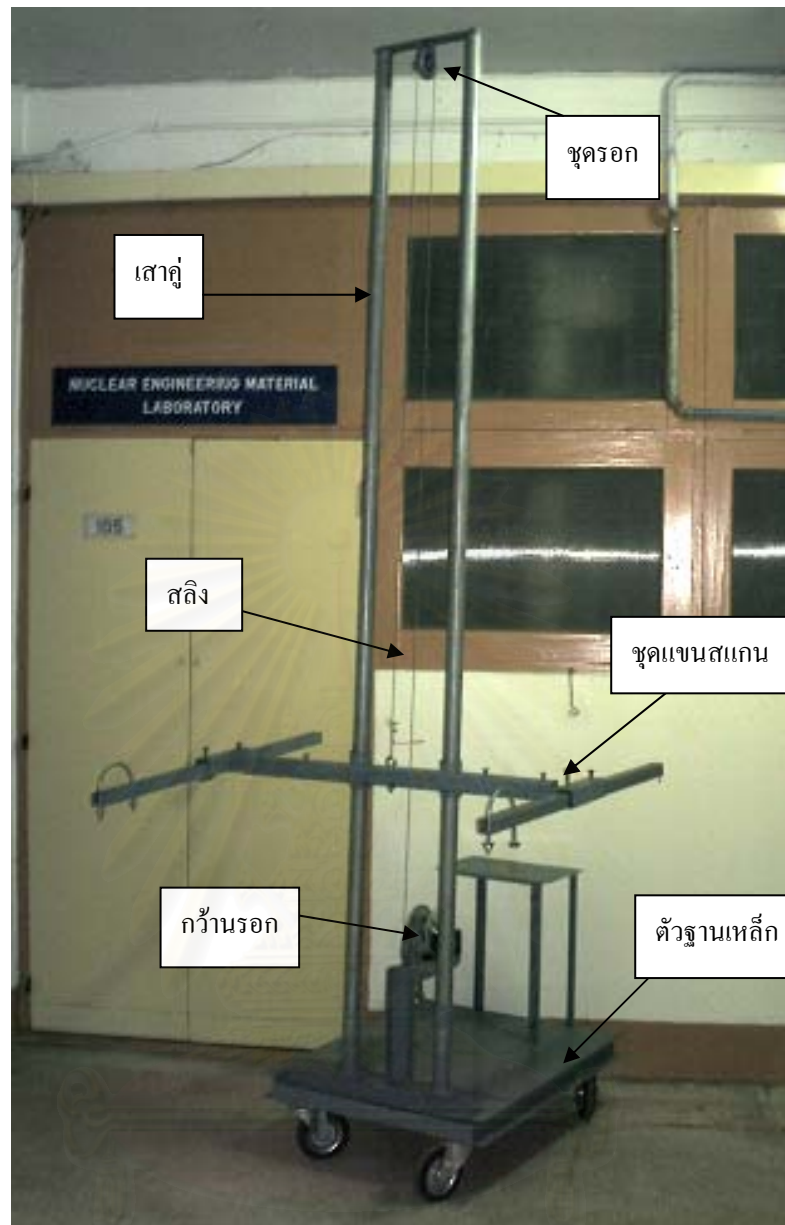
รูปที่ 3.12 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยเครื่อง HYDROTECER

### 3.2.8 การออกแบบและสร้างระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ

ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำโดยทำการควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของชุดวัด ด้วยการใส่ระบบรอกและสลิงเป็นตัวควบคุม ซึ่งผู้ใช้สามารถควบคุมได้ด้วยตัวเอง ระบบสามารถทำการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำที่อยู่ในถังเก็บที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 1 - 3 เมตร และมีความสูงตั้งแต่ 2 - 6 เมตรได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

องค์ประกอบของระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของชุดวัด มีดังนี้

1. ตัวฐานเหล็กขนาด 90 ซม. x 100 ซม. ติดล้อยาง สามารถเคลื่อนที่ได้คล่องตัวและล้อยางสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 100 กิโลกรัม
2. ชุดแขนสแกน ทำด้วยท่อนเหล็กสี่เหลี่ยม ที่สามารถปรับความกว้างให้เหมาะกับถังเก็บได้ตั้งแต่ขนาด 1 - 3 เมตร
3. เสาคู่ ทำจากท่อเหล็กกลมเพื่อใช้เป็นเสาให้ชุดแขนสแกนยึดในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และเป็นตัวควบคุมไม่ให้ชุดแขนสแกนแกว่ง ซึ่งสามารถใช้ได้กับถังเก็บที่มีความสูงตั้งแต่ 2-6 เมตร
4. ชุดรอก ประกอบด้วยรอก 2 ตัว เพื่อช่วยควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของชุดแขนสแกน และช่วยผ่อนแรงในการยกชุดแขนสแกน
5. กว้านรอก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของชุดแขนสแกน ซึ่งมีสเกลในหน่วยเซนติเมตร เพื่อช่วยให้การควบคุมชุดแขนสแกนทำได้ตามระยะที่ต้องการ
6. สลิง ใช้ในการยึดและดึงชุดแขนสแกนขึ้น-ลงซึ่งทำการควบคุมสลิงด้วยกว้านรอก



รูปที่ 3.13 ภาพระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำที่ได้พัฒนาขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการศึกษาการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอนโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียมและแคลิฟอร์เนียม-252

ตารางที่ 4.1 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียม

เงื่อนไข*	จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากแหล่งเฉลี่ย/1200 วินาที	จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนเฉลี่ยสุทธิ /1200 วินาที	
		วัดตัวอย่างน้ำมันดิบ	วัดตัวอย่างน้ำ
1	2713	6200	6126
2	4482	10076	9788
3	3430	8345	8170
4	32068	17576	17859
5	7875	15377	15280

- \*เงื่อนไขที่
- 1 มีต้นกำเนิดนิวตรอน
  - 2 มีต้นกำเนิดนิวตรอนและแผ่นพาราฟิน
  - 3 มีต้นกำเนิดนิวตรอน แผ่นพาราฟินและแผ่นแคดเมียม
  - 4 มีต้นกำเนิดนิวตรอนและโพลีเอทิลีนทรงกระบอก
  - 5 มีต้นกำเนิดนิวตรอน โพลีเอทิลีนทรงกระบอกและแผ่นแคดเมียม

ตารางที่ 4.2 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแคลิฟอร์เนียม-252

เงื่อนไข*	จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากแหล่งเฉลี่ย/600 วินาที	จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนเฉลี่ยสุทธิ /600 วินาที	
		วัดตัวอย่างน้ำมันดิบ	วัดตัวอย่างน้ำ
1	613912	1097664	1091003
2	539742	209021	209754

- \*เงื่อนไขที่
- 1 มีต้นกำเนิดนิวตรอน แผ่นพาราฟินและแผ่นแคดเมียม
  - 2 มีต้นกำเนิดนิวตรอน โพลีเอทิลีนทรงกระบอกและแผ่นแคดเมียม



จากการจัดระบบวัดในลักษณะที่ 1 เพื่อศึกษาการจัดระบบการนับเทอร์มัลนิวตรอน ซึ่งวางต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียม โดยที่ไม่มีวัสดุบังคับลำนิวตรอน ซึ่งจากตารางที่ 4.1 พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากแหล่งนี้มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดิบและน้ำ เนื่องจากในแหล่งนี้มีปริมาณความหนาแน่นของไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบน้อยกว่าในน้ำมันดิบและน้ำ ส่วนจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากน้ำมันดิบและน้ำผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากซึ่งตามทฤษฎีแล้วจำนวนนับนิวตรอนควรมีค่าที่แตกต่างกัน โดยที่จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนของน้ำควรมากกว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนของน้ำมันดิบ เนื่องจากในน้ำมีปริมาณความหนาแน่นของไฮโดรเจนมากกว่าในน้ำมันดิบ

เมื่อทดลองใช้แผ่นพาราฟินวางด้านล่างต้นกำเนิดนิวตรอนเพื่อเพิ่มความเข้มนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยแผ่นพาราฟินไปยังด้านบนที่มีภาชนะใส่ตัวอย่างอยู่ พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากการกระเจิงกลับหลังการเข้าชนตัวอย่างทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากพาราฟินที่ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนนิวตรอนและช่วยลดพลังงานนิวตรอนเร็วเพื่อให้มีนิวตรอนพลังงานต่ำตกกระทบตัวอย่างมากขึ้น ซึ่งน่าจะทำให้เทคนิคนี้มีความไวต่อการแยกแยะความแตกต่างระหว่างน้ำกับน้ำมันดิบได้ดีกว่าใช้นิวตรอนเร็วเพียงอย่างเดียว แต่จากการผลที่ได้ความแตกต่างของการนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากตัวอย่างน้ำมันดิบกับน้ำยังมีค่าที่ใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาช่วง  $x \pm 3\sigma$

และเมื่อใช้แคดเมียมแผ่นวางระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับหัววัดแล้ว จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างทั้งสามคือแหล่ง น้ำมันดิบและน้ำมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ไม่ได้มาจากการกระเจิงจากตัวอย่างโดยตรงเข้าหัววัดได้ถูกตัดออกแล้ว ดังนั้นจำนวนนับที่ได้จึงเป็นค่าที่ได้จากการกระเจิงจากตัวอย่างที่ต้องการ แต่เมื่อเปรียบเทียบจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างน้ำมันดิบกับน้ำแล้ว ค่าที่ได้ยังคงมีความใกล้เคียงกันอยู่ทำให้การหารอยต่อยังทำได้ไม่ชัดเจน

เมื่อจัดระบบวัดในลักษณะที่ 2 ทำให้ความเข้มของนิวตรอนเร็วที่เข้าชนตัวอย่างมีมากขึ้น และเข้าชนในพื้นที่ที่ต้องการ ได้มากขึ้น และผลที่ได้พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นและค่าเบคกราวด์ที่เกิดจากการกระเจิงของนิวตรอนจากบริเวณใกล้เคียงลดลงด้วย แต่จำนวนนับรังสีที่ได้จากตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำยังคงมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ และผลการวิจัยเมื่อใช้แผ่นแคดเมียมลดเทอร์มัลนิวตรอนส่วนเกินแล้วนั้น พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างทั้งหมดมีค่าลดลง ดังนั้นจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้เป็นจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงจากตัวอย่าง แต่จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำยังได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

และผลจากการวิจัยเมื่อใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแคลิฟอร์เนียม-252 พบว่านับเทอร์มัลนิวตรอนทำได้เร็วขึ้นและค่าที่ได้สูงกว่าการใช้ต้นกำเนิดอเมริกันเซียม-241/เบริลเลียม ทั้งนี้เนื่องจากแคลิฟอร์เนียม-252 มีค่าฟลักซ์ที่สูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งเป็นผลจากการใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกันเซียม-241/เบริลเลียม และแคลิฟอร์เนียม-252 นั้น พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากน้ำมันดิบและน้ำยังไม่แสดงความแตกต่างกันให้เห็นอย่างชัดเจนทำให้ไม่สามารถหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้

#### 4.2 ผลการใช้เครื่อง HYDROTECTOR ของบริษัท Boart longyear ในการวัดเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับ

ตารางที่ 4.3 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนโดยเครื่อง HYDROTECTOR

ตัวอย่าง	อุณหภูมิโดยประมาณ 25°C		อุณหภูมิโดยประมาณ 27°C		อุณหภูมิโดยประมาณ 30°C	
	จำนวนนับ/ 10 วินาที	เฉลี่ย	จำนวนนับ/ 10 วินาที	เฉลี่ย	จำนวนนับ/ 10 วินาที	เฉลี่ย
น้ำมันดิบ	11460		10980		10812	
	10728	10640	10863	11091	10920	10837
	9732		11430		10780	
น้ำ	11658		11484		11340	
	11166	10950	11466	11426	10944	11152
	10026		11328		11172	

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเครื่อง HYDROTECTOR นับเทอร์มัลนิวตรอนที่กระเจิงกลับจากตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำได้ผลดังนี้ จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างน้ำมันดิบมีค่าน้อยกว่าจำนวนนับจากน้ำอยู่เล็กน้อยและเมื่อพิจารณาช่วง  $\pm 3\sigma$  ของทั้ง 2 ตัวอย่างพบว่าจำนวนนับยังมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ และทำการวิจัยที่อุณหภูมิต่างกัน เพื่อศึกษาการนับเทอร์มัลนิวตรอนเมื่อน้ำมันดิบอยู่ในลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำมันดิบในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกับอุณหภูมิของน้ำมันดิบในถังเก็บ ณ หลุมเจาะคือ ในห้องปฏิบัติการมีอุณหภูมิโดยประมาณ 25 องศาเซลเซียสส่วนในถังเก็บ ณ หลุมเจาะมีอุณหภูมิโดยประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส

ในการวิจัยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสน้ำมันดิบจะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดกว่า น้ำมันดิบที่อุณหภูมิโดยประมาณ 27 และ 30 องศาเซลเซียสอยู่เล็กน้อย ซึ่งผลจากการวิจัยที่ได้ จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างทั้ง 2 ยังคงมีความใกล้เคียงกันอยู่ทั้งนี้เนื่องจาก องค์ประกอบของน้ำมันดิบและน้ำยังคงเหมือนเดิมคือมีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบเท่าเดิม และ ตัวอย่างทั้ง 2 ยังเป็นของเหลวอยู่แม้ว่าน้ำมันดิบจะมีปริมาตรเพิ่มเล็กน้อย ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่ ถึงจุดเปลี่ยนสถานะ โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบก็ยังเกาะกันด้วยพันธะเดิมและยังอยู่ใกล้กัน ทำให้ ปริมาณความหนาแน่นของไฮโดรเจนยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ ได้จึงไม่แสดงความแตกต่างกันเมื่ออุณหภูมิต่างกันไม่มากดังผลการวิจัยตารางที่ 4.3

และจากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันดิบจากรายงานการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันดิบ และก๊าซ ของบริษัท ปตท.สผ. จำกัด (มหาชน) โครงการสุพรรณบุรี (ภาคผนวก ข.) พบว่า องค์ประกอบของน้ำมันดิบมีไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลสายสั้นเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ ทำให้ ความหนาแน่นของไฮโดรเจนในน้ำมันดิบมีค่าไม่แตกต่างจากน้ำมันมากนัก เนื่องจากไฮโดรคาร์บอน สายสั้นมีโมเลกุลไม่ใหญ่มาก โมเลกุลจึงมีโอกาสอยู่ใกล้กันทำให้ความหนาแน่นของไฮโดรเจนมี โอกาสใกล้เคียงกับน้ำได้ ทำให้การนับเทอร์มัลนิวตรอนได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนในกรณีที่มีน้ำมี ความหนาแน่นของไฮโดรเจนมากกว่าน้ำมันดิบ โอกาสที่จะเกิดเทอร์มัลนิวตรอนจึงมีมากกว่าแต่ เมื่อพิจารณาจากจำนวนครั้งที่นิวตรอนชนกับธาตุและสารประกอบบางชนิดในการลดพลังงานจาก 1 MeV ลงเหลือ 0.0253 eV ในตารางที่ 2.2 พบว่าการเข้าชนอะตอมออกซิเจนของนิวตรอนเท่ากับ 146 ครั้ง ส่วนการเข้าชนอะตอมคาร์บอนเท่ากับ 111 ครั้งจากข้อมูลดังกล่าวนี้ จะเห็นว่า การชน อะตอมคาร์บอนจำนวนครั้งน้อยกว่าการชนอะตอมออกซิเจน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะทำให้จำนวน นับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน

### 4.3 ผลการศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน

ตารางที่ 4.4 ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการส่งผ่าน

เงื่อนไข*	จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนเฉลี่ยสุทธิ /1200 วินาที		
	แบลงค์	ตัวอย่างน้ำมันดิบ	ตัวอย่างน้ำ
1	4848	12064	11933
2	9751	9001	8996
3	8724	9413	9093
4	22519	6047	5472
5	16172	5039	4655
6	7294	5086	4787

- \*เงื่อนไขที่
- 1 มีต้นกำเนิดนิวตรอน
  - 2 มีต้นกำเนิดนิวตรอนและแผ่นพาราฟิน
  - 3 มีต้นกำเนิดนิวตรอน แผ่นพาราฟินและแผ่นแคดเมียม
  - 4 มีต้นกำเนิดนิวตรอนและโพลีเอทิลีนทรงกระบอก
  - 5 มีต้นกำเนิดนิวตรอน โพลีเอทิลีนทรงกระบอกและแผ่นพาราฟิน
  - 6 มีต้นกำเนิดนิวตรอน โพลีเอทิลีนทรงกระบอก แผ่นพาราฟินและแผ่นแคดเมียม

จากการจัดระบบวัดในลักษณะที่ 1 และจากตารางที่ 4.4 พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากแบลงค์มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดิบและน้ำ เนื่องจากแบลงค์มีปริมาณความหนาแน่นของไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบมีน้อยกว่าในน้ำมันดิบและน้ำ ส่วนจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากน้ำมันดิบและน้ำผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันซึ่งตามทฤษฎีแล้วจำนวนนับนิวตรอนควรมีค่าที่แตกต่างกันโดยที่จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนของน้ำควรมากกว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนของน้ำมันดิบเนื่องจากในน้ำมีปริมาณความหนาแน่นของไฮโดรเจนมากกว่าในน้ำมันดิบ

จากการจัดระบบวัดให้นิวตรอนเร็วเข้าชนแผ่นพาราฟินด้านหน้าต้นกำเนิดนิวตรอนเพื่อให้นิวตรอนเร็วลดพลังงานลง ผลการวัดแบลงค์พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนมีค่าสูง แต่เมื่อตัวอย่างเป็นน้ำมันดิบและน้ำ จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้มีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากพาราฟินถูกตัวอย่างทำหน้าที่เป็นตัวลดพลังงานอีกครั้ง (Moderator) จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจึงลดลง แต่จำนวนนับจากตัวอย่างทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ และเมื่อนำแผ่นแคดเมียมกั้นระหว่างแผ่นพาราฟินกับภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อตัดนิวตรอนพลังงานต่ำทิ้งไปก่อนส่งผ่านตัวอย่าง พบว่า จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้มีความใกล้เคียงกันอยู่

เมื่อจัดระบบวัดในลักษณะที่ 2 และผลการวิจัยดังตารางที่ 4.4 ที่มีการบังคับลำนิวตรอนด้วย โพลีเอทีลีนทรงกระบอกเพื่อเพิ่มความเข้มนิวตรอนให้มากขึ้น เมื่อพิจารณาช่วง  $x \pm 3\sigma$  ของ น้ำมันดิบกับน้ำทั้ง 2 ตัวอย่างพบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนยังมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ แต่เริ่มมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อนำแผ่นพาราฟินวางในระบบทำให้ปริมาณเทอร์มัลนิวตรอนที่ทะลุผ่านไป ยังหัววัดลดลง ส่งผลให้จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนจากทั้ง 3 ตัวอย่างลดลงด้วย ส่วนผลที่ได้จากการนำแคดเมียมแผ่นวางกั้นเทอร์มัลนิวตรอนจากพาราฟิน พบว่าผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจาก แบลงก์ยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดิบและน้ำ และผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากทั้ง 2 ตัวอย่างคือ น้ำมันดิบและน้ำที่ได้เกิดในปริมาณที่ใกล้เคียงกับผลขั้นตอนที่แล้ว เนื่องจากแผ่นแคดเมียมจับ เทอร์มัลนิวตรอนที่เกิดจากพาราฟินเท่านั้น นิวตรอนเร็วยังสามารถเข้าชนกับตัวอย่างได้เหมือนเดิม ดังนั้นการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำค่าที่ได้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ยังไม่แยกกันอย่างเห็นได้ชัด

และจากเทคนิคนี้จะเห็นว่าตัวอย่างเองจะทำหน้าที่เป็นตัวลดพลังงาน(moderator) ทำให้ เทอร์มัลนิวตรอนที่จะเข้าสู่หัววัดมีค่าลดลง ยิ่งถ้ามีปริมาณตัวอย่างมากขึ้นเทอร์มัลนิวตรอนก็จะเข้าสู่หัววัดลดลงมากขึ้น

#### 4.4 ผลการศึกษาการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการกระเจิงกลับโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม)

ตัวอย่าง	จำนวนนับรังสี /60 วินาที		
	จำนวนนับรังสี	จำนวนนับรังสีเฉลี่ย	จำนวนนับรังสีสุทธิ
แบลงก์	25139	25084	
	25051		
	25061		
น้ำมันดิบ	38421	38334	13250
	38342		
	38238		
น้ำ	38484	38725	13642
	39086		
	38606		

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการกระเจิงกลับโดยหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี

NE-905

ตัวอย่าง	จำนวนนับรังสี /60 วินาที		
	จำนวนนับรังสี	จำนวนนับรังสีเฉลี่ย	จำนวนนับรังสีสุทธิ
แบลงค์	12988	13236	
	13171		
	13549		
น้ำมันดิบ	13279	13564	328
	13590		
	13824		
น้ำ	13562	13582	346
	13445		
	13739		

จากระบบการวัดที่จัดขึ้นสามารถวัดรังสีแกมมาที่กระเจิงกลับจากตัวอย่างต่างๆ ได้ เนื่องจากรังสีแกมมาทำอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมพ์ตันกับตัวอย่าง ผลการวิจัยจากตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าจำนวนนับรังสีแกมมาจากแบลงค์มีค่าสูงมาก ทั้งนี้ น่าจะเป็นจำนวนนับรังสีจากการกระเจิงกลับของรังสีแกมมาเมื่อเข้าชนแผ่นเหล็ก ซึ่งแผ่นเหล็กที่ใช้มีความหนาประมาณ 6 มม. ทำให้รังสีแกมมาที่วัดได้มีค่าสูงมาก

จากผลการนับรังสีจากการวัดกับตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำ ทั้งสองหัววัดพบว่าได้ค่าสูงกว่าค่าแบลงค์และเมื่อทำการคำนวณจำนวนนับรังสีสุทธิแล้วพบว่า จำนวนนับรังสีจากตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันมากและอยู่ในช่วง  $x \pm 3\sigma$  ทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ดีพอ และผลการการนับรังสีจากหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) มีค่าสูงกว่าหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905 ทั้งนี้เนื่องจากหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) มีขนาดพื้นที่หน้าตัดของผลึกใหญ่กว่า

และเนื่องจากการกระเจิงกลับของรังสีแกมมานั้นเป็นการกระเจิงจากผิวของตัวอย่าง ดังนั้น ถ้าน้ำมันดิบมีองค์ประกอบเป็นไฮโดรคาร์บอนสายสั้น โอกาสที่รังสีแกมมาจะเข้าชนอะตอมของไฮโดรเจนก็จะยิ่งมากขึ้น เช่นเดียวกันกับการวัดตัวอย่างน้ำ จึงทำให้รังสีแกมมาที่กระเจิงกลับจากทั้ง 2 ตัวอย่างเป็นผลจากการเข้าชนอะตอมของไฮโดรเจนเหมือนกัน และจากค่าแบลงค์ที่สูงมากนั้น เป็นผลจากการกระเจิงกลับของรังสีแกมมาในการชนแผ่นเหล็กโดยส่วนใหญ่

#### 4.5 ผลการศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการส่งผ่านโดยหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905

จำนวนนับรังสี/ 60 วินาที				
ครั้งที่	แบคกราวด์	น้ำมันดิบ	น้ำ	แบลงค์
1	1686	18258	14060	96843
2	1706	18473	14345	96469
3	1652	18604	13847	96759
4	1637	18727	14021	97494
5	1616	18761	14166	96503
6	1645	18685	14096	96999
7	1712	18500	13969	96654
8	1634	18700	14068	96810
9	1688	18588	14172	96143
10	1673	18755	13865	96870
เฉลี่ย	1665	18605	14061	96754
รังสีสุทธิ		16940	12396	95090

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดรังสีแกมมาจากการส่งผ่านโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม)

จำนวนนับรังสี/ 60 วินาที				
ครั้งที่	แบคกราวด์	น้ำมันดิบ	น้ำ	แบลงค์
1	73043	141696	102026	544087
2	73269	141587	102594	544793
3	73006	141310	102208	544080
4	73858	142279	104274	544621
5	73252	142301	104189	544935
6	73187	141751	103568	543768
7	73169	141654	103583	544900
8	71133	141514	103860	545670
9	73022	141350	103662	544746
10	73300	141357	103519	545618
เฉลี่ย	73024	141680	103348	544722
รังสีสุทธิ		68656	30324	471698

จากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าการนับรังสีแกมมาจากการส่งผ่านด้วยน้ำมันดิบ น้ำ และแบลงค์ ผลที่ได้แตกต่างกันเมื่อพิจารณาช่วง  $x \pm 3\sigma$  โดยที่จำนวนนับรังสีแกมมาจากน้ำมันดิบมีค่ามากกว่าจำนวนนับรังสีแกมมาจากน้ำ เนื่องจากผลของความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ต่างกันของน้ำมันดิบและน้ำ จึงทำให้รังสีแกมมาสามารถทะลุผ่านได้มากกว่า

และเมื่อพิจารณาผลจากการใช้หัววัดทั้ง 2 แบบ พบว่าจำนวนนับรังสีจากหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) ให้จำนวนนับรังสีที่ได้จากน้ำมันดิบกับน้ำแตกต่างกันมากกว่าค่าที่ได้จากหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905 ทั้งนี้เนื่องจากการนับรังสีด้วยหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) นั้นได้เลือกวัดเฉพาะช่วงรังสี

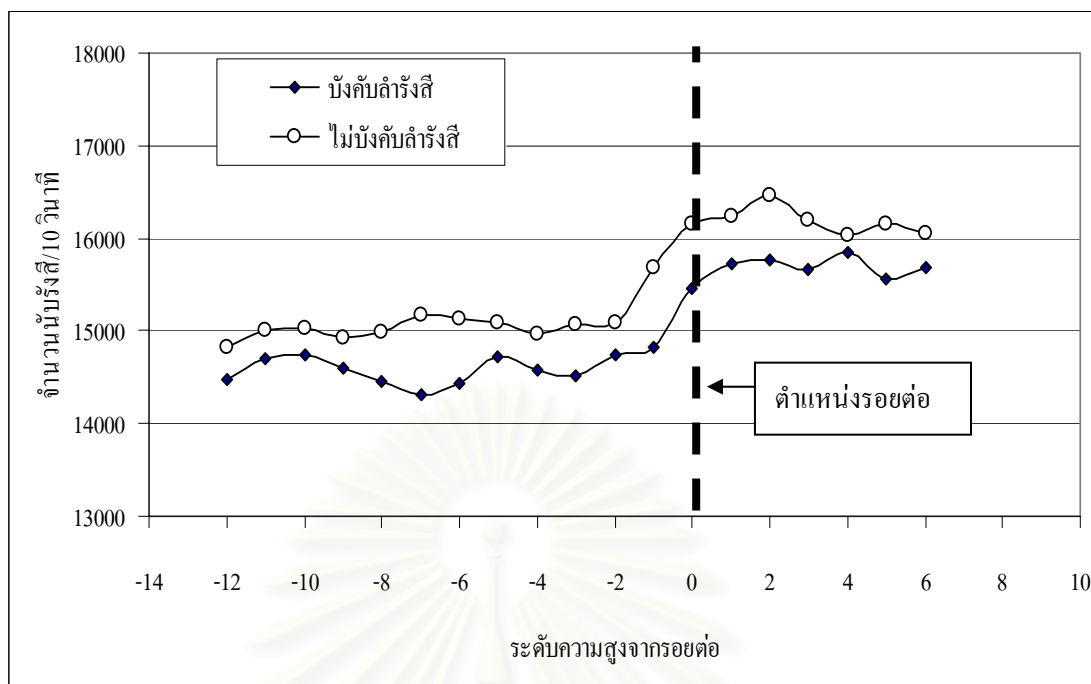


ทะลุผ่านโดยไม่เกิดอันตรกิริยาใด ๆ เท่านั้น ไม่นับรังสีจากช่วงคอมพ์ตัน ส่วนในการนับด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905 นั้นทำการนับรังสีแกมมาทั้งหมด ทั้งช่วงคอมพ์ตันและช่วงรังสีทะลุผ่านทำให้จำนวนนับรังสีที่ได้ระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากกว่า แต่ผลการนับรังสีที่ได้จากทั้ง 2 หัววัดสามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้อย่างชัดเจน

#### 4.6 ผลการทดสอบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.9 ผลการนับรังสีในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการโดยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

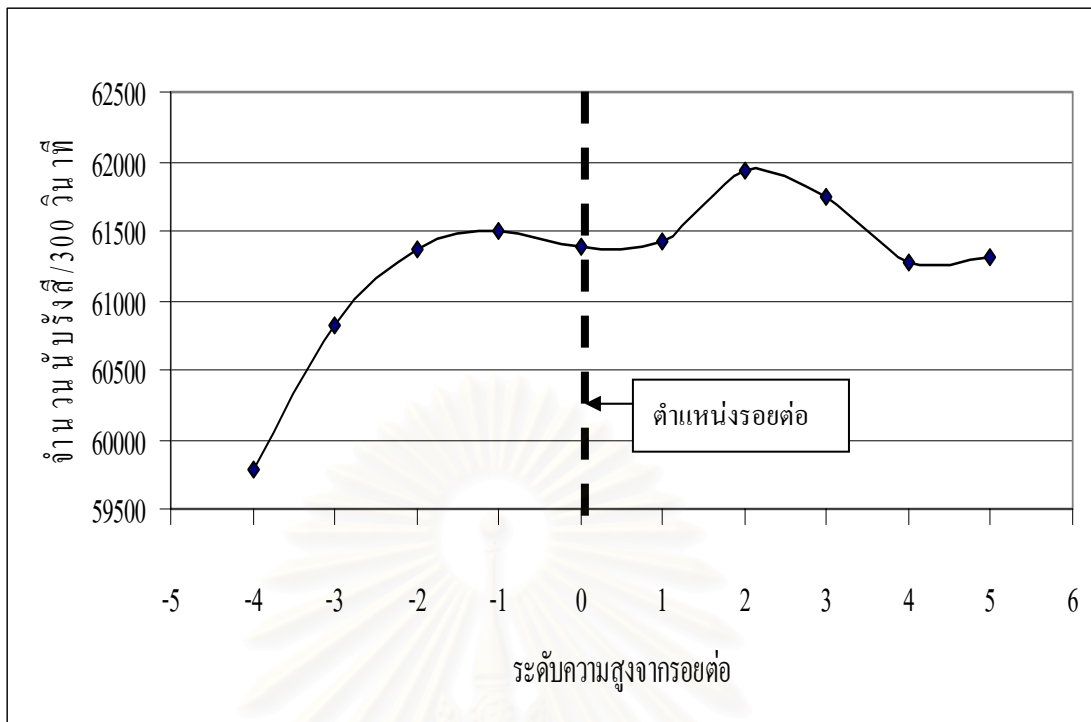
ระดับความสูงจากรอยต่อ (ซม.)	จำนวนนับรังสี/10 วินาที	
	การบังค้ำลำรังสี	ไม่บังค้ำลำรังสี
-12	14468	14833
-11	14708	15011
-10	14735	15019
-9	14597	14929
-8	14463	14984
-7	14311	15182
-6	14439	15133
-5	14725	15096
-4	14585	14976
-3	14515	15060
-2	14735	15084
-1	14820	15675
0 (ตำแหน่งรอยต่อ)	15464	16158
1	15721	16230
2	15766	16465
3	15662	16193
4	15841	16043
5	15552	16165
6	15692	16049



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการหาช่วงรอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.10 ผลการนับรังสีในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยเทคนิคการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอน

ระดับความสูงจากรอยต่อ(ซม.)	ค่าการนับรังสี/300 วินาที
-4	59775
-3	60820
-2	61371
-1	61500
0 (ตำแหน่งรอยต่อ)	61388
1	61425
2	61943
3	61749
4	61282
5	61311



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการโดยเทคนิคการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอน

จากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.1 พบว่าการวัดรังสีแกมมาจากการส่งผ่านตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำนั้น ค่าที่วัดได้มีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณารอยต่อจากรูปที่ 4.1 พบว่าเส้นกราฟมีความชันเพิ่มมากขึ้นในช่วงระดับความสูงเท่ากับศูนย์และเมื่อเปรียบเทียบกับรอยต่อที่ได้จากการมองกระจกใสด้านข้างของภาชนะบรรจุตัวอย่างพบว่าวิธีการส่งผ่านรังสีแกมมานี้สามารถหารอยต่อได้ถูกต้อง โดยช่วงบนของกราฟเป็นจำนวนนับรังสีแกมมาจากน้ำมันดิบและช่วงล่างของกราฟเป็นจำนวนนับรังสีแกมมาจากน้ำ ซึ่งช่วงกราฟทั้งสองมีความแตกต่างกันมาก

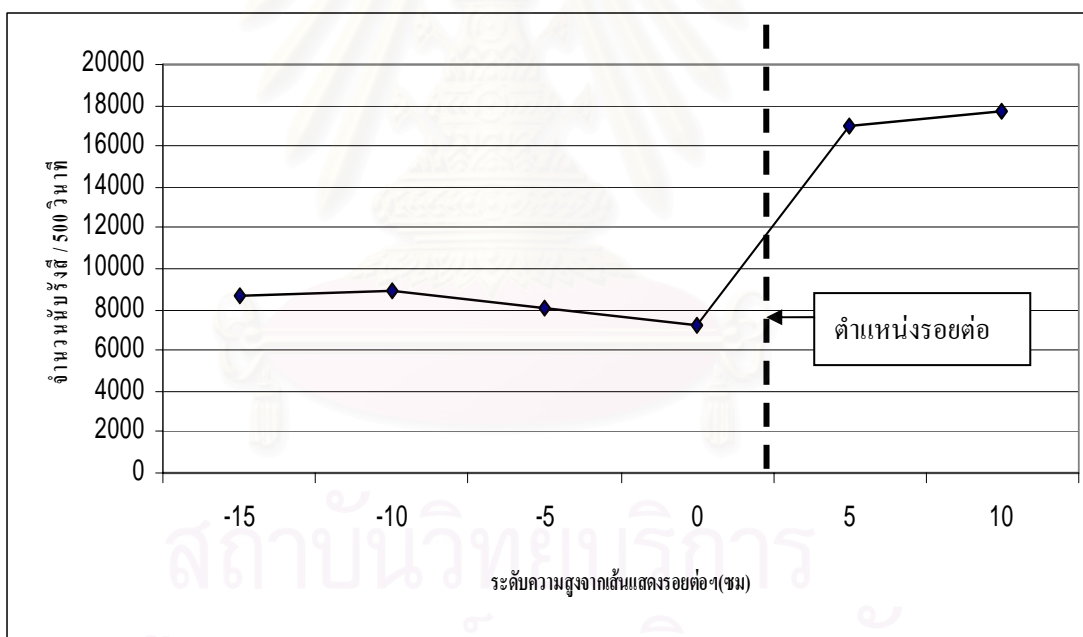
และจากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.2 พบว่าการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับนั้น ค่าที่วัดได้จากตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการพิจารณาช่วงรอยต่อจากรูปที่ 4.2 เทียบกับรอยต่อจากกระจกใสด้านข้างของภาชนะบรรจุตัวอย่างพบว่าผลที่ได้จากรูปแสดงความชัดเจนของรอยต่อได้ไม่ดีพอ

ดังนั้นการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาจึงเป็นเทคนิคที่งานวิจัยนี้เลือกนำไปใช้ในการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ

#### 4.7 ผลการทดสอบระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนาม

ตารางที่ 4.11 ผลการนับรังสีในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

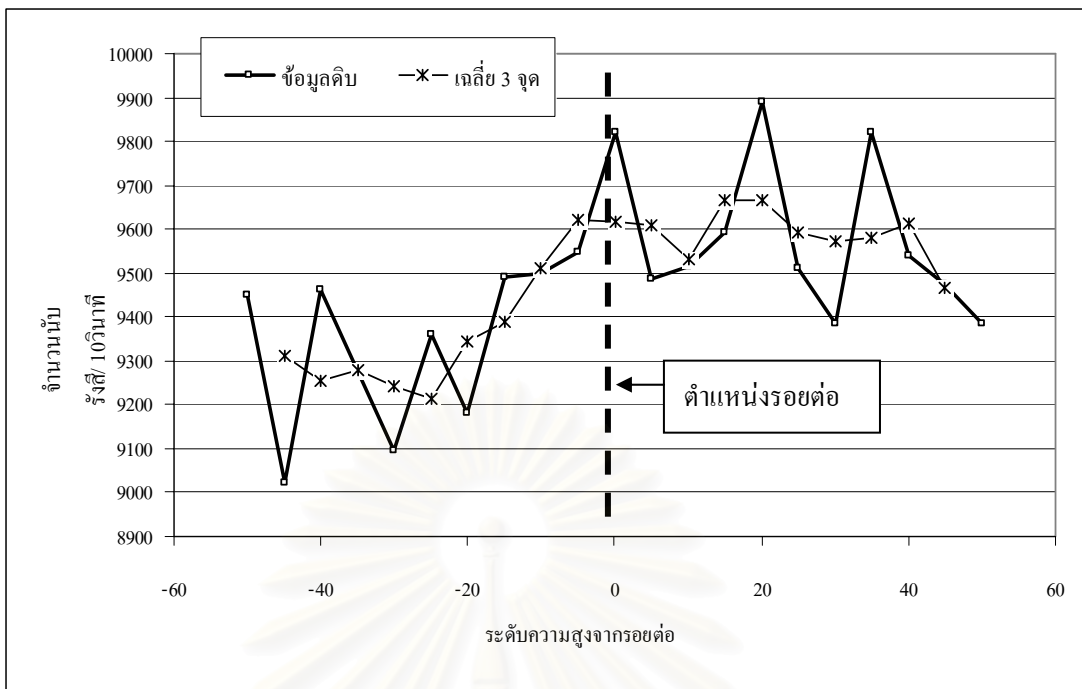
ระดับความสูงจากรอยต่อ(ซม.)	จำนวนนับรังสี/ 500 วินาที
10	17662
5	17024
0 (ตำแหน่งรอยต่อ)	7190
-5	8076
-10	8898
-15	8631



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.12 ผลการนับรังสีในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยใช้  
เครื่อง HYDROTECTOR

ระยะความสูงจากรอยต่อ (ซม.)	จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอน/10 วินาที
50	9384
45	9474
40	9540
35	9822
30	9384
25	9510
20	9888
15	9594
10	9516
5	9486
0 (ตำแหน่งรอยต่อ)	9822
-5	9546
-10	9498
-15	9492
-20	9180
-25	9360
-30	9096
-35	9276
-40	9462
-45	9024
-50	9450



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนามโดยใช้เครื่อง HYDROTECTOR

จากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.3 พบว่าการวัดรังสีแกมมาจากการส่งผ่านตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำ ค่าที่วัดได้มีความแตกต่างกัน โดยที่จำนวนนับรังสีแกมมาจากน้ำมันดิบมีค่ามากกว่าจำนวนนับรังสีแกมมาจากน้ำ และเมื่อพิจารณาจากรูปกราฟเทียบกับรอยต่อที่มองเห็นจากกระจกด้านข้างถึงเก็บแล้วนั้น พบว่าระบบวัดนี้สามารถบอกระดับของรอยต่อได้ใกล้เคียงกับรอยต่อจริง

และจากผลการวัดจากเครื่อง HYDROTECTOR ดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.4 พบว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนในแต่ละจุดเมื่อพิจารณาช่วง  $x \pm 3\sigma$  แล้วนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จากรูปที่ได้ จะเห็นว่ามีความไวที่สามารถบอกจุดรอยต่อได้บ้าง เมื่อทำการพิจารณาจุดต่อจุดแล้ววิธีนี้อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ เพราะค่าที่ได้ไม่มีความแน่นอนของข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้นลงมาก แต่เมื่อทำการเฉลี่ย 3 จุดแล้วเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.5 พบว่าแนวโน้มการหารอยต่อมีความชัดเจนขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำด้วยวิธีทั้งสองแล้วพบว่าการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถตรวจหารอยต่อได้สะดวก รวดเร็ว และให้ผลการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ถูกต้อง จึงเป็นเทคนิคที่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้จริง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการศึกษาเทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอน โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน อเมริเชียม-241/เบริลเลียมและแคลิฟอร์เนียม-252 สรุปได้ว่า ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากตัวอย่างน้ำมันดิบกับน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาช่วง  $x \pm 3\sigma$  ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ชัดเจน ทำให้การหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำทำได้ไม่ดี และจากการเพิ่มความเข้มของนิวตรอนพลังงานต่ำที่เข้าชนตัวอย่างโดยใช้พาราฟินหน่วงและกระเจิงนิวตรอน ยังพบว่าค่าจำนวนนับ เทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากตัวอย่างทั้ง 2 ยังคงให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน อเมริเชียม-241/เบริลเลียม และแคลิฟอร์เนียม-252 ที่มีพลังงานต้นกำเนิดนิวตรอนเร็วเฉลี่ยต่างกัน(คือ 4.5 และ 2 MeV ตามลำดับ) ผลที่ได้คือการนับเทอร์มัลนิวตรอนยังมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ชัดเจน การนำไปใช้งานในทางปฏิบัติจริงอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

5.1.2 จากการใช้เครื่อง HYDROTECTER ในการวัดเทอร์มัลนิวตรอนกระเจิงกลับซึ่งเป็นเครื่องวัดที่ใช้ในการวัดหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำและหาความชื้นในแผ่นฉนวนหุ้มท่อในงานอุตสาหกรรมจริงสรุปได้ว่าการวิจัยในห้องปฏิบัติการ เมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จำนวนนับที่ได้ระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ มีค่าใกล้เคียงกันไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ชัดเจน และเมื่อทำการนับเทอร์มัลนิวตรอนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจำนวนนับก็ให้ผลเหมือนเดิมคือไม่สามารถแยกความแตกต่างกันได้อย่างชัดเจนมีเพียงลักษณะของน้ำมันดิบที่อ่อนตัวและเหลวตัวได้มากขึ้นเท่านั้น เพราะฉะนั้นการนับเทอร์มัลนิวตรอนจึงขึ้นกับความหนาแน่นของไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบ มากกว่าสถานะความเหลวตัวของน้ำมันดิบที่เกิดจากผลของอุณหภูมิ

และจากรายงานการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันดิบและก๊าซ ของบริษัท ปตท.สผ. จำกัด (มหาชน) โครงการสุพรรณบุรี นั้นพบว่า องค์ประกอบของน้ำมันดิบเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก ซึ่งมีโอกาสที่ความหนาแน่นของไฮโดรเจนจะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำได้ ทำให้การใช้เทคนิคการวัดเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับ ไม่สามารถนำมาใช้หารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำจากแหล่งผลิตปิโตรเลียมนี้ให้ได้ผลที่ดีพอ

5.1.3 จากการศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน สรุปได้ว่าจำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอน จากตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำยังมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาช่วง  $x \pm 3\sigma$  ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน และผลที่ได้ไม่ขึ้นกับช่วงของนิวตรอนที่เข้าชนตัวอย่างเพราะจากการเพิ่มความเข้มของนิวตรอนพลังงานต่ำที่เข้าชนตัวอย่างโดยการใช้แผ่นพาราฟินหน่วงพลังงานและกระเจิงนิวตรอน จำนวนนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากตัวอย่างสอง ยังคงให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และในงานวิจัยนี้พบว่าการใช้หลักการส่งผ่านนิวตรอนไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจหารอยต่อ เนื่องจากหัววัดและต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่คนละด้านของตัวอย่าง เมื่อถึงเก็บมีความกว้างมากปริมาณตัวอย่างก็มากด้วย ทำให้การนับเทอร์มัลนิวตรอนที่ได้จากตัวอย่างน้อยลงมาก เพราะจำนวนครั้งในการเข้าชนไฮโดรเจนอะตอมของนิวตรอนจะมากขึ้นก่อนที่จะเข้าหัววัด และตัวอย่างเองจะทำหน้าที่เป็นตัวกระเจิงเทอร์มัลนิวตรอนด้วย ส่งผลให้มีเทอร์มัลนิวตรอนเข้าหัววัดน้อยลง

5.1.4 จากการศึกษาการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา สรุปได้ว่าผลการวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดแก้วเรืองรังสี NE-905 ได้จำนวนนับรังสีจากทั้งสามตัวอย่างมีค่าต่ำมากและมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนผลจากหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเซียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) มีค่าจำนวนนับรังสีจากน้ำมันดิบและน้ำมีค่าสูงกว่ามาก แต่ค่าจำนวนนับรังสีจากน้ำมันดิบและน้ำมีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน ซึ่งเป็นเพราะแผ่นเหล็กมีความหนาประมาณ 6 มม. การกระเจิงแบบคอมพ์ตันจึงมีความเข้มใกล้จุดอิมพัลส์แล้ว จึงไม่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเลขอะตอมของตัวอย่างที่อยู่ลึกลงไป

5.1.5 จากการศึกษาการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา สรุปได้ว่าผลของความหนาแน่นที่ต่างกันของน้ำมันดิบที่มีความหนาแน่นโดยประมาณ  $0.8-0.9 \text{ g/cm}^3$  กับน้ำที่มีความหนาแน่นเท่ากับประมาณ  $1 \text{ g/cm}^3$  และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของน้ำมันดิบกับน้ำที่ต่างกันส่งผลให้ค่าจำนวนนับรังสีแกมมาที่ได้เมื่อพิจารณาช่วง  $x \pm 3\sigma$  ทั้งสองตัวอย่างมีความแตกต่างกัน และจากการวิจัยโดยใช้หัววัดรังสีแกมมาต่างกันผลที่ได้จากทั้ง 2 หัววัดยังให้ผลที่คล้ายกัน คือ การวัดตัวอย่างน้ำมันดิบให้จำนวนนับรังสีสูงกว่าจำนวนนับจากตัวอย่างน้ำ เป็นการยืนยันได้ว่าการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถนำมาใช้ในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ดี และเนื่องจากรังสีแกมมาไม่มีประจุ จึงทำให้รังสีแกมมามีความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านตัวกลางสูง ในกรณีที่ถึงเก็บมีความกว้างมากก็ยังสามารถวัดรังสีแกมมาได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้การใช้รังสีแกมมาจึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บ มากกว่าการใช้เทคนิคนิวเคลียร์อื่น ๆ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยร่วมด้วย



5.1.6 จากการศึกษาการทดสอบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในห้องปฏิบัติการ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองจากทั้งสองวิธีสรุปได้ว่า เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถใช้ตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้ผลที่ชัดเจน และสามารถระบุตำแหน่งของรอยต่อได้อย่างชัดเจนกว่าเทคนิคการกระเจิงกลับของเทอร์มัลนิวตรอน

5.1.7 จากการศึกษาการทดสอบระบบการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในภาคสนาม สรุปได้ว่า ระบบตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำในถังเก็บที่ใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถทำการตรวจหาตำแหน่งของรอยต่อได้จริง และให้ผลการตรวจหารอยต่อที่ชัดเจน สามารถบอกตำแหน่งได้อย่างดี และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการวัดโดยใช้เครื่อง HYDROTECTER แสดงให้เห็นว่าผลการตรวจหารอยต่อ โดยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาให้ผลที่ชัดเจนกว่า สามารถแสดงตำแหน่งรอยต่อได้ดีกว่า ดังนั้นการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์นี้ทำให้การตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำทำได้สะดวก รวดเร็ว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการพัฒนา ระบบการตรวจหารอยต่อ โดยพัฒนาระบบควบคุมการขึ้น-ลงของชุดวัด ควรมีการพัฒนาให้สามารถบังคับการขึ้น-ลงได้อย่างอัตโนมัติเช่น การใช้ระบบนิวแมติก (pneumatic) หรือระบบมอเตอร์เข้าช่วยเพื่อให้การทำงานของระบบวัดทำได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำมากขึ้น

5.2.2 ในการตรวจหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมานั้น ควรมีการพัฒนา ระบบการวัดให้สามารถวัดได้แบบทันทีทันใด (Real Time) โดยการติดตั้งชุดวัดเข้ากับถังเก็บให้สามารถทำการตรวจหารอยต่อได้ตลอดเวลา ซึ่งอาจทำในลักษณะของการหาระดับของเหลวในถังเก็บโดยใช้หัววัดแบบเรียงแถว (line detector) และ/หรือต้นกำเนิดรังสีแบบแท่งยาว (line source) โดยข้อมูลการตรวจหารอยต่อทำการส่งผ่านจากเครื่องวัดเข้าสู่อุปกรณ์แสดงผลโดยตรงและแสดงผลออกมาทันที เช่นการส่งผ่านข้อมูลจากเครื่องวัดรังสีเข้าสู่คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เพื่อให้การวัดทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น

## รายการอ้างอิง

- [1] พรรรัตน์ ศรีสวัสดิ์. การหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่ำโดยวิธีส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
- [2] ศราวุธ ใจเย็น. การพัฒนาต้นแบบระบบการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนโดยใช้แคลิฟอร์เนียม-252. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [3] ประวิทย์ เจริญกิจสุพัฒน์. การวัดความชื้นของแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนเร็วโดยใช้หัววัดแบบแก้วเรืองรังสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
- [4] เฉลิมเดช เฉลิมลาภอักษร. การวัดปริมาณความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดโดยเทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530
- [5] สุวิทย์ ปุณณชัชยะ .การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์. เอกสารการสอนวิชา 2111606 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] สัมพันธ์ วงศ์นาวา. เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

- ผลการศึกษาการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริกัน-241/เบริลเลียม
- ผลการศึกษาการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแคลิฟอร์เนีย-252
- ผลการศึกษาการนับรังสีเทอร์มัลนิวตรอนโดยเครื่อง HYDROTECTER ของบริษัท Boart longyear
- ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการส่งผ่าน
- ผลการศึกษาการวัดรังสีแกมมาจากการกระเจิงกลับจากโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม)
- ผลการศึกษาการกระเจิงกลับโดยหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาระดับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน

อเมอริเซียม-241/เบริลเลียม

**ตารางชั้นตอนที่ 1**

สารตัวอย่าง	จำนวน นับรังสี โดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้ กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคกราวด์	2702	2713		0	245	
	2668			364		
	2770			370		
น้ำมันดิบ	8890	8913	6200	6312	6239	5994
	8843			6072		
	9007			6333		
น้ำ	8875	8839	6126	5915	5909	5665
	8788			5823		
	8855			5990		

**ตารางชั้นตอนที่ 2**

สารตัวอย่าง	จำนวน นับรังสี โดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้ กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคกราวด์	4531	4482		1571	1553	
	4433			1568		
	4481			1521		
น้ำมันดิบ	14592	14558	10076	11059	10961	9408
	14660			11413		
	14422			10411		
น้ำ	14283	14269	9788	11132	10736	9183
	14298			10765		
	14227			10312		

**ตารางชั้นตอนที่ 3**

สารตัวอย่าง	จำนวน นับรังสี โดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้ กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคกราวด์	3406	3430		1114	1202	
	3430			1138		
	3454			1353		
น้ำมันดิบ	11900	11775	8345	9028	9035	7833
	11688			9110		
	11736			8967		
น้ำ	11615	11600	8170	8559	8481	7279
	11622			8471		
	11564			8413		

## ตารางชั้นตอนที่ 4

สารตัวอย่าง	จำนวนนับ รังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคคราเวต์	32224	32068		25732	25253	
	31908			24913		
	32073			25114		
น้ำมันดิบ	50661	49645	17576	43566	41519	16266
	48297			39903		
	49976			41087		
น้ำ	50319	49927	17859	43316	42723	17470
	49682			43004		
	49780			41850		

## ตารางชั้นตอนที่ 5

สารตัวอย่าง	จำนวนนับ รังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคคราเวต์	7835	7875		890	892	
	7901			906		
	7890			881		
น้ำมันดิบ	23463	23252	15377	14374	14395	13503
	23005			14472		
	23289			14339		
น้ำ	22961	23155	15280	15309	14622	13730
	23337			14340		
	23167			14217		

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการกระเจิงกลับโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน

แคลิฟอร์เนีย-252

**ตารางชั้นตอนที่ 1**

สารตัวอย่าง	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคคราเวต์	612881	613912		52767	56688	
	613520			57771		
	615335			59525		
น้ำมันดิบ	1715317	1711576	1097664	1005277	998726	942038
	1704241			990318		
	1715170			1000583		
น้ำ	1703824	1704915	1091003	992963	991687	935000
	1702103			984536		
	1708819			997563		

**ตารางชั้นตอนที่ 2**

สารตัวอย่าง	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคคราเวต์	538929	539742		193306	190055	
	540999			186464		
	539297			190394		
น้ำมันดิบ	749035	748762	209021	368916	371673	181618
	748173			370843		
	749079			375259		
น้ำ	749386	749496	209754	378361	376775	186721
	749558			380291		
	749544			371674		

ผลการศึกษาการนับรังสีเทอร์มัลนิวตรอนโดยเครื่อง HYDROTECER ของบริษัท Boart longyear

	อุณหภูมิโดยประมาณ 25°C		อุณหภูมิโดยประมาณ 27°C		อุณหภูมิโดยประมาณ 30°C	
	จำนวนนับ/10 วินาที	เฉลี่ย	จำนวนนับ/10 วินาที	เฉลี่ย	จำนวนนับ/10 วินาที	เฉลี่ย
น้ำมันดิบ	11460	10640	10980	11091	10812	10837
	10728		10863		10920	
	9732		11430		10780	
น้ำ	11658	10950	11484	11426	11340	11152
	11166		11466		10944	
	10026		11328		11172	
โพลิเอทีลีน	17610	17530	16968	16936	17400	17254
	17448		17130		16896	
	17532		16710		17466	

ผลการนับเทอร์มัลนิวตรอนจากการส่งผ่าน

**ตารางชั้นตอนที่ 1**

	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย
แบคกราวด์	830	861		227	222
	848			235	
	904			204	
Blank	5861	5709	4848	874	1090
	5532			1288	
	5733			1109	
น้ำมันดิบ	12914	12925	12064	9633	9163
	12812			9052	
	13048			8804	
น้ำ	12876	12793	11933	8940	9011
	12936			9076	
	12568			9018	

**ตารางชั้นตอนที่ 2**

	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย
แบคกราวด์	830	861		227	222
	848			235	
	904			204	
Blank	10779	10612	9751	7150	7101
	10054			7090	
	11003			7064	
น้ำมันดิบ	9951	9861	9001	6609	6393
	9583			6241	
	10050			6328	
น้ำ	9849	9857	8996	6889	6610
	9691			6253	
	10031			6689	

**ตารางชั้นตอนที่ 3**

	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย
แบคกราวด์	830	861		227	222
	848			235	
	904			204	
Blank	9580	9585	8724	5334	5147
	9693			5450	
	9482			4657	
น้ำมันดิบ	10482	10274	9413	6239	6323
	9938			6478	
	10402			6253	
น้ำ	9997	9954	9093	7104	6733
	9906			6610	
	9958			6484	



## ตารางชั้นตอนที่ 4

	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย
แบคกราวด์	830	861		227	222
	848			235	
	904			204	
Blank	20921	23379	22519	17006	19305
	24640			20820	
	24577			20089	
น้ำมันดิบ	6953	6907	6047	4470	4414
	6879			4368	
	6890			4405	
น้ำ	6260	6333	5472	3682	3643
	6432			3649	
	6307			3598	

## ตารางชั้นตอนที่ 5

	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย
แบคกราวด์	830	861		227	222
	848			235	
	904			204	
Blank	16958	17033	16172	12947	13194
	17033			13595	
	17108			13039	
น้ำมันดิบ	5864	5900	5039	3290	3461
	5937			3645	
	5899			3449	
น้ำ	5588	5515	4655	3819	3404
	5488			3292	
	5470			3100	

## ตารางชั้นตอนที่ 6

	จำนวนนับรังสีโดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย
แบคกราวด์	830	861		227	222
	848			235	
	904			204	
Blank	8211	8154	7294	4452	4497
	8156			5246	
	8096			3792	
น้ำมันดิบ	5877	5947	5086	3292	3569
	5938			3816	
	6025			3600	
น้ำ	5585	5647	4787	3099	3466
	5667			3727	
	5690			3572	

ผลการศึกษารวบรวมวัสดุรีไซเคิลจากการกระเจิงกลับจากโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน  
โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม)

	จำนวนนับ /60 วินาที				
	จำนวนนับรังสี โดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย
แบคกราวด์	25139			8946	
	25051	25084		9492	
	25061			8292	
น้ำมันดิบ	38421			19981	
	38342	38334	13250	19844	20047
	38238			20317	
น้ำ	38484			22081	
	39086	38725	13642	21799	21816
	38606			21567	

ผลการศึกษารวบรวมวัสดุรีไซเคิลจากการกระเจิงกลับโดยหัววัดรังสีแกมมาแบบแก้วเรืองรังสี NE-905

	จำนวนนับ /60 วินาที		
	จำนวนนับรังสี โดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบคกราวด์	12988		
	13171	13236	
	13549		
น้ำมันดิบ	13279		
	13590	13564	328
	13824		
น้ำ	13562		
	13445	13582	346
	13739		

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

- รายงานการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างน้ำมันดิบและก๊าซ ของบริษัท ปตท.สผ. จำกัด (มหาชน) โครงการสุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Intertek** Caleb Brett

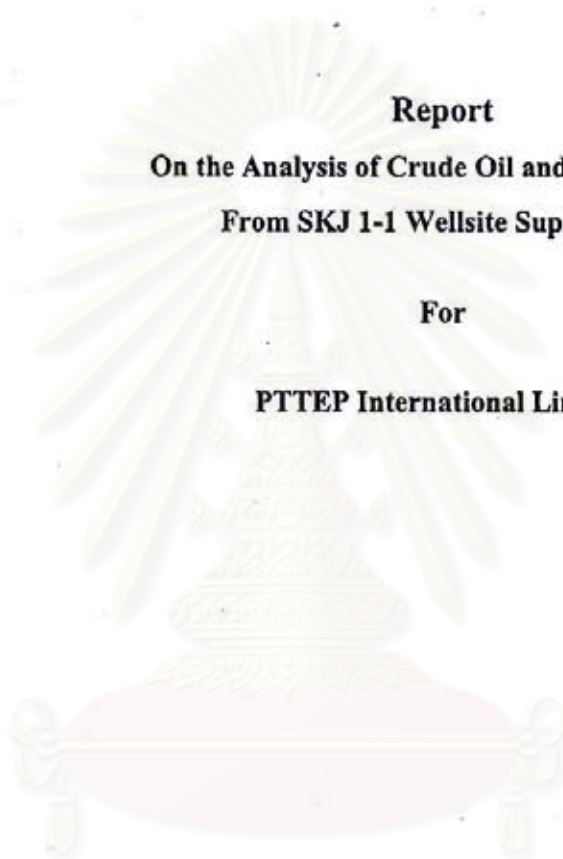
**Report**

**On the Analysis of Crude Oil and Gas Samples**

**From SKJ 1-1 Wellsite Suphanburi**

**For**

**PTTEP International Limited**



**Provided By:**

**Intertek Testing Services (Thailand) Ltd., Caleb Brett**

**October 2005**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Intertek Caleb Brett**

Client: PTTEP International Limited  
555 Vibhavadi Rangsit Road,  
Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

Tel: 02-537 4059

Fax: 02-5374060

Report no.: MTP/2567-2568/2005

Attention: Khun Arraya C.  
Khun Kittisak H.  
Khun Naphakarn P.

Date: 12.10.2005

At the request of PTTEP International Limited, We, Intertek Testing Services (Thailand) Limited., Caleb Brett has performed analysis of gas and oil samples collected from SKJ1-1 wellsite, Suphanburi province.

Detail of sample information and analysis data are tabulated as follows.

**Data Tabulation**

Table 1	Sample Information
Table 2	Analytical Methods
Table 3	Analysis Results

Yours Faithfully,

  
\_\_\_\_\_  
Wilai Suphasin  
Laboratory Sector Manager



**Intertek****Caleb Brett**

Table 1. Sample Information

Client name: PTTEP International Limited  
 Sampling location: SKJ1-1 wellsite, Suphanburi province  
 Sample received date: 30.09.2005  
 Sample tested date: 10.10.2005

Sample no.	Sample type	Sample Reference
MTP/2567/2005	Natural gas	SKJ1-1, 28-09-2005, 13.00 Hrs.
MTP/2568/2005	Crude oil	SKJ1-1, 28-09-2005, 13.00 Hrs.

Table 2. Analytical Method

Test Parameter	Method
Hydrogen Sulfide in Crude Oil, ppm	UOP 163-67
Carbondioxide in Crude Oil, wt%	GC
Hydrogen Sulfide in Gas, ppm	UOP 9-85
Gas Composition, mol%	ASTM D 1945-91
Heating Value,	ASTM D 3588-98
Specific Gravity	ASTM D 3588-98
Molecular Weight, g/mol	ASTM D 3588-98

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Table 3. Analysis Results

Test Parameter	MTP/2567/2005	MTP/2568/2005
	Natural Gas	Crude Oil
Hydrogen Sulfide, ppm	Less than 1	Less than 1
Carbondioxide, wt%	-	Less than 0.01
Gas Composition, mol%	-	-
-Carbondioxide	52.18	-
-Nitrogen	2.14	-
-Methane	27.91	-
-Ethane	4.87	-
-Propane	6.69	-
-iso-Butane	0.76	-
-n-Butane	2.28	-
-iso-Pentane	0.57	-
-n-Pentane	0.76	-
-Hexane plus	1.84	-
Total, mol%	100.00	-
Heating Value, Btu/ f3 at 14.696 psi, 60 F	781.5	-
Specific Gravity	1.2772	-
Molecular Weight, g/mol	36.8	-
Compressibility Factor, dry gas	0.9936	-

Note : Heating value was calculated bases upon dry gas and dry air basis at 14.696 psi and 60 deg.F

## ภาคผนวก ค.

- ตัวอย่างการคำนวณหาความแตกต่างของจำนวนน้ำระหว่างจำนวนน้ำจมน้ำดิบกับน้ำ
- การคำนวณหาความหนาวิกฤตของแผ่นเหล็กในการใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตัวอย่างการคำนวณหาความแตกต่างของจำนวนนับระหว่างจำนวนนับจากน้ำมันดิบกับน้ำโดยใช้ผลการศึกษาก่อนหน้าเพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับจากน้ำมันดิบกับน้ำโดยใช้วิธีคำนวณด้วยมือ

ตารางชั้นตอนที่ 1

สารตัวอย่าง	จำนวนนับ รังสี โดยรวม	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ	พื้นที่ใต้กราฟ	เฉลี่ย	รังสีสุทธิ
แบริล	2702	2713		0	245	
	2668			364		
	2770			370		
น้ำมันดิบ	8890	8913	6200	6312	6239	5994
	8843			6072		
	9007			6333		
น้ำ	8875	8839	6126	5915	5909	5665
	8788			5823		
	8855			5990		

จากตารางข้างต้น

จำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำมันดิบคือ 6200 ต่อ 1200 วินาทีและ

จำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำคือ 6126 ต่อ 1200 วินาที

เมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำมันดิบมาคิดช่วง  $x \pm 3\sigma$  จะได้ค่าเท่ากับ

$$6200 \pm 3 \sqrt{6200} = 6200 \pm 3(78.74) = 6200 \pm 236.22 \text{ ครั้ง/ 1200 วินาที}$$

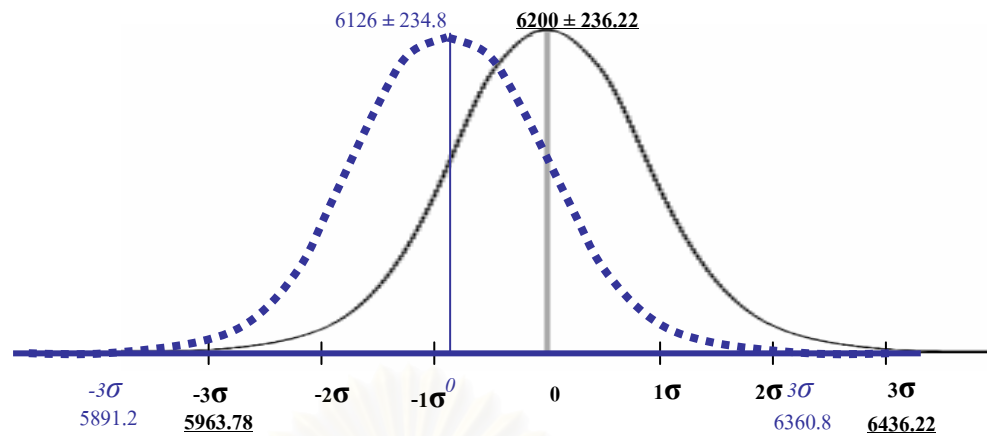
$$\text{หรือ ช่วงการนับรังสี } 5963.78 - 6436.22 \quad (1)$$

และเมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำมาคิดช่วง  $x \pm 3\sigma$  จะได้ค่าเท่ากับ

$$6126 \pm 3 \sqrt{6126} = 6126 \pm 3(78.27) = 6126 \pm 234.80 \text{ ครั้ง/ 1200 วินาที}$$

$$\text{หรือ ช่วงการนับรังสี } 5891.2 - 6360.8 \quad (2)$$

จากค่า (1) และ (2) เมื่อพิจารณาในรูปกราฟ Gaussian จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ ค.1 แผนภาพการแจกแจงจำนวนนับของน้ำมันดิบและน้ำที่เกิดการซ้อนทับกัน

จะเห็นว่ากราฟที่เกิดขึ้นจากค่ารังสีของทั้ง 2 ตัวอย่าง มีการซ้อนทับกันอยู่ทำให้การบ่งบอกจำนวนนับรังสีของแต่ละตัวอย่างในช่วงซ้อนทับกันทำได้ไม่ดีพอ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณหาความแตกต่างของจำนวนนับระหว่างจำนวนนับจากน้ำมันดิบกับน้ำ โดยใช้ผลการศึกษาวัดรังสีแกมมาจากการส่งผ่านโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิด ซินทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม)

จำนวนนับรังสี/ 60 วินาที				
ครั้งที่	แบคกราวด์	น้ำมันดิบ	น้ำ	Blank
1	73043	141696	102026	544087
2	73269	141587	102594	544793
3	73006	141310	102208	544080
4	73858	142279	104274	544621
5	73252	142301	104189	544935
6	73187	141751	103568	543768
7	73169	141654	103583	544900
8	71133	141514	103860	545670
9	73022	141350	103662	544746
10	73300	141357	103519	545618
เฉลี่ย	73024	141680	103348	544722
รังสีสุทธิ		68656	30324	471698

จากตารางข้างต้น

จำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำมันดิบคือ 68656 ต่อ 60 วินาทีและ

จำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำคือ 30324 ต่อ 60 วินาที

เมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำมันดิบมาคิดช่วง  $x \pm 3\sigma$  จะได้ค่าเท่ากับ

$$68656 \pm 3 \sqrt{68656} = 68656 \pm 3(262)$$

$$= 68656 \pm 786 \text{ ครั้ง/60 วินาที}$$

$$\text{หรือ ช่วงการนับรังสี } 67870 - 69442$$

(1)

และเมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของน้ำมาคิดช่วง  $x \pm 3\sigma$  จะได้ค่าเท่ากับ

$$30324 \pm 3 \sqrt{30324} = 30324 \pm 3(174.1)$$

$$= 30324 \pm 522.4 \text{ ครั้ง/60 วินาที}$$

$$\text{หรือ ช่วงการนับรังสี } 29801.6 - 30846.4$$

(2)

จะเห็นว่าช่วงการนับรังสีที่เกิดขึ้นจากค่ารังสีของทั้ง 2 ตัวอย่าง ไม่มีการซ้อนทับกันทำให้สามารถทำการหารอยต่อระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำได้

การหาความหนาวิกฤตของแผ่นเหล็กในการใช้เทคนิครังสีแกมมากระเจิงกลับ

$$\text{จากสูตร} \quad I_{\text{sat}} = k I_0 \frac{(\sigma_c + \sigma_{\text{coh}})}{(\mu + \mu')} \quad (1)$$

$$\text{และ} \quad m_{\text{sat}} \approx \frac{3}{(\mu + \mu')} \quad (2)$$

เมื่อ  $I_{\text{sat}}$  และ  $m_{\text{sat}}$  ขึ้นกับค่าเลขอะตอม (Z) และ พลังงาน (E)

และ  $\mu$ ,  $\mu'$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของมวลโดยรวมคิดตามพลังงานการชนโดยตรงและการกระเจิงกลับ ตามลำดับ

ในงานวิจัยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 ซึ่งมีพลังงาน 662 keV

และเมื่อเกิดการกระเจิงกลับแล้วนั้น พลังงานเหลือ โดยประมาณคือ 184 keV ที่มุมกระเจิงโดยประมาณ  $135^\circ$

ฉะนั้น  $\mu$  มีค่าเท่ากับ  $7.3445 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$

และ  $\mu'$  มีค่าเท่ากับ  $1.591 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{g}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าใน (2) จะได้} \quad m_{\text{sat}} &\approx 3 / (7.3445 \times 10^{-2} + 1.591 \times 10^{-1}) \\ &= 3 / 0.232445 \\ &= 12.906 \quad \text{g/cm}^2 \end{aligned}$$

และจากเหล็กมีความหนาแน่นเท่ากับ  $7.87 \text{ g/cm}^3$

ดังนั้น ความหนาวิกฤตของเหล็กคือ  $12.906 / 7.87 = 1.64 \text{ cm}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรพัทธ์ มานวงค์ เกิดวันที่ 14 มิถุนายน 2521 เป็นบุตรชายของนายชนะวัฒน์ มานวงค์ กับนางนงนัทสร มานวงค์ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันรับราชการที่สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางนิวเคลียร์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ตำแหน่งวิศวกรนิวเคลียร์ 5



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย