

การตรวจวัดการกักกรองภายในท่อเหล็กกล้าโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา



นายชวณัฐ กงชนคณา

สถาบันวิทยบริการ  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CORROSION DETECTION IN STEEL PIPES  
USING GAMMA-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE



Mr. Chawanat Kongthanakana

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 2550

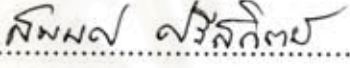
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจวัดการกักกรองภายในท่อเหล็กกล้าโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา
โดย	นายชวณัฐ คงชนคณา
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

ชวณัญญ์ กองชนกณา : การตรวจวัดการกัดกร่อนภายในท่อเหล็กกล้าโดยใช้เทคนิคการ  
ส่งผ่านรังสีแกมมา: (CORROSION DETECTION IN STEEL PIPES USING GAMMA-  
RAY TRANSMISSION TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว , อ.ที่ปรึกษา  
ร่วม : ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์ , 55 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดการกัดกร่อนภายในท่อ  
เหล็กกล้าโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา ระบบที่พัฒนาขึ้นมีส่วนประกอบหลักคือ หัววัด  
รังสีโซเดียมไอโอไดค์(ทาลเลียม) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว และต้นกำเนิดรังสีแกมมาชนิดซีเซียม-137  
ความแรง 4.4 มิลลิวูรี ซึ่งมีตะกั่วเป็นอุปกรณ์บังกับลำรังสี หัววัดรังสีถูกต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์  
แบบช่องเดียวรุ่น LUDLUM 2200 ในขั้นแรกได้ทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดการ  
เปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นเหล็กและท่อเหล็กกล้า ซึ่งผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถ  
นำไปใช้ตรวจวัดการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าได้ จึงได้ออกแบบและสร้างกลไกเพิ่มเติมสำหรับ  
ติดตั้งต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี เพื่อให้มีความสะดวกในการเคลื่อนที่ตามแนวท่อและหมุนรอบ  
ได้ อุปกรณ์ต้นแบบสามารถใช้งานได้กับท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 นิ้ว มีระยะเคลื่อนที่ตาม  
แนวอนประมาณ 70 เซนติเมตร โดยที่ต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสีเคลื่อนที่ไปพร้อมกันและอยู่  
ตรงกันข้ามกันเสมอ จากการทดสอบกับท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ที่มีความหนา 6  
มิลลิเมตร พบว่ามีความไวในการตรวจวัดความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ประมาณ 0.3 มิลลิเมตร  
ซึ่งขึ้นอยู่กับความแรงของต้นกำเนิดรังสีและเวลาในการนับรังสี ต่อมาได้ทำการตรวจวัดความหนา  
ของท่อเหล็กกล้าหนา 7 มิลลิเมตร ที่ผ่านการใช้งานแล้วและมีรอยเชื่อม ซึ่งพบว่าจำนวนนับรังสี  
แกมมาที่ได้ มีค่าลดลงอย่างชัดเจนตรงตำแหน่งที่มีรอยเชื่อม ทั้งกรณีที่มีและไม่มีคอลลิเมเตอร์หน้า  
หัววัดรังสี ในขั้นสุดท้ายได้นำท่อเหล็กกล้าที่มีรอยเชื่อมนี้ไปภาคผิวที่สองบริเวณให้บางลงอีก 0.2  
และ 0.4 มิลลิเมตรตามลำดับ เพื่อนำไปทดสอบด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับวิธีการ  
ตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และอัลตราโซนิก ซึ่งพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถ  
แยกความแตกต่างของความหนาตรงตำแหน่งที่ทดสอบได้หมด ซึ่งทัดเทียมกับวิธีอัลตราโซนิก  
นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอและทดสอบวิธีการหาความหนาของท่อเหล็กกล้าด้วยเทคนิคการ  
ส่งผ่านรังสีแกมมาด้วย

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี...  
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี...  
ปีการศึกษา...2550.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4770268121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: CORROSION DETECTION / GAMMA-RAY TRANSMISSION/TECHNIQUE

CHAWANAT KONGTHANAKANA : CORROSION DETECTION IN STEEL PIPES

USING GAMMA-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE, THESIS ADVISOR :

ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, THESIS COADVISOR : ASST. PROF.

ATTAPORN PATTARASUMUNT, 55 pp.

This research is aimed to design and construct a corrosion detection system for steel pipes using gamma transmission technique. The developed system mainly consisted of a 2" x 2" NaI(Tl) gamma-ray detector and a 4.4 mCi Cs-137 source with lead collimators. The detector was connected to a LUDLUM 2200 portable single channel analyzer. The system was first tested in laboratory for detection of thickness changes in steel plates and steel pipes. A prototype driven equipment was designed and constructed for ease of radiation source and detector handling in the field as well as for moving them along and around the pipes of  $\leq 10$  inches in diameters. It could be moved for a distance of about 70 cm along the pipe. It was designed in the way that the source and the detector were always on the opposite side of the pipe wall and could be moved together along the pipe. The test results for steel pipes of 4 inch diameter and 6 mm thickness showed that thickness change of about  $\geq 0.3$  mm could be detected depending on the source strength and the counting time. The developed system was later tested for thickness measurement of a used steel pipe of 7 mm thickness with a weld joint. The developed system showed significant lower in gamma-ray intensity at the weld joint for both with and without detector collimator. The welded pipe was then machined at the two areas to thin the pipe wall by 0.2 and 0.4 mm respectively. The machined pipe was finally tested using the developed system in comparison to gamma-ray radiography and ultrasonic testing. The developed system could give statistically difference in gamma-ray counts between all tested areas and was comparable to the ultrasonic testing method. In addition, a method for determining thickness of steel pipe using gamma-ray transmission technique was also introduced and tested.

Department.....Nuclear Technology.....

Field of study.....Nuclear Technology.....

Academic year...2007.....

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-Advisor's signature.....

*Chawanat Kongthanakana*

*Nares Chankow*

*Attaporn Pattarassumunt*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความเมตตากรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ท่านรองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษา คำแนะนำ และคำสอนทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่ข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงท่านอาจารย์ภาควิชานิเวศลิขรเทคโนโลยีทุกท่าน ซึ่งให้ความรู้ ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณอชรา สกุลมัน และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวก การทำธุรกรรมต่าง ๆ ในระหว่างที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ที่ภาควิชานี้

ขอขอบคุณ คุณชนัญชัย พิรุณพันธ์ คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และความอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณนิสิต ไสยลักษณ์ อาจารย์สอนในห้องปฏิบัติภาควิชาเครื่องกลที่ให้ความช่วยเหลือ ความสะดวกทุกประการอย่างดียิ่ง และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความอนุเคราะห์ ทั้งอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชมเดือน ศตวุฒิ, คุณสมอ้อย ตั้งจิตถาวรกุล และ คุณธรรมรัตน์ สร้อยสมบูรณ์ บริษัทไทย เอ็นจิเนียริง (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าไปทำงานวิจัยภาคสนาม และ ให้ข้อมูลต่างๆในการทำวิจัย รวมถึงอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ และผู้มีพระคุณทุกท่านซึ่งรวมถึงผู้ปกครองของนักเรียนที่ให้ข้าพเจ้าไปสอนหนังสือ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถเรียนหนังสือมาจนถึงระดับนี้และทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีทำให้สามารถสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรนี้ได้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับรังสีแกมมา.....	5
2.2 เครื่องมือวัดรังสีแกมมาชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม).....	16
2.3 การนับรังสีและการจัดการทางสถิติ.....	19
3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	22
3.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการวิจัย.....	22
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	22
4 ผลการวิจัย.....	31
4.1 ผลการวัดความหนาของแผ่นเหล็กในห้องปฏิบัติการ.....	31
4.2 ผลการวัดความหนาของท่อเหล็กในห้องปฏิบัติการ.....	32
4.3 อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี.....	33

4.4 ผลการวัดความหนาต่อเหล็กในห้อยปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัด รังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น.....	36
4.5 ผลการตรวจวัดต่อเหล็กที่มีรอยเชื่อมและผ่านการใช้งานแล้ว โดยใช้อุปกรณ์ ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น.....	38
4.6 ผลการตรวจวัดท่อในภาคสนาม.....	43
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	45
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
รายการอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	50
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	55

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการนับรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านแผ่นเหล็กที่มีความหนาต่าง ๆ กัน.....	31
4.2 ผลการนับรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านผนังท่อเหล็กความหนาต่าง ๆ กัน.....	32
4.3 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กในห้องปฏิบัติการโดยใช้อุปกรณ์ ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น.....	37
4.4 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยใช้ อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (มีคอลลิเมเตอร์).....	38
4.5 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยใช้ อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (ไม่มีคอลลิเมเตอร์).....	40
4.6 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กเมื่อใช้เทคนิคการส่งผ่าน รังสีแกมมา การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และการส่งคลื่นความถี่สูงอุลตราโซนิก.....	41
4.7 ผลการนับรังสีในการทดสอบวิธีการวัดความหนาของท่อเหล็ก.....	42
4.8 ผลการนับรังสีที่ทะลุผ่านท่อสุบน้ำเสียในภาคสนาม โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น.....	43

## สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ภาพที่เกิดความเสียหายภายในท่อ.....	1
2.1	ภาพการจำแนกรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยความยาวคลื่น.....	6
2.2	แผนผังการสลายตัวของ Cs-137.....	7
2.3	การเกิดโฟโตอิเล็กทริก.....	8
2.4	การเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตันเอฟเฟกต์.....	9
2.5	การเกิดเพอร์โปรดักชันและแอนนิฮิเลชัน.....	11
2.6	ช่วงโอกาสการเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่พลังงานต่างๆ.....	12
2.7	ค่า $\mu/p$ , $\mu_{pe}/p$ , $\mu_{pp}/p$ และ $\mu_c/p$ ของตะกั่ว.....	14
2.8	แผนภาพการลดความเข้มของรังสีเมื่อผ่านตัวกลาง.....	15
2.9	แผนภาพแสดงส่วนประกอบของหัววัดรังสีแกมมาชนิดผลึก โซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม).....	17
2.10	แผนภาพการแจกแจงข้อมูลทางสถิติแบบเกาส์เซียนหรือแบบปกติ.....	20
3.1	แบบของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่จะสร้างขึ้น.....	25
3.2	ภาพการจัดระบบวัดความหนาต่อเหล็กในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น.....	26
3.3	ภาพการจัดระบบวัดต่อเหล็กกล้าที่ใช้งานจริงโดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (มีคอลลิเมเตอร์หน้าหัววัดรังสี).....	27
3.4	ภาพการจัดระบบวัดต่อเหล็กกล้าที่ใช้งานจริงโดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (ไม่มีคอลลิเมเตอร์หน้าหัววัดรังสี).....	27
3.5	แสดงตำแหน่งในการวัดต่อเหล็กกล้าที่มีรอยเชื่อม.....	28
3.6	ภาพแสดงการตรวจสอบด้วยเทคนิคถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาต่อเหล็กกล้า.....	28
3.7	ภาพแสดงการตรวจสอบต่อเหล็กกล้าด้วยวิธีอุลตราโซนิก.....	29
3.8	แสดงวิธีการเขียนกราฟเพื่อหาความหนาของผนังท่อเหล็ก.....	29
3.9	ภาพแสดงการทดสอบอุปกรณ์ในภาคสนาม.....	30
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนับรังสีกับความหนาของแผ่นเหล็ก.....	31
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีกับความหนาของผนังท่อเหล็ก.....	32

รูปที่	หน้า
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีต่อ $I_0$ กับความหนาของผนังท่อเหล็ก..... 33
4.4	ภาพการเคลื่อนที่ในแนวนอนท่อของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี 34
4.5	ภาพการเคลื่อนที่รอบท่อ 360 องศาของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสี..... 35
4.6	ภาพแสดงการตรวจวัดจำนวนนับรังสีท่อเหล็ก (ถังก้ำซาร์กอน)..... 36
4.7	ภาพแสดงการนับรังสีของท่อเหล็ก (ถังก้ำซาร์กอน)..... 37
4.8	กราฟแสดงผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้ว (มีคอลลิเมเตอร์)..... 39
4.9	กราฟแสดงผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ไม่มีคอลลิเมเตอร์)..... 40
4.10	ภาพถ่ายท่อเหล็กกล้าด้วยรังสีแกมมา (ท่อมิรอยเชื่อม และมีความหนาต่างกัน)..... 41
4.11	ภาพผลการทดสอบท่อเหล็กกล้าด้วยวิธีอัลตราโซนิก..... 42
4.12	ภาพแสดงการนับรังสีของท่อเหล็กเมื่อเพิ่มความหนาที่ผิวของท่อเหล็ก..... 43
4.13	กราฟแสดงผลการนับรังสีที่ทะลุผ่านท่อสุบน้ำเสียที่ตำแหน่งต่าง ๆ..... 44

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีอุตสาหกรรมที่เป็นลักษณะของของไหลเช่น น้ำมัน ก๊าซ น้ำ และ สารเคมี เป็นต้น ซึ่งต้องใช้ท่อในการลำเลียง เมื่อระยะเวลาใช้งานผ่านไปอาจจะส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวของท่อเหล็กด้านในกับของไหลนั้น ทำให้เกิดการกัดกร่อน การกัดเซาะ การเกิดสนิมผุพัง และตะกรัน สิ่งที่เกิดขึ้นเหล่านี้ก่อให้เกิดผลเสียต่ออุตสาหกรรมนั้นๆ ทั้ง ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ และความปลอดภัย ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง จึงต้องมีวิธีการตรวจวัดความเสียหายเหล่านี้



รูปที่ 1.1 ภาพที่เกิดความเสียหายภายในท่อ

การเกิดปฏิกิริยาภายในท่อเช่นนี้ ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถมองเห็นภายในท่อได้ แต่ในปัจจุบันมีวิธีการตรวจวัดความเสียหายในท่อมัลหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน วิธีตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (nondestructive testing, NDT) จึงมีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ เช่น วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้รังสีความเข้มสูง และมีค่าใช้จ่ายสูง วิธีใช้คลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic) เป็นวิธีที่มีความไวสูง และมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ใช้เวลาในการตรวจสอบนาน นอกจากนี้ยังมีวิธีตรวจสอบโดยไม่

ทำลายอื่น ๆ ที่มีการใช้งานในการตรวจสอบการกัดกร่อนของท่อ และแผ่นโลหะ เช่น วิธีกระแสเอ็ดดี้ (Eddy current) และ วิธีการตรวจวัดคลื่นเสียง(Acoustic emission) เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีความแรงต่ำ กล่าวคือต่ำกว่าที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีประมาณ 1,000 เท่า มาทดลองใช้การตรวจวัดการกัดกร่อนภายในท่อ ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดจากภายนอกท่อได้ ให้ผลได้รวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบต่ำ แต่ต้องมีอุปกรณ์ยึดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีติดกับท่อ รวมทั้งระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดการกัดกร่อนภายในท่อเหล็กกล้าโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

## 1.3 ขอบเขตขรนองการทำวิจัย

1. พัฒนาระบบตรวจวัดการกัดกร่อนภายในท่อเหล็กกล้าโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา
2. ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการ และในภาคสนามเปรียบเทียบกับผลการถ่ายภาพด้วยรังสี และการตรวจสอบด้วยวิธีอัลตราโซนิก

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. กำหนดและทดลองตรวจวัดการกัดกร่อนของแผ่นเหล็กกล้าในห้องปฏิบัติการ
3. ออกแบบและประกอบอุปกรณ์ขับเคลื่อนสำหรับการตรวจวัดที่เหมาะสมกับขนาดท่อเหล็กกล้า
4. ทดลองการตรวจวัดการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าในห้องปฏิบัติการ
5. ทดลองการตรวจวัดการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าที่ใช้งานจริง
6. วิเคราะห์และสรุปผลการตรวจวัด
7. จัดทำวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบตรวจวัดการกัดกร่อนภายในท่อเหล็กกล้าโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี 1995 H. Kwun และคณะ[1] ได้ทำวิจัยเรื่อง “Detection of corrosion in pipe using the magnetostrictive sensor” โดยทำการตรวจวัดความเสียหายภายในท่อเหล็ก หรือท่อที่มีขนาดเล็กด้วย Magnetostrictive sensor (MsSs) ซึ่งใช้สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจวัดความเสียหายจากการสึกกร่อนกับท่อที่มีขนาด ความยาว 6.6 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 164 มิลลิเมตร และความหนา 5 มิลลิเมตร ซึ่งการตรวจวัดวิธีนี้มีความไวในการตรวจวัดสูงและใช้วัดกับท่อที่มีการเชื่อมต่อเป็นข้อๆได้ต่อการใช้เซนเซอร์ 1 ชุด และสามารถวัดในสภาพที่มีฉนวนหุ้มได้

2. ปี 2003 T. Balasubramanian และคณะ[2] ได้ทำวิจัยเรื่อง “Ultrasonic study for detection of inner diameter cracking in pipeline girth welds using creeping waves” โดยการตรวจวัดโดยรอบพื้นผิวภายในท่อที่เป็นอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า ซึ่งต้องการความเที่ยงตรงและความแม่นยำสูงมาก และสามารถวัดได้ว่ามีขนาดความเสียหายเท่าไร ซึ่งในการตรวจวัดทำได้ยากมาก และในความเสียหายที่เกิดขึ้นในท่อมักมีลักษณะที่แตกต่างกันทั้งรอยแตกร้าวที่มีความลึกไม่มาก และการสึกกร่อนที่มีรอยที่เป็นรูปร่างอื่นๆ จึงได้ประยุกต์การตรวจวัดด้วยการใช้ creeping wave probes โดยการแห่เข้าไปในท่อแล้วแพร่กระจายคลื่นอัลตราโซนิกตามพื้นผิวภายในท่อและถ้าตรวจวัดไปเจอความเสียหายของผิวท่อทั้งการสึกกร่อน รอยแตกร้าว ก็จะมีสัญญาณคลื่นแทรกขึ้นมาที่หน้าจอ

3. ปี 1998 M.J.S. Lowe และคณะ[3] ได้ทำวิจัยเรื่อง “Defect detection in pipes using guided waves” เป็นการตรวจวัดการสึกกร่อนในท่อที่มีหุ้มฉนวนในอุตสาหกรรมน้ำมันและเคมี ซึ่งการตรวจวัดในปัจจุบันมีราคาแพงมาก เพราะเป็นการวัดจุดต่อจุด และต้องเอาฉนวนออกก่อนทำการวัดจึงได้พัฒนาอุปกรณ์โดยการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณเข้าไปในผิวของท่อภายใน แล้วดูการสะท้อนกลับมาจากคลื่นสัญญาณจากความเสียหาย ซึ่งถ้าเกิดความเสียหายขึ้นในท่อมักคลื่นที่สะท้อนกลับจะไม่เหมือนกับตอนที่ส่งไปและการตรวจวัดจะเอาฉนวนออกเพียงจุดเดียวใช้ตัวแปลงสัญญาณคลื่นเพียง 1 ตัวรองรับ

4. ปี 2000 William L. Dunnand และ Abdelfatah M. Yacout[4] ได้เสนองานวิจัยเรื่อง “Corrosion detection in aircraft by X-ray backscatter methods” ซึ่งแสดงให้เห็นความสามารถของเทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์ในการตรวจวัดการสึกกร่อนโดยวิธีสแกนผ่านผิวชิ้นส่วนอากาศยาน จากทั้งการคำนวณและการทดลองพบว่าวิธีนี้สามารถตรวจวัดได้ เมื่อเนื้อโลหะสูญเสียไปเพียง 5 % และ 10 % ที่ระยะลึกจากผิวลงไป 0.508 เซนติเมตร (0.200 นิ้ว) และ 0.635 เซนติเมตร (0.250 นิ้ว) ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับรังสีแกมมา

การประยุกต์ใช้ต้นกำเนิดรังสีจะต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของรังสีที่แผ่กระจายจากต้นกำเนิด และความเข้มรังสีที่แปรเปลี่ยนไปหลังการเกิดอันตรกิริยากับตัวกลาง รวมทั้งผลของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในตัวกลางนั้นๆ ซึ่งในการทำวิจัยนี้เป็นการใช้รังสีแกมมาซึ่งเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ไม่มีมวล ไม่มีประจุไฟฟ้า ดังความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับความถี่ของคลื่นและความยาวคลื่นดังนี้

$$E = h\nu \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ  $E$  คือ พลังงานของรังสีแกมมา (eV)

$h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant =  $4.136 \times 10^{-15}$  eV.s)

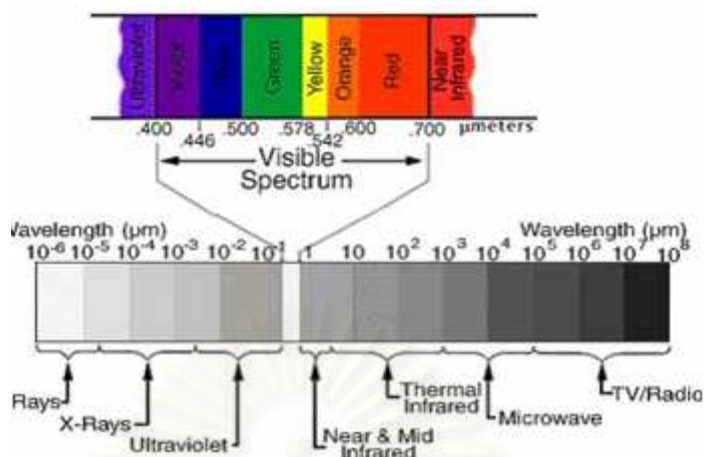
$\nu$  คือ ความถี่ของคลื่น ( $s^{-1}$ )

$c$  คือ ความเร็วแสง ( $2.9979 \times 10^{10}$  cm/s)

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (cm)

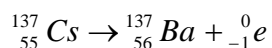
รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจำแนกโดยความยาวคลื่นเป็นชนิดต่าง ๆ ตามความยาวคลื่นน้อยไปหามากตามลำดับดังนี้ รังสีแกมมา ( $\gamma$ -rays) รังสีเอกซ์ (x-rays) แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) แสงช่วงที่เรามองเห็น (Visible light) แสงอินฟราเรด (Infrared) ไมโครเวฟ (Microwave) คลื่นวิทยุ ดังรูปที่ 2.1

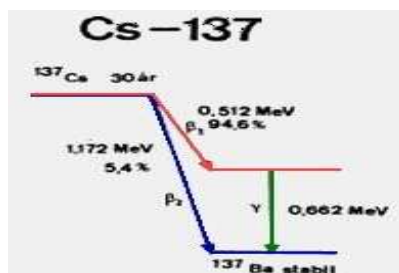




รูปที่ 2.1 ภาพการจำแนกรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยความยาวคลื่น

รังสีแกมมากำเนิดจากนิวเคลียสที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นหรือไม่เสถียร จึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือรังสีแกมมานั่นเอง ในงานวิจัยนี้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาชนิดซีเซียม-137 (Caesium-137, <sup>137</sup>Cs) ซึ่งได้จากการแยกธาตุกัมมันตรังสีออกจากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้งานแล้ว โดยมี yield ประมาณ 6.2 % ในพลูโตเนียม-239 ซีเซียม-137 มีค่าครึ่งชีวิต 30 ปี ซีเซียม-137 สลายตัวให้รังสีเบตา แล้วกลายเป็นแบเรียม-137m (barium-137m, <sup>137m</sup>Ba) ซึ่งมีครึ่งชีวิต 2.6 นาที (m=metastable state) จากนั้นแบเรียม-137m จะสลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 0.662 MeV กลายเป็น แบเรียม-137 ที่สภาวะปกติ (ground state) ดังนั้นต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 จึงปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงาน 0.662 MeV จากแบเรียม-137m ออกมา โดยมี exposure rate เท่ากับ 0.33 R/hr-Ci ในอากาศที่ระยะห่าง 1 เมตร จากแหล่งกำเนิดรังสี





รูปที่ 2.2 แผนผังการสลายตัวของ Cs-137[5]

### 2.1.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา

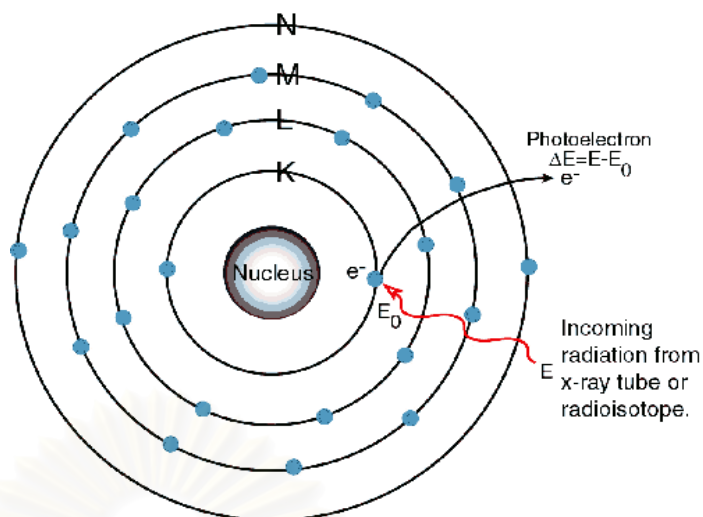
รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสารนั้นมีด้วยกันหลายแบบโดยอันตรกิริยาที่สำคัญมี 3 แบบ คือ โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (Photoelectric effect) คอมป์ตันเอฟเฟกต์ (Compton Effect) หรือการกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และแพร์โปรดักชัน (Pair production)

#### 2.1.1.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect)[6]

ปรากฏการณ์ที่รังสีแกมมาเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมตัวกลาง พลังงานที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้ต้องมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจร ซึ่งเมื่อรังสีแกมมากระทบอะตอมแล้วถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนของสสาร ทำให้รังสีแกมมาหายไปและอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปเรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) โดยมีพลังงาน ( $E_e$ ) เท่ากับผลต่างของพลังงานของรังสีแกมมา ( $h\nu$ ) กับพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ดังสมการ

$$E_e = E - E_b = h\nu - B.E. \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

- เมื่อ  $E_e$  คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากอะตอม
- $E_\gamma (h\nu)$  คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่วิ่งเข้าชนอะตอม
- $E_b$  คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.3 การเกิดโฟโตอิเล็กทริก

อันตรกิริยานี้มักเกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนในวงโคจร K และขึ้นกับพลังงานของรังสีแกมมา ( $E_\gamma$ ) และเลขอะตอมของสาร ( $Z$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์ได้ดังนี้

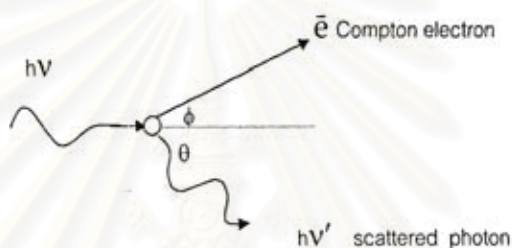
โอกาสการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก  $\approx$  ค่าคงตัว ( $Z^n/E^3 \gamma$ )

เมื่อ  $n$  มีค่าประมาณ 4 ซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา

จากความสัมพันธ์จะเห็นว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจะเกิดมากขึ้นเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานต่ำลงและตัวกลางที่มีเลขอะตอมสูง โดยอันตรกิริยานี้มีความสำคัญเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานต่ำกว่า 1 MeV ตกกระทบกับตัวกลางที่มีเลขอะตอมสูง แต่ในกรณีรังสีแกมมามีพลังงานน้อยกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอมแล้ว อิเล็กตรอนก็จะไม่หลุดออกจากอะตอมรังสีที่ชนจะกระเจิงออกไปโดยไม่สูญเสียพลังงาน แต่ถ้ารังสีแกมมามีพลังงานมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก หลังจากโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกไปแล้ว อิเล็กตรอนจากโคจรรอบนอกซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่า จะเข้ามาแทนที่ โดยปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray)

### 2.1.1.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตันเอฟเฟกต์ (Compton Effect) หรือ การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)

ในปรากฏการณ์คอมป์ตัน รังสีแกมมาเข้าชนกับอิเล็กตรอนในวงจรของอะตอมแบบยึดหยุ่นในการชนแบบนี้ ทั้งโมเมนตัมและพลังงานไม่สูญหาย โดยรังสีแกมมาจะเสียพลังงานบางส่วนให้อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรไปในทิศทางทำมุม  $\phi$  กับทิศทางเดิมของการเคลื่อนที่ของรังสีแกมมา และเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้ว่า คอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) ส่วนรังสีแกมมาที่มีพลังงานลดลงจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปโดยทำมุม  $\theta$  กับทิศทางเดิมและมีพลังงานลดลง หรือความยาวคลื่นมากขึ้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตันเอฟเฟกต์

โอกาสของการเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตัน = ค่าคงตัว ( $Z/E_\gamma$ )

### 2.1.1.3 แพร่โปรดักชัน (Pair production)

อันตรกิริยาแพร่โปรดักชันเป็นแบบหนึ่งของการดูดกลืนแกมมาโฟตอน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีแกมมามีอย่างน้อย 1.022 MeV วิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของอะตอม รังสีแกมมาจะหายไปโดยใช้พลังงาน 1.022 MeV เปลี่ยนไปเป็นอิเล็กตรอนและโพสิตรอน ส่วนพลังงานที่เหลือจะเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอนที่เกิดขึ้น

$$h\nu = 2m_0c^2 + E_{e^-} + E_{e^+} + E_{nuc} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

เมื่อ  $h\nu$  คือ พลังงานของรังสีแกมมาตกกระทบ

$2m_0c^2$  คือ พลังงานมวลนิ่ง(rest mass) ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน

$E_{e^-}, E_{e^+}, E_{nuc}$  คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน, โพสิตรอนและพลังงานถดถอย (recoil energy) ของนิวเคลียส ตามลำดับ

หากคิดว่านิวเคลียสมีมวลมาก  $E_{nuc}$  จะมีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้เลย สมการ (2.4) จะเหลือเพียง

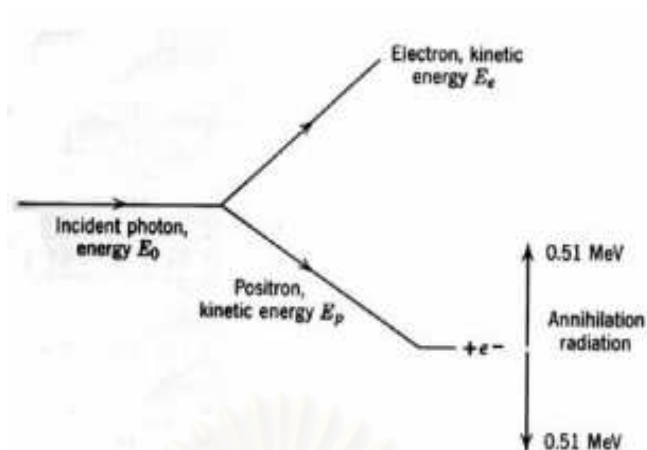
$$h\nu = 2m_0c^2 + E_{e^-} + E_{e^+} \dots\dots\dots(2.5)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า พลังงานจลน์เริ่มต้นที่จะทำให้เกิดขบวนการดังนี้คือ  $2m_0c^2 \approx 1.022$  MeV พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอนมีค่าเท่ากัน ผลต่างระหว่างพลังงานรังสีแกมมากับพลังงานมวลนิ่งของโพสิตรอนและอิเล็กตรอนรวมกันดังสมการ

$$E_{k(e^- \text{ or } e^+)} = \frac{1}{2} (E_\gamma - 1.022) \text{ MeV} \dots\dots\dots(2.6)$$

โดยอันตรกิริยาแบบแพร์โปรดักชันนี้เป็นปรากฏการณ์ของการเปลี่ยนแปลงพลังงานไปเป็นมวลหลังจากเกิดแพร์โปรดักชัน โพสิตรอนที่มีพลังงานต่ำลงจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนอื่นแล้วให้โฟตอน 2 ตัว ซึ่งมีพลังงานแต่ละ 0.511 MeV วิ่งในทิศทางตรงกันข้าม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “แอนนิฮิเลชัน (annihilation)”



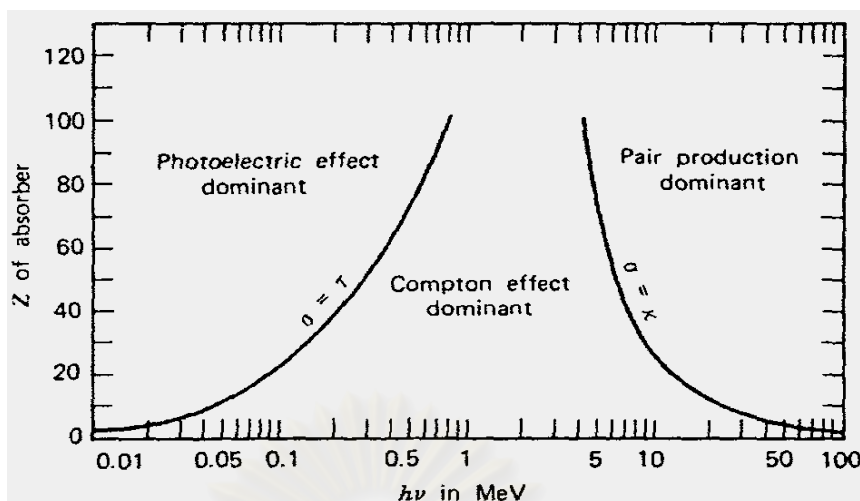


รูปที่ 2.5 การเกิดแพร์โปรดักชันและแอนนิฮิเลชัน

ซึ่งโอกาสการเกิดอันตรกิริยาแพร์โปรดักชันขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมาและเลขอะตอมของสสาร ดังนี้

$$\text{โอกาสการเกิดอันตรกิริยาแพร์โปรดักชัน} \approx \text{ค่าคงตัว } z^2 (E-1.022)$$

เมื่อโอกาสการเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าอันตรกิริยาแพร์โปรดักชันเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอมของสสาร และพลังงานของรังสีแกมมาที่เกิน  $1.022 \text{ MeV}$  เมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกและคอมป์ตันจะลดลง แต่แพร์โปรดักชันเพิ่มขึ้น สำหรับสสารที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูง และช่วงที่มีพลังงานต่ำประมาณ  $0.01 \text{ MeV}$  ถึง  $0.5 \text{ MeV}$  จะมีโอกาสเกิดโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์มากที่สุด ช่วงพลังงานประมาณ  $0.1 \text{ MeV}$  ถึง  $10 \text{ MeV}$  จะมีโอกาสเกิดคอมป์ตันเอฟเฟกต์มากที่สุดและช่วงที่พลังงานสูงกว่า  $1.022 \text{ MeV}$  ขึ้นไปจะเกิดแพร์โปรดักชัน และมีโอกาสในการเกิดมากขึ้นเมื่อมีพลังงานสูงๆ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โอกาสการเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่พลังงานและเลขอะตอมของตัวกลางต่าง ๆ [7]

ในรูปที่ 2.6 เป็นการแสดงถึงโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์ทั้งสามของรังสีแกมมา โดยแสดงความสัมพันธ์กับเลขอะตอม และพลังงานของรังสีแกมมา โดยเส้นด้านซ้ายเป็นเส้นที่แสดงปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ( $\tau$ ) และปรากฏการณ์คอมป์ตัน ( $\sigma$ ) ที่มีโอกาสการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน ส่วนเส้นด้านขวาเป็นเส้นที่แสดงปรากฏการณ์คอมป์ตัน ( $\sigma$ ) และปรากฏการณ์แพร์โปรดักชัน ( $K$ ) ที่มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน

### 2.1.2 การลดทอนของรังสีแกมมา

เมื่อรังสีแกมมาผ่านตัวกลางใด ๆ รังสีจะถูกลดทอน (attenuate) ลงโดยอันตรกิริยา 3 แบบดังได้กล่าวมาแล้ว การเกิดอันตรกิริยาใดจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา เลขอะตอมของวัตถุตัวกลาง และลักษณะทางเรขาคณิต รังสีบางส่วนอาจผ่านออกมาโดยไม่ทำอันตรกิริยาใด ๆ เลยก็เป็นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรังสีมีพลังงานสูง ตัวกลางมีเลขอะตอมต่ำและมีความหนาแน่นน้อย

เมื่อพิจารณารังสีแกมมาพลังงานเดียวเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง การลดทอนความเข้มของรังสีในความหนาที่จุดใด ๆ เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มของรังสีที่จุดนั้น กับความหนาของตัวกลาง ดังสมการ

$$dI = -\mu I dx \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

เมื่อ  $I$  คือ ความเข้มของรังสีแกมมา ( $\text{n/cm}^2\text{-s}$ )

$\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น ( $\text{cm}^{-1}$ )

$dx$  คือ ความหนาของตัวกลาง ( $\text{cm}$ )

ถ้าให้  $\sigma$  เป็นภาคตัดขวางรวม (Total cross section) ต่ออะตอมของตัวกลาง จะได้สมการ

$$\sigma = \sigma_{pe} + \sigma_{pp} + \sigma_c \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

คูณด้วยค่าความหนาแน่นอะตอมของตัวกลาง ( $N$ ) เข้าไปจะได้สมการ

$$N\sigma = N(\sigma_{pe} + \sigma_{pp} + \sigma_c) \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

ผลคูณระหว่าง  $N\sigma$  นี้เรียกว่า “ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient)” ซึ่งใช้สัญลักษณ์แทนเป็น  $\mu$  ดังนั้น

$$\mu = \mu_{pe} + \mu_{pp} + \mu_c \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

เมื่อ  $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นรวม

$\mu_{pe}$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก

$\mu_{pp}$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากอันตรกิริยาแพร์โปรดักชัน

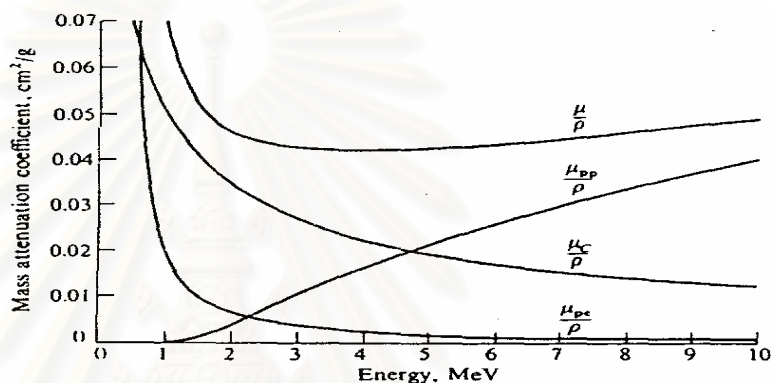
$\mu_c$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากอันตรกิริยาคอมป์ตัน

เมื่อ  $\mu_{pe}$ ,  $\mu_{pp}$ ,  $\mu_c$  และ  $\mu$  เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนรวม และของอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก แพร์โปรดักชัน และการกระเจิงคอมป์ตันตามลำดับ ซึ่งมีหน่วยเป็น  $\text{cm}^{-1}$  และมักพบค่า  $\mu$  ในเทอมของ  $\mu/\rho$  ซึ่งได้จากการนำค่าความหนาแน่น  $\rho$  (physical density) ของตัวกลางไปหารค่า  $\mu$  สัมประสิทธิ์การลดทอนนี้อาจกล่าวในรูปของเทอมสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (mass attenuation coefficient) ซึ่งมีหน่วยเป็น  $\text{cm}^2/\text{g}$  ดังสมการ



$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu_{pe}}{\rho} + \frac{\mu_{pp}}{\rho} + \frac{\mu_c}{\rho} \dots\dots\dots(2.11)$$

ซึ่งสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมาและชนิดของสสารที่รังสีแกมมาทำอันตรกิริยา  $\frac{\mu_{pe}}{\rho}$  และ  $\frac{\mu_c}{\rho}$  มีค่ามากเมื่อรังสีพลังงานต่ำ จะลดลงเมื่อพลังงานมีค่ามากขึ้นและ  $\frac{\mu_{pp}}{\rho}$  มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าพลังงาน



รูปที่ 2.7 ค่า  $\mu/\rho$ ,  $\mu_{pe}/\rho$ ,  $\mu_{pp}/\rho$  และ  $\mu_c/\rho$  ของตะกั่ว[1]

จากรูปที่ 2.7 แสดงค่า  $\mu/\rho$  ของตะกั่ว จะเห็นได้ว่าค่า  $\mu_{pe}/\rho$  และ  $\mu_c/\rho$  ลดลงเมื่อรังสีแกมมาพลังงานสูงขึ้น ส่วนค่า  $\mu_{pp}/\rho$  จะเริ่มที่พลังงาน 1.022 MeV และสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อรังสีแกมมาพลังงานสูงขึ้น ถ้าพิจารณา ( $\mu/\rho$ ) รวม จะเห็นได้ว่าพลังงานรังสีแกมมาที่เท่ากับ 3.5 MeV มีค่ารวมที่ต่ำสุด และในช่วงพลังงาน 0.5 ถึง 5 MeV ค่า  $\mu_c/\rho$  ของตะกั่วสูงกว่า  $\mu_{pe}/\rho$  และ  $\mu_{pp}/\rho$  ซึ่งในช่วงพลังงานดังกล่าวอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นแบบกระเจิงคอมป์ตัน เนื่องจากค่า  $\sigma_{pe}$  และ  $\sigma_{pp}$  ขึ้นอยู่กับค่าเลขอะตอมของตัวกลางอย่างมาก ดังนั้นธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำช่วงที่  $\mu_c/\rho$  จะมีค่ามากกว่า  $\mu_{pe}/\rho$  และ  $\mu_{pp}/\rho$  จึงมีช่วงกว้างกว่า ตัวอย่างเช่น อะลูมิเนียม ค่า  $\mu_c/\rho$  จะมีค่ามากกว่า  $\mu_{pe}/\rho$  และ  $\mu_{pp}/\rho$  ในช่วงที่รังสีแกมมามีพลังงาน 0.06 ถึง 20 MeV กรณีที่รังสีแกมมามีพลังงานต่ำกว่า 1.022 MeV ค่า  $\mu_{pp}/\rho$  จะเท่ากับ 0

### 2.1.3 การทะลุผ่านตัวกลางของรังสีแกมมาพลังงานเดียว

เมื่อลำรังสีแกมมาพลังงานเดียวตกกระทบผ่านซึ่งอาจเกิดอันตรกิริยาได้ทั้ง 3 แบบตามอันตรกิริยาข้างต้น ความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านตัวกลางไปได้จะขึ้นอยู่กับชนิดต้นกำเนิดรังสี ซึ่งต้นกำเนิดรังสีแต่ละชนิดจะมีพลังงานและความเข้มรังสีที่ตกกระทบกับตัวกลางต่างกัน รวมถึงชนิดและความหนาของตัวกลาง ทำให้มีช่วงพลังงานหนึ่งที่มีความเข้มของรังสีผ่านตัวกลางได้โดยไม่เกิดอันตรกิริยาใด ๆ เลย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีที่ไม่เกิดอันตรกิริยาใดๆ ( $I_x$ ) กับความเข้มรังสีที่ตกกระทบกับตัวกลาง ( $I_0$ ) สามารถหาได้โดยการอินทิเกรตสมการที่ 2.11 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็น

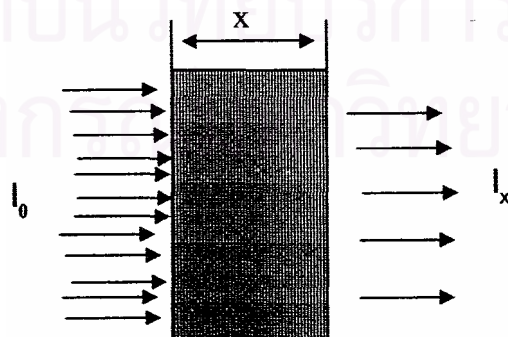
$$I_x = I_0 e^{(-\mu x)} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

เมื่อ  $I_0$  คือ ความเข้มรังสีเริ่มต้น (count/s)

$I_x$  คือ ค่าความเข้มที่ผ่านตัวกลาง (count/s)

$\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของตัวกลาง ( $\text{cm}^{-1}$ )

$x$  คือ ความหนาของตัวกลาง (cm)



รูปที่ 2.8 แผนภาพการลดทอนความเข้มของรังสีแกมมาเมื่อผ่านตัวกลาง[8]

## 2.2 หัววัดรังสีแกมมา

### 2.2.1 หัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน

หัววัดชนิดนี้อาศัยหลักการที่การดูดกลืนรังสีแกมมา ทำให้ไอเล็กตรอนของอะตอมของผลึกสารที่ใช้เป็นหัววัดเปลี่ยนขึ้นไปอยู่ในวงโคจรที่สูงขึ้น เมื่อกลับสู่สภาวะปกติจึงปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงวาบ(scintillation) ความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนในหัววัดรังสี ดังนั้นการใช้อุปกรณ์อ่านความเข้มของแสง แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจึงเป็นหลักการสำคัญของหัววัดรังสีประเภทนี้ หัววัดรังสีแกมมาชนิดซินทิลเลชัน สามารถแบ่งแยกตามลักษณะของสารเรืองแสงได้ดังนี้

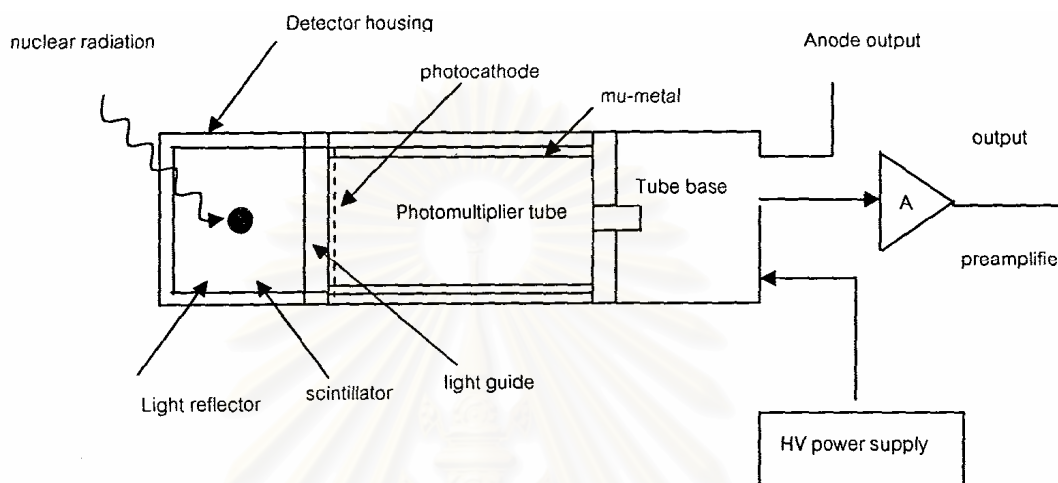
2.2.1.1 สารเรืองแสงชนิดอินทรีย์ อาศัยหลักการเกิดกระตุ้นของไอเล็กตรอนเมื่อสารรังสีดูดกลืนพลังงานจากรังสี ไอเล็กตรอนจะกลับสู่สภาวะเดิมต้องปล่อยพลังงานส่วนเกินออกไปในรูปของแสง การเกิดการเรืองแสงในสารอินทรีย์นี้เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานทำให้สามารถใช้งานสารเรืองแสงชนิดอินทรีย์ได้หลายสภาวะ ทั้งของเหลวและของแข็ง เช่น แบบที่เป็นผลึกอินทรีย์บริสุทธิ์ แอนทราซีน และแบบสารละลายอินทรีย์ที่ถูกเพิ่มธาตุที่มีค่าอะตอมสูงๆ เช่น ตะกั่ว หัววัดรังสีชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการวัดรังสีบีตาพลังงานต่ำและรังสีชนิดอนุภาคมีประจุอื่น ๆ

2.2.1.2 สารเรืองแสงชนิดอนินทรีย์ เมื่อมีพลังงานจากรังสีถ่ายเทไปสู่ไอเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานวาเลนซ์แบนด์ ทำให้ไอเล็กตรอนหลุดไปอยู่ในคอนดักชันแบนด์ และเมื่อไอเล็กตรอนจะกลับมาสู่สภาวะเดิมจะต้องปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาซึ่งจะอยู่ในรูปของแสงและสารอนินทรีย์นี้จะมีโครงสร้างที่แน่นอนคงตัว อยู่ในรูปที่เป็นของแข็งและมีการเดิมที่ทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ลงไปในสารอนินทรีย์ ซึ่งเรียกว่า สารเจือปน(impurity) เช่น แบบชนิดอัลคาไลด์ ได้แก่ หัววัดโซเดียมไอโอไดด์(ทลเลียม) ซีเซียมไอโอไดด์(ทลเลียม) แบบชนิดแก้วเรืองรังสี ซึ่งทำจากแก้วซิลิกาที่บรรจุลิเทียมและแอกติเวตซีเรียมลงไป

#### ก. หัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม)

หัววัดรังสีแกมมาชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) เป็นหัววัดรังสีชนิดซินทิลเลเตอร์ มีโดยมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำอันตรกิริยากับรังสีแกมมา และเกิดแสงวาบ ต่อเชื่อมกับส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนประกายแสงเป็นสัญญาณไอเล็กตรอนและ

ทวีคูณอิเล็กตรอน (Photomultiplier tube, PMT) ซึ่งห่อหุ้มด้วยวัสดุ ( $\mu$ -metal) ป้องกันการรบกวนของสนามแม่เหล็กเพื่อมิให้ของอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนจากบริเวณ ไดโนด (dynode) ซึ่งมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพ



รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของหัววัดรังสีแกมมาชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม)

จากรูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) มีดังนี้

ก. ผลึกโซเดียมไอโอไดด์ [NaI(Tl)crystal] เป็นซินทิลเลเตอร์แบบสารอนินทรีย์ (inorganic) ซึ่งมีความหนาแน่น 3.37 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เลขอะตอมของไอโอดีนเท่ากับ 53 ซึ่งสูงพอที่จะดูดกลืนรังสีแกมมาพลังงานต่ำและปานกลางได้โดยผลึกโซเดียมไอโอไดด์จะเกิดการเรืองแสงที่อุณหภูมิต่ำได้ คือ ที่อุณหภูมิที่ไนโตรเจน (liquid nitrogen temperature) ถ้าทำการผสม impurities ของทลเลียม (Tl) ลงไป จะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเรืองแสง (scintillation) ได้ที่อุณหภูมิต่ำ ผลึกโซเดียมไอโอไดด์จะดูดความชื้นได้ดีจึงต้องปิดด้วยภาชนะที่ปิดสนิทด้วยอะลูมิเนียม คุณสมบัติอีกอย่างของผลึกชนิดนี้คือมีค่าดัชนีหักเหของแสง 1.85 ซึ่งนับว่าสูงทำให้แสงที่เกิดขึ้นในผลึกอันเนื่องมาจากเกิดรังสีแกมมาเดินผ่านไปได้ง่าย โดยกระบวนการเกิดแสงวาบหรือซิลทิลเลชัน คือ กระบวนการดูดกลืนพลังงานโดยตัวกลางแล้วเปล่งประกายแสงออกมาสามารถเห็นได้เรียกว่า การเรืองแสง (Fluorescence) สามารถเกิดได้ทั้งสารอินทรีย์ (Organic) และสารอนินทรีย์ (Inorganic) โดยมีกลไกคล้ายกันคือการเกิดเอกซ์ไซเตชัน (Excitation) ของ

อิเล็กตรอนจากภาวะปกติไปสู่ภาวะกระตุ้นที่ระดับพลังงานหนึ่ง และกลับไปสู่ภาวะปกติด้วยการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นแสงที่มนุษย์เห็นได้

ข. หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tubes) เป็นหลอดที่ต่อจากผลึกโซเดียมไอโอไดด์มีหน้าที่ผลิตกระแส pulse จากการกระตุ้นเพียงเล็กน้อยจากการเกิดแสงวาบ (scintillation) ของผลึกโซเดียมไอโอไดด์ โดยหน้าที่หลักของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์มี 2 อย่างคือ เปลี่ยนแสงให้เป็นอิเล็กตรอนและขยายสัญญาณทวีจำนวนอิเล็กตรอน

ค. แหล่งจ่ายไฟที่ความต่างศักย์สูง (High voltage power supply) เป็นส่วนที่สามารถเพิ่มหรือลดความต่างศักย์ที่ใดโนดแต่ละคู่การเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง จะมีผลต่อการขยายสัญญาณอย่างมาก ดังนั้นเวลาที่เลือกซื้อเครื่องวัดรังสีแกมมาจะต้องเลือกเครื่องที่ปรับค่าความต่างศักย์ได้และให้ศักดาไฟฟ้าสูงคงที่ตลอดช่วงการใช้งานติดต่อกันเวลานาน

#### ง. ส่วนประกอบอื่นๆของหัววัดรังสีมีดังนี้

1. คอลลิเมเตอร์ (Collimator) เป็นอุปกรณ์ที่วางอยู่หน้าผลึกทำหน้าที่จำกัดขอบเขตการวัดรังสีของหัววัดรังสีและขจัดโฟตอนที่เกิดจากการกระเจิงไม่ให้เข้าหัววัดได้ ซึ่งส่วนมากทำจากตะกั่ว

2. ผงสะท้อนแสง (Reflecting Powder) เป็นวัสดุ  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  หรือ  $MgO$  ล้อมรอบผลึกยกเว้นที่ติดกับหลอดโฟโตมัลติพลาย เพื่อให้ประกายแสงที่เกิดขึ้นในทิศทางต่างๆของผลึก สะท้อนเข้าไปในหัววัดให้มากที่สุด

3. กระจกกั้นแสง (Light-Tight Can) กระจกกั้นจะทำจากอะลูมิเนียม นอกจากป้องกันแสงจากแหล่งอื่นที่ไม่ได้มาจากสารกัมมันตรังสีแล้ว ยังป้องกันผลึกโซเดียมไอโอไดด์จากความชื้นด้วย

4. ตัวรวบรวมอิเล็กตรอน (Integrator) เป็นตัวรวมอิเล็กตรอนที่ออกมาจากหลอดโฟโตมัลติพลาย ให้กลายเป็นคลื่นที่มีแรงดันไฟฟ้า (electric pulse) ที่เป็นสัดส่วนกับประจุของอิเล็กตรอน ซึ่งเครื่องมือที่ทำหน้าที่นี้คือ ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

5. ไลท์ไพพ์ (Light pipe) เป็นสารพวก polymethyl methacrylate, lucite, polystyrene หรือ mineral oil ทำหน้าที่ให้แสงที่เกิดขึ้นในผลึกเดินทางไปยังหลอดโฟโตมัลติพลาย โดยไม่หักเหออกไปเนื่องจากความแตกต่างของดัชนีหักเห

6. วัสดุกำบังรังสี (Shield) เป็นตะกั่วหนาล้อมส่วนที่เป็นหัววัดรังสีทั้งหมด เหลือที่ว่างไว้สำหรับใส่สารที่จะวัดเท่านั้นหรือบริเวณด้านหน้าของผลึกโซเดียมไอโอไดค์ วัสดุกำบังรังสีจะช่วยไม่ให้รังสีจากที่อื่นที่ไม่ต้องการมาถูกหัววัดรังสีด้วยเพราะจะทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้อง

7. วัสดุกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Shield หรือ  $\mu$ -metal) เนื่องจากการทำงานของหัววัดรังสี ถ้ามีสนามแม่เหล็กมารบกวนจะทำให้ค่านับวัดผิดพลาด

### 2.2.2 หัววัดรังสีแกมมาชนิดสารกึ่งตัวนำ

หลักการทำงานคล้ายกับหัววัดชนิดบรรจุก๊าซชนิดไอออนไนเซชันแชนเบอร์ ต่างกันที่ตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานอยู่ในสถานะของแข็ง เมื่อตกกระทบสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดปริมาณคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นทำหน้าที่ประจุพาหะในการสร้างสัญญาณไฟฟ้า หัววัดชนิดนี้จะตอบสนองการวัดพลังงานเชิงเส้นในช่วงกว้าง มีประสิทธิภาพในการวัดสูงเวลาในการวัดสั้น ไม่มีปัญหาเรื่องการรบกวนสัญญาณของสนามแม่เหล็ก และยังสามารถในการแจกแจงพลังงานสูงกว่าหัววัดชนิดอื่นเนื่องจากต้องการพลังงานในการกำเนิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลต่ำเพียง 2-3 eV เท่านั้น จึงเป็นหัววัดรังสีที่มีความสามารถในการแยกพลังงานดีที่สุด ตัวอย่างหัววัดชนิดนี้ได้แก่ หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำสำหรับวัดอนุภาคที่มีประจุ เช่น surface barrier detector, PIPP และ หัววัดสำหรับวัดโฟตอน เช่น Si(Li), high purity germanium (HPGe), cadmium telluride (CdTe) และ cadmium zinc telluride (CdZnTe) เป็นต้น

### 2.3 การนับรังสีและการจัดการทางสถิติ

ให้  $x$  เป็นจำนวนนับรังสี ซึ่งได้จากการวัดเป็นเวลา  $t$  วินาทีและถ้าทำการนับรังสีหลายครั้งรวมเป็นชุดข้อมูลจากการนับรังสีดังนี้  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p, \dots, x_n$

ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเท่ากับ  $x = \frac{\sum x_i}{n}$  เมื่อ  $x_i$  เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

จากสถิติการนับจะเกิดจากการแจกแจงของข้อมูล โดยการแจกแจงที่ใช้ส่วนใหญ่มี 2 แบบคือ

1. แบบปัวซอง (Poisson Distribution) เมื่อจำนวนข้อมูลไม่มาก

ความเป็นไปได้  $P(x) = \frac{(\bar{x})^x e^{-\bar{x}}}{x!}$  ..... (2.13)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma = \sqrt{\bar{x}}$  ..... (2.14)

2. แบบเกาส์เซียนหรือแบบปกติ (Gaussian or Normal Distribution)

ความเป็นไปได้  $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} e^{\left\{ \frac{-(x-\bar{x})^2}{2x} \right\}}$  .....(2.15)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x-\bar{x})^2}}{(n-1)}$  ..... (2.16)

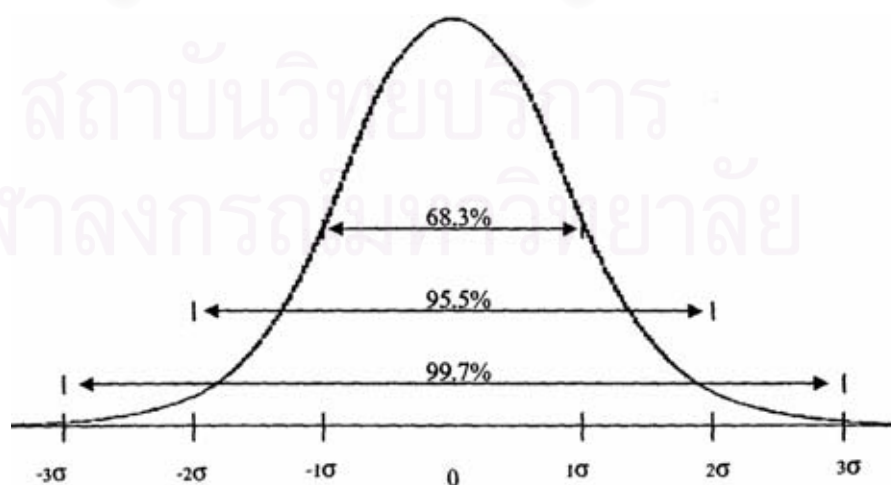
หรือ  $\sigma = \sqrt{\bar{x}}$  .....(2.17)

ในการรายงานค่าการนับรังสีที่ได้จะอยู่ในรูปของ  $x \pm n\sigma$  เมื่อ  $n$  เท่ากับ 1, 2 หรือ 3 ขึ้นอยู่กับความเชื่อมั่นที่ต้องการดังนี้

$x \pm \sigma$  ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 68.3%

$x \pm 2\sigma$  ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 95.5%

$x \pm 3\sigma$  ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 99.7%



รูปที่ 2.10 แผนภาพการแจกแจงข้อมูลทางสถิติแบบเกาส์เซียนหรือแบบปกติ

ในการนับรังสีจะมีทั้งค่าจริง  $x_n$  และค่าเบคกราวด์  $x_b$  ซึ่งซ้อนทับกันอยู่ ถ้าให้  $x_t$  เป็นค่าการนับรังสีรวมที่มีทั้งค่าจริงและค่าเบคกราวด์อยู่จะมีความสัมพันธ์ของค่า  $x_t$ ,  $x_b$  และ  $x_n$  ดังนี้

$$x_t = x_n + x_b \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

หรือ  $x_n = x_t - x_b \quad \dots\dots\dots (2.19)$

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $x_t$  และ  $x_b$  ทำได้ตั้งการคำนวณข้างต้น แต่สำหรับค่า  $x_n$  นั้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณได้จาก

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_b^2} \quad \dots\dots\dots(2.20)$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์ในการทำวิจัยและวิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์สำหรับการวิจัย

- 3.1.1 เครื่องมือนับรังสี Scaler Ratemeter/SCA LUDLUM รุ่น 2200
- 3.1.2 หัววัดรังสีแกมมาชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ ([NaI(Tl)] crystal scintillation detector) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว
- 3.1.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) พลังงาน 662 keV ความแรงแรังสี 4.4 mCi, 200  $\mu$ Ci และ 10  $\mu$ Ci
- 3.1.4 กำบังรังสี (shield) ได้แก่ แผ่นตะกั่ว ภาชนะตะกั่ว
- 3.1.5 แผ่นเหล็กที่มีความหนาแตกต่างกัน
- 3.1.6 ท่อเหล็กกล้าความหนา 6 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 7 นิ้ว สำหรับใช้ในการทดสอบ
- 3.1.7 ถังก๊าซอาร์กอนที่ใช้แล้ว สำหรับใช้แทนท่อเหล็กกล้าเพื่อใช้ในการทดสอบ
- 3.1.8 อุปกรณ์จับและยึดหัววัดรังสีแกมมาและต้นกำเนิดรังสี
- 3.1.9 คอลลิเมเตอร์ (collimator) มีขนาดรูตรงกลางเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว
- 3.1.10 ท่อเหล็กกล้าที่ใช้งานแล้วจากบริษัทที่เอ็นดีทีจำกัด (มหาชน) ความหนา 7.5 มิลลิเมตร สำหรับใช้ในการทดสอบ
- 3.1.13 survey meter สำหรับใช้ในการตรวจสอบระดับรังสี
- 3.1.11 แผ่นโลหะ และแท่งโลหะ (เหล็กและอะลูมิเนียม) สำหรับใช้ในการสร้างอุปกรณ์ขับเคลื่อน ที่สามารถยึดหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสี เข้ากับท่อ
- 3.1.12 นี้อดสำหรับยึด และประกอบอุปกรณ์ขับเคลื่อน

### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.2.1 การวัดความหนาของแผ่นเหล็กในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนในการวิจัย

1. ทดสอบ และปรับตั้งค่าต่าง ๆ ของ Scaler Ratemeter/SCA ดังนี้
  - 1.1 ตั้ง High Voltage ที่ 600 keV
  - 1.2 ตั้งค่า Window ( $\Delta E$ ) และ LLD ที่เหมาะสม สำหรับการวัดรังสีแกมมาในช่วงพีคพลังงาน 662 keV ของ Cs-137 โดยวางต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่มีความแรงต่ำในช่วงประมาณ 1 ไมโครคูรี ไว้ที่บริเวณหน้าหัววัดรังสี
  - 1.3 เปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีให้มีความแรงรังสีที่มีความแรงรังสีสูงขึ้นเป็นประมาณ 200 ไมโครคูรี โดยวางต้นกำเนิดรังสีห่างจากหัววัดรังสีประมาณ 15 เซนติเมตร ทดลองวัดรังสีเพื่อดูจำนวนนับรังสี
2. ตั้งเวลาในการวัด 6 วินาที โดยวัดค่าความเข้มของรังสีขณะที่ยังไม่มีแผ่นเหล็กกั้นระหว่างหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสี ( $I_0$ )
3. นำแผ่นเหล็กที่มีขนาดต่างกันมาวางระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสีโดยเพิ่มความหนาของแผ่นเหล็กขึ้นเรื่อย ๆ แล้วทำการวัด และบันทึกค่าแล้วนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ ทำการวิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย

#### 3.2.2 การวัดความหนาของท่อเหล็กกล้าในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนในการวิจัย

- 1.1 ตั้ง High Voltage ที่ 600 keV
- 1.2 ตั้งค่า Window ( $\Delta E$ ) และ LLD ที่เหมาะสม สำหรับการวัดรังสีแกมมาในช่วงพีคพลังงาน 662 keV ของ Cs-137 เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ผ่านมา

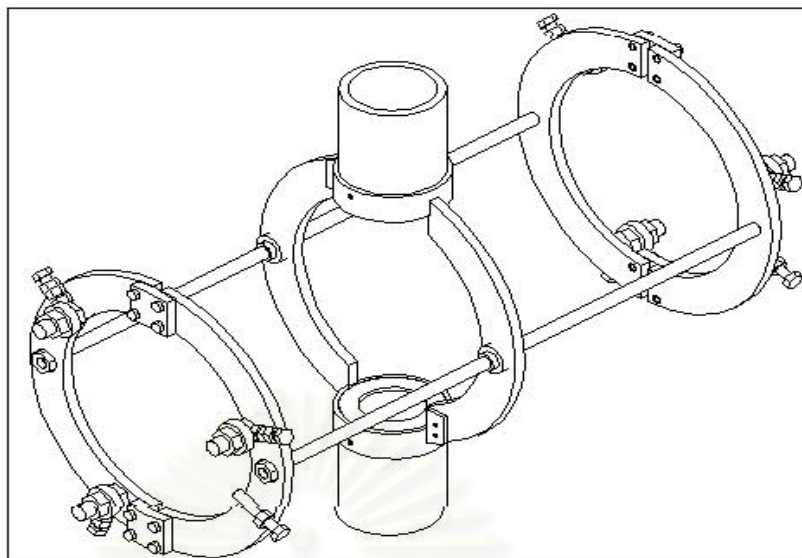
1.3 นำต้นกำเนิดรังสีซีเชียม-137 ที่มีความแรง 200 ไมโครคูรี ใส่ในภาชนะตะกั่ว ที่มีช่องเปิดให้รังสีแกมมาออกมาด้านหน้า และใส่หัววัดรังสีลงในภาชนะตะกั่วรูปทรงกระบอก ซึ่งออกแบบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัววัดรังสีเล็กน้อย

1.4 วางต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสีให้อยู่ห่างกันประมาณ 35 เซนติเมตร

2. ตั้งเวลาในการวัด 6 วินาที และนับรังสีขณะที่ยังไม่มีการเคลื่อนที่ของหัววัดรังสี ( $I_0$ )
3. นำแผ่นเหล็กที่มีความหนาต่าง ๆ กันติดบนผนังด้านนอกของท่อเหล็กหลาย ๆ ตำแหน่ง แล้วนำท่อเหล็กไปวางระหว่างหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสี แล้วทำการนับรังสีที่ทะลุผ่านแต่ละตำแหน่ง และบันทึกค่าแล้วนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

### 3.2.3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี เพื่อใช้ในการวัดการกักร่อน

เนื่องจากการนำอุปกรณ์วัดความหนาของท่อเหล็กไปใช้ในการตรวจวัดการกักร่อนของท่อเหล็กด้านนอกห้องปฏิบัติการและในสถานที่จริง จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ยึดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี รวมทั้งภาชนะตะกั่วที่ใช้บรรจุชิ้นส่วนทั้งสองซึ่งทำหน้าที่เป็นคอลลิเมเตอร์เข้ากับท่อที่ทำกรตรวจสอบ ซึ่งต้องสามารถเลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีพร้อมกันไปตามแนวท่อ และปรับตำแหน่งให้หมุนได้ 360 องศารอบท่อ อย่างไรก็ตามเพื่อให้อุปกรณ์ต้นแบบสามารถใช้ในการทดสอบได้ จึงจำกัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสีไว้เพียงประมาณ 70 เซนติเมตร โดยที่จัดให้หัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสีอยู่ในตำแหน่งตรงกันข้ามกันของผนังท่อเสมอ และสามารถปรับหมุนได้รอบท่อ และจำกัดให้อุปกรณ์นี้สามารถใช้ได้กับท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 นิ้ว เท่านั้น ภาพของอุปกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.3 และแบบเขียนแสดงไว้ในหัวข้อที่ 1 ของภาคผนวก



รูปที่ 3.1 แบบของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่จะสร้างขึ้น

### 3.2.4 การวัดความหนาต่อเหล็กกล้าในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น

#### ขั้นตอนในการวิจัย

1. ตั้งเครื่องนับรังสีให้เล็กวัดเฉพาะช่วงพลังงาน 662 keV ของ Cs-137 เปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีให้มีความแรงรังสีสูงขึ้นเป็น 4.4 มิลลิวรี เพื่อให้ใช้เวลาในการนับรังสีเร็วขึ้น และได้จำนวนนับรังสีสูง
2. ใช้ท่อบรรจุกำมะถันซึ่งเป็นเหล็กกล้าแทนท่อเหล็ก นำอุปกรณ์ขับเคลื่อนที่พัฒนาขึ้นเข้าไปยึดเข้ากับท่อบรรจุกำมะถัน แล้วบรรจุต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีเข้าไปในคอลลิเมเตอร์ ซึ่งอยู่ด้านตรงกันข้ามกันของอุปกรณ์ขับเคลื่อน
3. ตั้งเวลาในการวัด 12 วินาที โดยวัดค่าความเข้มของรังสีในตำแหน่งที่ไม่มีท่อกำมะถัน ( $I_0$ ) จากนั้นทำการวัดรังสีในตำแหน่งต่าง ๆ ของท่อ
4. ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย



รูปที่ 3.2 ภาพการจัดระบบวัดความหนาต่อเหล็กในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์  
ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น

### 3.2.5 การตรวจวัดต่อเหล็กที่มีรอยเชื่อมและผ่านการใช้งานแล้ว โดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อน หัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น

ทางบริษัทไทยเอ็นดีที จำกัด (มหาชน) ได้ให้ความอนุเคราะห์ต่อเหล็กกล้าที่มีรอย  
เชื่อมและผ่านการใช้งานมาแล้ว เพื่อใช้ในการทดสอบกับอุปกรณ์ และเทคนิคที่พัฒนาขึ้น  
เปรียบเทียบกับเทคนิคการตรวจสอบโดยการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และอุลตราโซนิก

การวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ดังนี้

#### 3.2.5.1 การวัดต่อเหล็กกล้าเมื่อมีคอลลิเมเตอร์ และไม่มีคอลลิเมเตอร์

ขั้นตอนในการวิจัย

1. ตั้งค่า Window ( $\Delta E$ ) และ LLD ที่เหมาะสม สำหรับการวัดรังสีแกมมาในช่วง  
พิคพลังงาน 662 keV ของ Cs-137 เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ผ่านมา
2. เปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีให้มีความแรงรังสีที่เหมาะสมกับขนาดความหนาของต่อ  
เหล็ก โดยนำเข้าไปใส่ในอุปกรณ์สำหรับใส่ต้นกำเนิดรังสีซึ่งมีคอลลิเมเตอร์

ด้วย ทั้งส่วนของหัววัดและส่วนต้นกำเนิดรังสี แล้วนำไปบรรจุในอุปกรณ์  
จับเคลื่อน

3. ตั้งเวลาในการวัด 30 วินาที ในแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 นิ้วตามความยาวของ  
ท่อ โดยวัด 3 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง
4. ทำการตรวจวัด โดยเคลื่อนไปตามแนวแกนตามตำแหน่งที่กำหนด และ  
บันทึกค่าแล้วนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย



รูปที่ 3.3 ภาพการจัดระบบวัดท่อเหล็กกล้าที่ใช้งานจริง โดยใช้อุปกรณ์จับเคลื่อนหัววัดรังสี  
และต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (มีคอลลิเมเตอร์หน้าหัววัดรังสี)



รูปที่ 3.4 ภาพการจัดระบบวัดท่อเหล็กกล้าที่ใช้งานจริง โดยใช้อุปกรณ์จับเคลื่อนหัววัดรังสี  
และต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (ไม่มีคอลลิเมเตอร์หน้าหัววัดรังสี)

### 3.2.5.2 การตรวจสอบท่อเหล็กกล้าที่มีรอยเชื่อมและที่ใช้งานแล้ว เปรียบเทียบกับ เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสี และอุลตราโซนิค

การวิจัยขั้นตอนนี้ใช้ท่อเหล็กกล้าที่ใช้ในขั้นตอนที่ผ่านมา แต่ได้นำไปปาดผิวด้วยเครื่องกลึง เพื่อลดความหนาของผนังท่อลงไปบางตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยตำแหน่งที่ 1 เป็นผนังท่อเดิม หนา 14.0 มม. ตำแหน่งที่ 2 ปาดผิวลงไป 0.4 มม. จึงเหลือความหนา 13.6 มม. ตำแหน่งที่ 3 เป็นรอยเชื่อม และตำแหน่งที่ 4 ปาดผิวลงไป 0.2 มม. จึงเหลือความหนา 13.8 มม. แล้วนำท่อไปตรวจสอบด้วยเทคนิคและอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 และวิธีอุลตราโซนิก



รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งในการวัดท่อเหล็กกล้าที่มีรอยเชื่อม ผ่านการปาดผิวให้มีความหนาต่างกัน (ตำแหน่งที่ 1 หนา 14.0 มม. ตำแหน่งที่ 2 หนา 13.6 มม. ตำแหน่งที่ 3 เป็นรอยเชื่อม และตำแหน่งที่ 4 ความหนา 13.8 มม.)



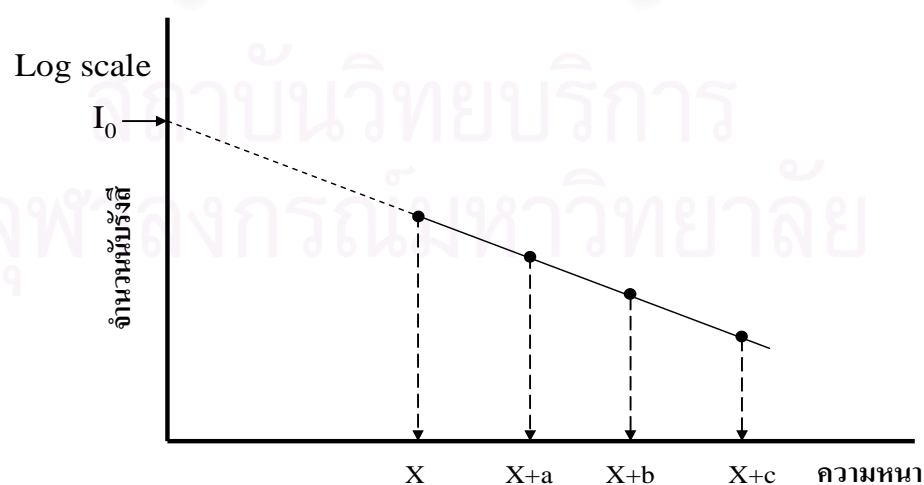
รูปที่ 3.6 ภาพแสดงการตรวจสอบด้วยเทคนิคถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาต่อเหล็กกล้า



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการตรวจสอบท่อเหล็กกล้าด้วยวิธีอัลตราโซนิก

### 3.2.6 การทดสอบวิธีการหาความหนาของท่อเหล็กด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

จากการตรวจวัดการกักร่อนของท่อเหล็กกล้าในขั้นตอนวิจัยที่ผ่านมา พบว่าวิธีการส่งผ่านรังสีแกมมา โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นน่าจะใช้ในการหาความหนาของผนังท่อที่ทำการตรวจสอบได้ด้วย ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการปฏิบัติงานจริง จึงได้นำเสนอเทคนิคการเพิ่มความหนาของผนังท่อโดยการนำแผ่นเหล็กที่ทราบความหนาไปวางที่ผนังท่อ แล้ววัดความเข้มรังสีทะลุผ่านที่แต่ละความหนาที่เพิ่มเข้าไป โดยทำอย่างน้อย 3 - 4 ค่าความหนา จากนั้นนำข้อมูลจำนวนนับรังสีไปเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 3.10 จากจุดตัดระหว่างกราฟเส้นตรงกับค่า  $I_0$  ทำให้สามารถหาค่าความหนาของผนังท่อ (X) ได้



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการเขียนกราฟเพื่อหาความหนาของผนังท่อเหล็ก



### ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

1. ตั้งค่า Window ( $\Delta E$ ) และ LLD ที่เหมาะสม สำหรับการวัดรังสีแกมมาในช่วง พิกพลังงาน 662 keV ของ Cs-137 เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ผ่านมา
2. วางต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสีให้อยู่คนละด้านกันของท่อเหล็กที่ต้องการ วัดความหนา แล้ววัดรังสีเป็นเวลา 60 วินาที (สมมุติว่ามีความหนา = X)
3. วางแผ่นเหล็กที่ทราบความหนา (สมมุติว่ามีความหนา = a) บนผนังท่อ เพื่อให้กั้นลำรังสีที่เข้าหัววัดรังสี แล้ววัดรังสีเป็นเวลา 60 วินาที
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ผ่านมาโดยเพิ่มความหนาของแผ่นเหล็กเป็น b และ c ตามลำดับ
5. นำท่อเหล็กออกไป เพื่อมิให้มีสิ่งใดอยู่ระหว่างต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสี นับรังสีเป็นเวลา 60 วินาที ( $I_0$ )
6. นำข้อมูลไปเขียนกราฟ เพื่อหาค่าความหนา X

### 3.2.7 การทดสอบอุปกรณ์ในภาคสนาม

การวิจัยขั้นนี้ได้ทดลองนำอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปวัดการกักร่อนของท่อสูบน้ำเสีย ในภาคสนาม โดยติดตั้งอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับท่อที่ทำการตรวจสอบ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 10 นิ้ว ทำการนับรังสีที่ตำแหน่งต่าง ๆ เป็นเวลา 60 วินาที ผลการวิจัยแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.8



ก. ด้านล่างของท่อ



ข. ด้านบนของท่อ

รูปที่ 3.9 ภาพแสดงการทดสอบอุปกรณ์ในภาคสนาม

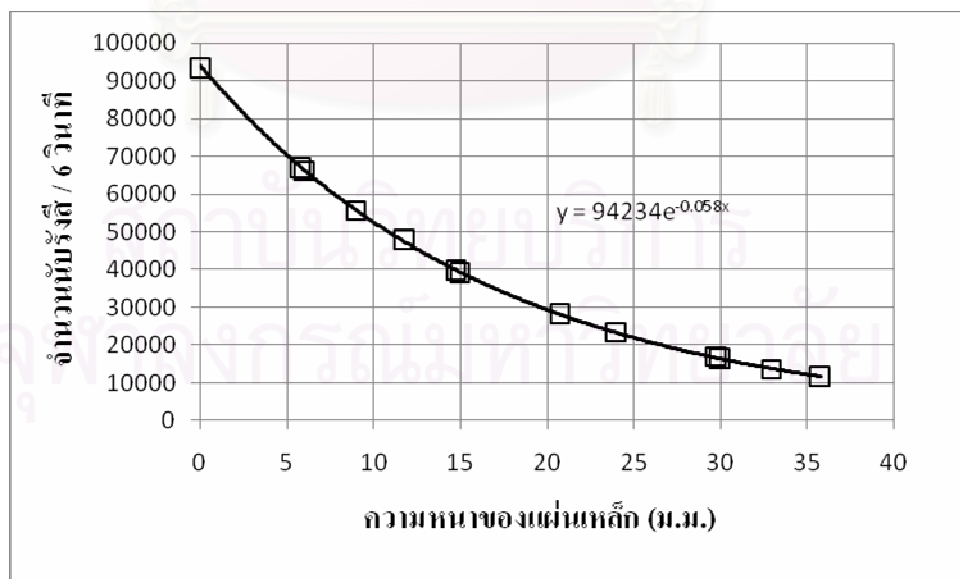
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการวัดความหนาของแผ่นเหล็กในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.1 ผลการนับรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านแผ่นเหล็กที่มีความหนาต่าง ๆ กัน

ความหนาของแผ่นเหล็ก (ม.ม.)	จำนวนนับรังสี/6 วินาที
5.8	67109
6.0	66312
9.0	55758
11.8	47984
14.8	39865
15.0	39325
20.8	28271
24.0	23389
29.8	16998
30.0	16550
33.0	13598
35.8	11623



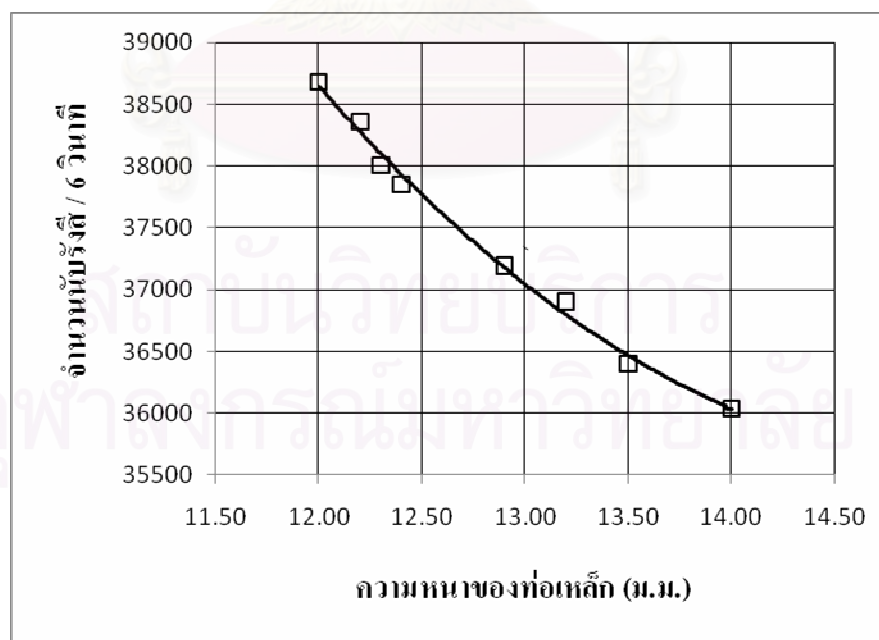
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีกับความหนาของแผ่นเหล็ก

จากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าจำนวนนับรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านแผ่นเหล็กลดลงเมื่อความหนาของแผ่นเหล็กเพิ่มขึ้น โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีกับความหนาของแผ่นเหล็ก มีลักษณะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) ซึ่งเป็นไปตาม Lambert's law

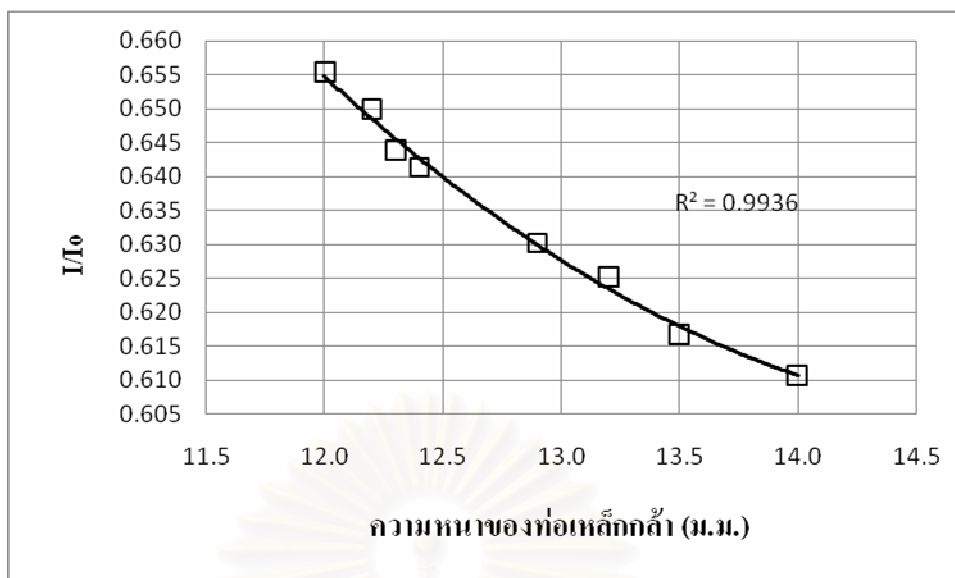
#### 4.2 ผลการวัดความหนาของท่อเหล็กกล้าในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.2 ผลการนับรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านผนังท่อเหล็กความหนาต่าง ๆ กัน

ความหนาของผนังท่อเหล็ก (ม.ม.)	จำนวนนับรังสี/6 วินาที
$I_0$	59014
12.0	38681
12.2	38360
12.3	38006
12.4	37851
12.9	37195
13.2	36902
13.5	36398
14.0	36037



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีกับความหนาของผนังท่อเหล็ก



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีต่อ  $I_0$  กับความหนาของแผ่นทอเหล็ก

จากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.2 และกราฟในรูปที่ 4.2 และ 4.3 จากทอเหล็กความหนาปกติ คือ 12 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นทอที่ไม่ได้เกิดการกัดกร่อนหรือเกิดตะกอน และสามารถที่จะคำนวณตามหลักการทางสถิติว่าจำนวนนับรังสีจะอยู่ในช่วง  $38681 \pm 3\sigma$  หรือจำนวนนับรังสีอยู่ระหว่าง 38091 ถึง 39271 ต่อ 6 วินาที เมื่อทำการเพิ่มความหนาของแผ่นทอเหล็กอีก 0.2 มิลลิเมตร จำนวนนับรังสี คือ 38360 ต่อ 6 วินาที แสดงถึงความไวในการวัดว่าไม่สามารถบอกได้ว่าความหนาของทอเหล็กมีความเปลี่ยนแปลงหรือยังไม่สามารถสรุปได้ว่าความหนาของทอเหล็กมีความหนาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นทอเหล็กอีก 0.3 มิลลิเมตร ได้จำนวนนับรังสี 38006 ซึ่งอยู่นอกช่วง  $38681 \pm 3\sigma$  หรือจำนวนนับรังสีอยู่ระหว่าง 38091 ถึง 39271 แสดงว่าสามารถบอกได้ว่าทอเหล็กนี้มีความหนาเพิ่มขึ้น ในภาพรวมจะเห็นได้ว่าจำนวนรังสีลดลงเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นทอเหล็กดังรูปที่ 4.2 และจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการส่งผ่านรังสีแกมมา เช่นเดียวกับรูปที่ 4.1 ในขั้นตอนที่ผ่านมา

#### 4.3 อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี

ในการออกแบบอุปกรณ์ขับเคลื่อนในงานวิจัยนี้ อุปกรณ์สามารถจะเคลื่อนไปตามแนวนอนของท่อซ้ายขวาได้ในระยะ 70 เซนติเมตร ซึ่งใช้แบบริงชนิดสไลด์ (bearing) เป็นอุปกรณ์ในการรับ

น้ำหนักและสไลด์อยู่บนแกนนำ อุปกรณ์ต้องรองรับได้แก่ หัววัดรังสี, ตะกั่วซึ่งเป็นคอลลิเมเตอร์สำหรับหัววัด, กระจกกอลูมิเนียมเพื่อบรรจุชุดหัววัดรังสี, ตะกั่วเพื่อบรรจุต้นกำเนิดรังสีซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันรังสีด้วย และ กระจกกอลูมิเนียมเพื่อบรรจุชุดของต้นกำเนิดรังสี ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากก็คือแบริง ( bearing) เพื่อให้การตรวจวัดสามารถวัดในตำแหน่งที่ต้องการวัดได้

ผังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพการเคลื่อนที่ในแนวนอนท่ของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี  
(รูปบน กลาง และ ล่าง แสดงถึงตำแหน่งการวัดในแนวนอนของท่อ)

และในการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนรอบต่อ 360 องศา ต้องคลายสกรูยึดทั้งสองด้านซ้าย และขวา รวมทั้งหมด 6 ตัว ก็จะสามารถหมุนรอบต่อได้ ดังรูป



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 4.5 ภาพการเคลื่อนที่ 360 องศา รอบต่อ ของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี

#### 4.4 ผลการวัดความหนาต่อเหล็กในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น

เนื่องจากท่อเหล็กที่นำมาเป็นตัวอย่างในการวัดเป็นท่อเหล็กบรรจุก๊าซอาร์กอน เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 นิ้ว ซึ่งมีความดันสูงมาก บริษัทจึงนำเข้าถึงก๊าซที่ผลิตจากต่างประเทศเข้ามาและไม่ทราบถึงความหนาของถึงก๊าซ แต่มีข้อมูลว่า บริเวณก้นถังและไหล่ถังจะมีความหนามากกว่า ส่วนกลางของถังและจะมีความหนาในลักษณะจากก้นถังขึ้นไปบางลงเรื่อยๆ และจะมีความหนาเพิ่มขึ้นอีกเมื่อใกล้จะถึงไหล่ถัง ซึ่งในตอนแรกก่อนทำการตรวจวัดไม่ทราบว่ามีความหนาเป็นลักษณะเช่นนี้ ในการวัดจะทำตำแหน่งในการวัดจากก้นถังห่างกันแต่ละตำแหน่ง 2 นิ้ว ขึ้นไปยังส่วนกลางของท่อ แต่ละตำแหน่งจะวัด 3 ครั้ง นาน 12 วินาทีทั้งหมด 8 ตำแหน่ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวนนับรังสีได้เป็น  $I_{avg}$  และคำนวณหาค่า  $I_{avg}/I_0$  เพื่อวิเคราะห์การทะลุผ่านของความเข้มรังสีแกมมา ได้ผลการตรวจวัดท่อเหล็ก (ถึงก๊าซอาร์กอน) ดังตารางที่ 4.4

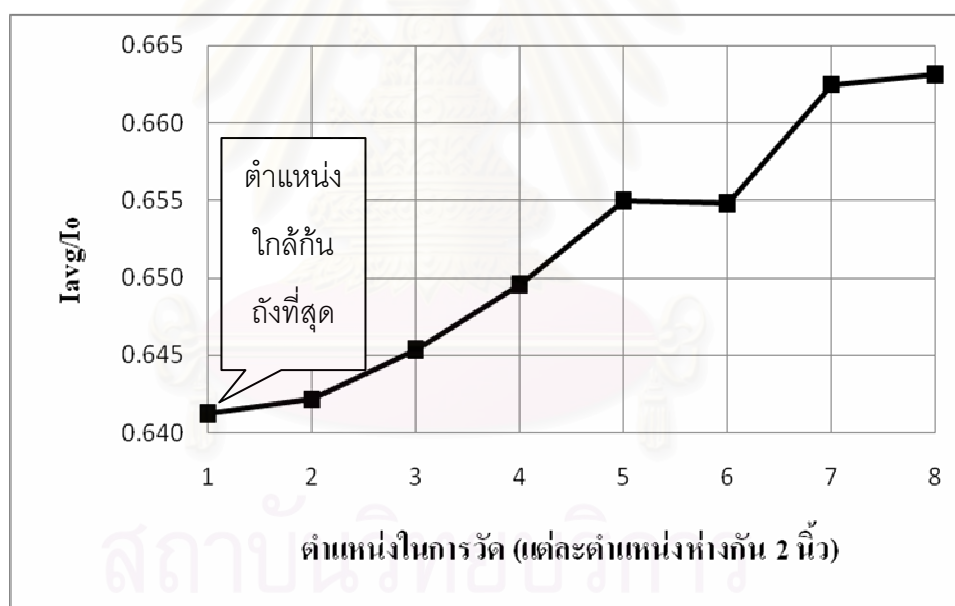


รูปที่ 4.6 ภาพการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็ก (ถึงก๊าซอาร์กอน)

ตารางที่ 4.3 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดท่อเหล็กในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์จับเคลื่อน  
หัววัดรังสีและต้น กำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น

ตำแหน่งในการวัด	I1	I2	I3	Iavg	Iavg/Io
1	167906	168378	167480	167921	0.641242
2	167710	168108	168675	168164	0.642170
3	169386	168899	168721	169002	0.645368
4	169698	170493	170098	170096	0.649547
5	171682	171272	171577	171510	0.654947
6	171346	171122	171949	171472	0.654802
7	172980	173515	173942	173479	0.662465
8	173717	173604	173631	173651	0.663120
Io	261909	261454	262244	261869	1.000000

หมายเหตุ I1, I2 และ I3 คือ จำนวนนับรังสีครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ภาพแสดงการนับรังสีของท่อเหล็ก (ถึงก๊าซอาร์กอน)

จากผลการตรวจวัดท่อเหล็กดังตารางที่ 4.4 ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงกันถึงมากที่สุด ค่าจำนวนนับรังสีจะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ และจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของการทะลุผ่านน้อยกว่าตำแหน่งการวัดอื่นๆ เช่นกัน จากเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านมากขึ้นเรื่อยๆ ของกราฟ และจากจำนวนนับรังสีที่เพิ่มขึ้น สามารถทราบได้ว่าตำแหน่งที่ 8 มีความหนาบางกว่าตำแหน่งอื่นๆ



#### 4.5 ผลการตรวจวัดท่อเหล็กที่มีรอยเชื่อมและผ่านการใช้งานแล้ว โดยใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น

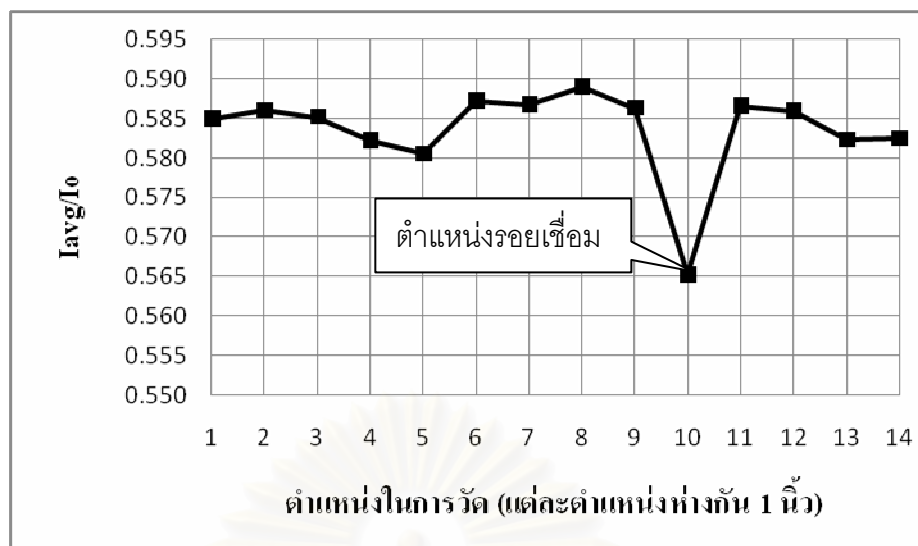
##### 4.5.1 ผลการวัดท่อเหล็กกล้าเมื่อมีคอลลิเมเตอร์ และไม่มีคอลลิเมเตอร์

ทางบริษัท ไทยเอ็นดีที จำกัด (มหาชน) ได้ให้ความอนุเคราะห์โดยให้ท่อเหล็กที่ใช้งานจริงในสถานที่จริงมาตรวจวัดซึ่งมีรอยเชื่อม มีความหนาของท่อ 7.5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเหล็ก 8 นิ้ว เมื่อทำการตรวจวัดโดยไม่มีการเพิ่มความหนาใดที่ท่อ และในการวัดแต่ละตำแหน่งจะห่างกัน 1 นิ้ว วัด 3 ครั้ง เนื่องจากมีคอลลิเมเตอร์ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้วที่หัววัดรังสีด้วยในการวัดในตอนแรกนั้นจะวัดเพียง 12 วินาที สังเกตว่าจำนวนนับรังสีมีค่าน้อยลงกว่าการวัดในเวลาเดียวกันเนื่องจากมี คอลลิเมเตอร์ ทำให้โฟตอนที่ไปตกกระทบที่หัววัดน้อยลง ดังนั้นในแต่ละครั้งใช้เวลาในการวัด 30 วินาทีเพื่อให้จำนวนนับรังสีมากพอ แล้วนำจำนวนนับรังสีที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ( $I_{avg}$ ) แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านท่อเหล็กไปยังหัววัดโดยนำ  $I_{avg}/I_0$  ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยใช้  
อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (มีคอลลิเมเตอร์)

ตำแหน่งในการวัด (นิ้ว)	I1	I2	I3	$I_{avg}$	$I_{avg}/I_0$
1	256275	259042	258224	257847	0.585003
2	258894	258279	257719	258297	0.586024
3	258035	258090	257656	257927	0.585184
4	256632	256280	257003	256638	0.582260
5	255917	255860	255669	255882	0.580545
6	259002	259049	258430	258827	0.587226
7	258038	258060	259009	258596	0.586702
8	259344	259834	259690	259623	0.589032
9	258803	257778	258690	258424	0.586312
10 (รอยเชื่อม)	248325	249600	249516	249147	0.565264
11	259941	257425	258081	258559	0.586618
12	255888	257654	258204	258249	0.585915
13	256633	256295	257092	256673	0.582339
14	256096	257092	257005	256731	0.582471
$I_0$	440682	440695	440908	440762	1.000000

หมายเหตุ I1, I2 และ I3 คือ จำนวนนับรังสีครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้ว (มีคอลลิเมเตอร์)

จากผลการนับรังสีในตารางที่ 4.5 ตำแหน่งอื่นๆยกเว้นตำแหน่งที่ 10 ซึ่งมีรอยเชื่อมค่าจำนวนนับรังสีที่วัดได้ถือว่าใกล้เคียงกัน ส่วนในตำแหน่งที่ 10 จะเห็นได้ชัดเจนว่า จำนวนนับรังสีจะลดลงเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ และในตำแหน่งอื่นๆ สามารถนำค่ามาคำนวณในทางสถิติเพื่อนำค่ามาวิเคราะห์ได้เป็น  $I_{avg} \pm 3\sigma$  ซึ่งเท่ากับ  $257867 \pm 1523$  หรือจำนวนนับรังสีที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 25635 ถึง 259399 ถือว่าความหนาของท่อเหล็กไม่มีความเปลี่ยนแปลง หรือมีความผิดปกติ นอกจากนั้นยังสามารถสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.8 ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าตำแหน่งที่มีความหนาเป็นปกติ 12 มิลลิเมตร จะมีเปอร์เซ็นต์ในการทะลุผ่านไปยังหัววัดได้ประมาณ 58 % แต่ตำแหน่งที่มีรอยเชื่อมจะมีเปอร์เซ็นต์ทะลุผ่านได้เพียง 56% เนื่องจากมีความหนาเฉลี่ยมากกว่าตำแหน่งอื่น

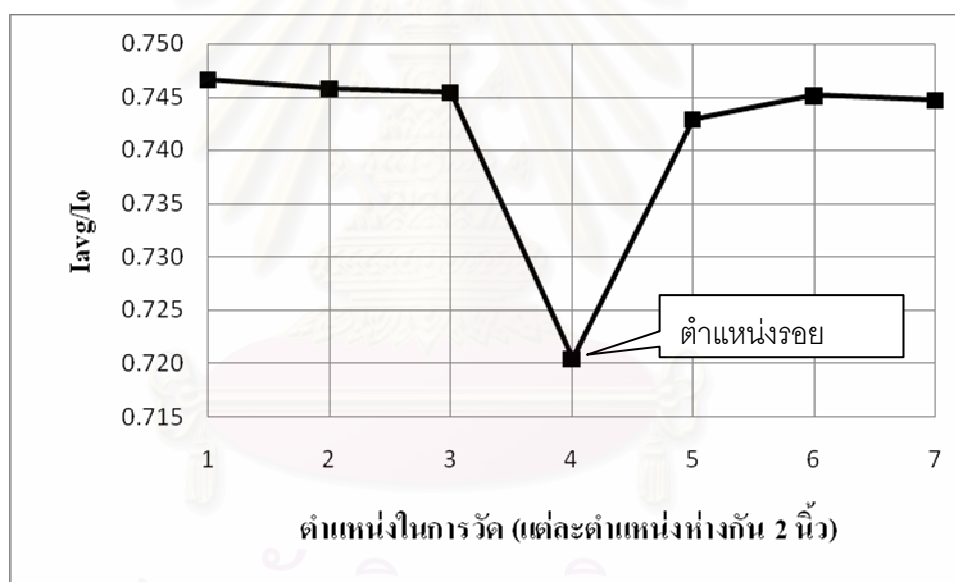
#### 4.5.2 ผลการตรวจวัดท่อเหล็กที่มีรอยเชื่อมไม่มีคอลลิเมเตอร์

ในการตรวจวัดท่อเหล็กนี้มีวิธีและข้อกำหนดเช่นเดียวกับการตรวจวัดในข้อ 4.5.1 จะต่างที่เวลาในการวัดแต่ละครั้งใช้เวลาวัด 12 วินาที และระยะห่างของแต่ละตำแหน่ง 2 นิ้ว เนื่องจากไม่มีคอลลิเมเตอร์ที่หัววัด และได้ผลการตรวจวัดดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยใช้ อุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น (ไม่มีคอลลิเมเตอร์)

ความหนาของท่อเหล็ก (ม.ม.)	ตำแหน่งในการวัด	I1	I2	I3	$I_{avg}$	$I_{avg}/I_0$
15.0	1	195527	195508	195629	195555	0.7466
15.0	2	195316	195400	195300	195339	0.7458
15.0	3	195236	195240	195250	195242	0.7454
รอยเชื่อม	4	188490	188738	188856	188695	0.7204
15.0	5	194595	194590	194599	194595	0.7429
15.0	6	195125	195128	195239	195164	0.7451
15.0	7	195091	195087	195009	195067	0.7447
$I_0$	-	261895	262090	261888	261934	1.0000

หมายเหตุ I1, I2 และ I3 คือ จำนวนนับรังสีครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ไม่มีคอลลิเมเตอร์)

จากผลการตรวจวัดดังตารางที่ 4.6 จำนวนนับรังสีที่วัดได้เมื่อท่อเหล็กมีความหนาปกติจะมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการคำนวณทางสถิติได้ จำนวนนับรังสีคือ  $195155 \pm 1325$  ต่อ 12 วินาที หรืออยู่ในช่วง 193830 ถึง 196480 ต่อ 12 วินาที ถ้าค่าจำนวนนับรังสีที่วัดได้ไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว สามารถที่จะวิเคราะห์ได้ว่าความหนาของท่อเหล็กมีความผิดปกติ ดังในตำแหน่งที่ 4 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีรอยเชื่อม ค่าจำนวนนับรังสีเฉลี่ยที่วัดอยู่นอกช่วงดังกล่าว และจากกราฟในรูปที่ 4.9 เห็นได้ชัดเจนว่าตำแหน่งที่ 4 นั้นมีเปอร์เซ็นต์ในการทะลุผ่านท่อเหล็กไปยังหัววัดน้อยลงมากกว่า

ตำแหน่งอื่นๆ คือประมาณ 72.04% ที่ทะลุผ่านได้ แต่ในตำแหน่งอื่นๆซึ่งมีความหนาของท่อเหล็ก รวมกันทั้งสองฝั่ง 14 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านจะใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 74.5% ซึ่งมากกว่าตำแหน่งที่มีรอยเชื่อม

#### 4.5.4 ผลการตรวจสอบท่อเหล็กกล้าที่มีรอยเชื่อมและที่ใช้งานแล้ว เปรียบเทียบกับ เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสี และอัลตราโซนิก

ตารางที่ 4.6 ผลการนับรังสีในการตรวจวัดความหนาของท่อเหล็กเมื่อใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และการส่งคลื่นความถี่สูงอัลตราโซนิก

ตำแหน่งในการวัด	ความหนา (มม.)	I1	I2	I3	I <sub>avg</sub>	ผลการถ่ายภาพด้วยรังสี	ผลการส่งคลื่นอัลตราโซนิก (มม.)**
I <sub>o</sub>	0.0	139019	138862	139033	138971	ไม่มี	ไม่มี
1	14.0	83518	83517	83558	83531	เห็น	14.18
2	13.6	87368	87543	87483	87456	ไม่แตกต่าง*	13.96
3	รอยเชื่อม	79494	79561	79529	79528	เห็นชัดเจน	วัดไม่ได้
4	13.8	85358	85126	85221	85235	ไม่แตกต่าง*	14.05

หมายเหตุ \* หมายถึงไม่แตกต่างกับความหนาปกติ \*\*รายงานผลทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายท่อเหล็กกล้าด้วยรังสีแกมมา (ท่อมักรอยเชื่อม และมีความหนาต่างกัน)



รูปที่ 4.11 ภาพผลการทดสอบท่อเหล็กกล้าด้วยวิธีอัลตราโซนิก

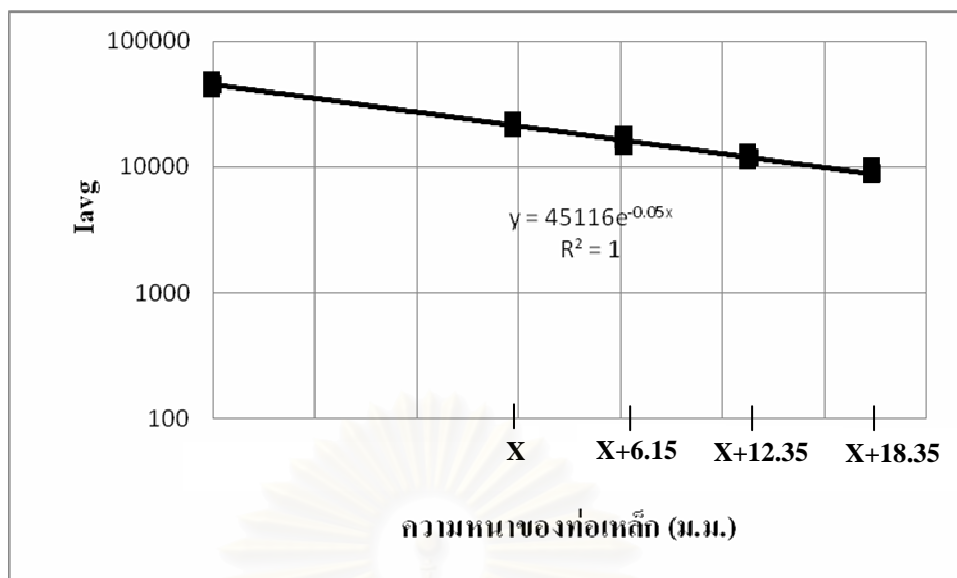
#### 4.5.3 ผลการทดสอบวิธีการหาความหนาของท่อเหล็กด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

จากการวัดรังสีที่ทะลุผ่านผนังท่อเหล็ก และผ่านแผ่นเหล็กที่ทราบความหนา เพื่อนำไปหาความหนาของผนังท่อ แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการนับรังสีในการทดสอบวิธีการวัดความหนาของท่อเหล็ก

ความหนาของท่อเหล็ก(ม.ม.)	I1	I2	I3	I <sub>avg</sub>
0 (I <sub>0</sub> )	45316	45049	45138	45168
14.00	22721	22694	22788	22734
20.15	16267	16272	16445	16328
26.35	11862	11803	11956	11874
32.35	8778	8798	8735	8770

หมายเหตุ I1, I2 และ I3 คือ จำนวนนับรังสีครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ภาพแสดงการนับรังสีของท่อเหล็กเมื่อเพิ่มความหนาที่ผิวของท่อเหล็ก

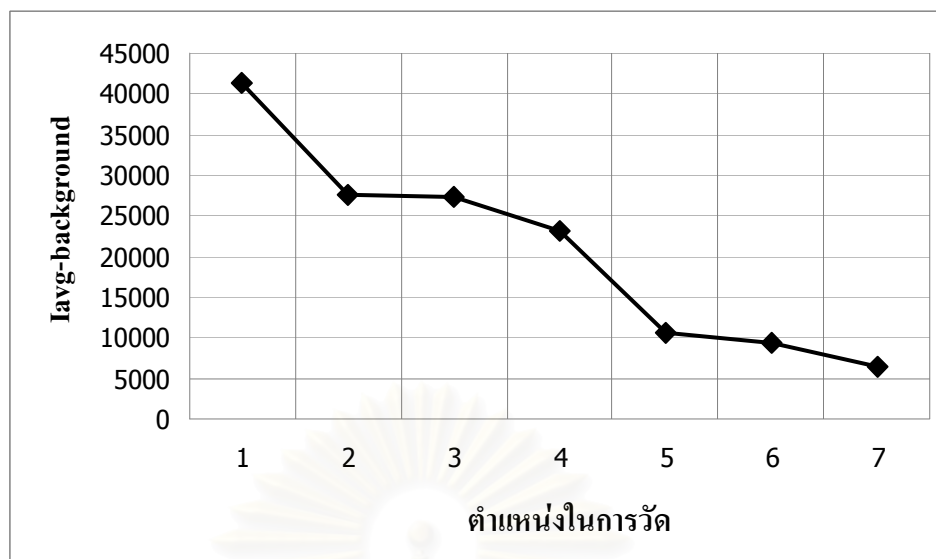
จากผลการนับรังสีในตารางที่ 4.7 เมื่อนำไปเขียนกราฟเส้นตรงระหว่างจุด 4 จุด คือ X, X+6.15, X+12.35 และ X+18.35 เมื่อลากไปตัดค่า  $I_0$  จะได้ตำแหน่งของ X=0 ซึ่งสามารถหาค่าความหนาได้เท่ากับ 13.98 มิลลิเมตร ซึ่งผิดพลาดเพียง 0.02 มิลลิเมตร

#### 4.6 ผลการตรวจวัดท่อในภาคสนาม

จากผลการทดสอบอุปกรณ์ในภาคสนามพบว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ดี แม้ว่าท่อที่ทำการตรวจสอบวางตัวอยู่ในแนวทำมุมประมาณ 70 องศา ผลการวัดรังสีพบว่าตำแหน่งที่อยู่ต่ำกว่า ได้ค่าจำนวนนับรังสีลดลง คาดว่าบริเวณด้านล่างสุดอาจมีโคลน และ/หรือเศษวัสดุ ติดอยู่หรือพอกภายในท่อ

ตารางที่ 4.8 ผลการนับรังสีทะลุผ่านท่อสูบน้ำเสียในภาคสนาม โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

ตำแหน่งการวัด	I1	I2	I3	Iavg	Iavg-Ibackground
$I_0$	41585	41766	41699	41683	41276
$I_{x1}$	28043	28055	28002	28039	27632
$I_{x2}$	27814	27825	27818	27819	27412
$I_{x3}$	23466	23450	23470	23462	23055
$I_{x4}$	10938	10992	10939	10956	10549
$I_{x5}$	9734	9730	9744	9736	9329
$I_{x6}$	6763	6737	6758	6753	6346
Ibackground	406	404	412	407	-



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการนับรังสีที่ทะลุผ่านท่อสูบน้ำเสียที่ตำแหน่งต่าง ๆ  
(ทางซ้ายมือคือตำแหน่งบนสุด ทางขวามือคือตำแหน่งล่างสุด)

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการทดลองใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาวัดแผ่นเหล็กที่มีความหนาต่างกัน โดยใช้หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์(ทาลเลียม)ขนาด 2"x2" ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 และเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว Ludlum 2200 พบว่าระบบที่ใช้มีความสะดวกในการใช้งานทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม เครื่องวิเคราะห์สามารถใช้ได้ทั้งจากไฟฟ้ากระแสสลับ และจากถ่านอัลคาไลน์ขนาด D จำนวน 4 ก้อน นอกจากนี้ยังมีพอร์ตอนุกรมที่สามารถเชื่อมโยงกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้ ผลการทดสอบการวัดความหนาของแผ่นเหล็กที่มีความหนามากกว่าดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.1 ซึ่งก็เป็นไปตาม Lambert's Law คือ  $I_x = I_0 e^{-\mu x}$

5.1.2 จากการตรวจวัดท่อเหล็กที่มีความหนาต่างกันได้ผลเป็นที่น่าพอใจเช่นเดียวกันกับการวัดความหนาของแผ่นแต่ต้องมีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี พร้อมกับกำบังรังสีและคอลลิเมเตอร์เข้ากับท่อ ที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวท่อได้

5.1.3 อุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในการติดตั้งหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสี พร้อมกับกำบังรังสีและคอลลิเมเตอร์ซึ่งทำด้วยตะกั่วที่ออกแบบและสร้างขึ้น สามารถเคลื่อนที่ไปตามท่อได้ในระยะประมาณ 70 เซนติเมตร และสามารถหมุนรอบท่อได้ 360 องศา โดยใช้ได้กับขนาดท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 นิ้ว และผู้ใช้เพียงคนเดียวก็สามารถปฏิบัติงานได้

5.1.4 จากผลการวัดท่อเหล็กโดยนำเอาถึงกำซาร์กอนแทนโดยไม่ทราบความหนาของท่อ แต่มีข้อมูลว่าบริเวณก้นและไหล่ถังจะมีความหนากว่าส่วนตรงกลางท่อ เมื่อทดลองใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นติดตั้งกับท่อ แล้วทำการวัดรังสีที่ตำแหน่งต่างๆพบว่าจำนวนนับรังสีมีความแตกต่างตามข้อมูลดังกล่าวจริง



5.1.5 จากผลการตรวจวัดท่อที่ใช้งานจริงในภาคสนามซึ่งบริษัทไทยเอ็นดีที จำกัด (มหาชน) ได้อนุเคราะห์ท่อที่ผ่านการใช้งานมาแล้วและมีรอยเชื่อมมาทดสอบ ผลการตรวจวัดพบว่าตรงตำแหน่งอื่น ๆ ที่ไม่ใช่รอยเชื่อม เหล็กมีความหนาสม่ำเสมอ เนื่องจากได้จำนวนนับรังสีลดลงเหลือประมาณ 74 % ของ  $I_0$  และอยู่ในช่วง  $\pm 3\sigma$  แต่ตรงรอยเชื่อมได้ค่าจำนวนนับรังสีต่ำลงเหลือประมาณ 72 % ซึ่งเมื่อนำแผ่นเหล็กไปวางบนท่อเหล็กตรงที่ไม่มีรอยเชื่อม เพื่อเพิ่มความหนาขึ้นจาก 0.3 - 0.9 มม. พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาขึ้นไป 0.8 มม. จำนวนนับรังสีลดลงเหลือประมาณ 72 % เท่า ๆ กับตรงรอยเชื่อม แสดงว่าความหนาตรงรอยเชื่อมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 15.8 มม. หรือด้านละ 7.9 มม. จากการทดลองนำคอลลิเมเตอร์ซึ่งทำด้วยตะกั่ว วางที่หน้าหัววัดรังสีพบว่าที่ตำแหน่งรอยเชื่อมจำนวนนับรังสีลดลงเหลือเพียงประมาณ 56 % เมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากรอยเชื่อมมีความกว้างน้อย คือประมาณ 2 ซม. การใช้ลำรังสีกว้าง (ไม่มีคอลลิเมเตอร์) จึงเห็นความแตกต่างน้อยกว่าการใช้รังสีลำแคบ (มีคอลลิเมเตอร์) ซึ่งในการใช้งานผู้ใช้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยข้อนี้ เพราะมีผลอย่างมากต่อความไวในการตรวจสอบ จึงต้องเลือกขนาดของลำรังสีให้เหมาะสมกับความกว้างหรือพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ

5.1.6 เมื่อนำท่อที่มีรอยเชื่อมในขั้นตอนที่ผ่านมา ไปปาดผิวบางตำแหน่งให้บางลงอีก 0.2 และ 0.4 มม. แล้วนำไปทดลองตรวจสอบความหนาด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบการตรวจสอบด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และวิธีอัลตราโซนิก พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกความแตกต่างระหว่างบริเวณที่มีความหนาต่างกัน และตำแหน่งที่มีรอยเชื่อมได้ชัดเจน แต่วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากการที่รังสีแกมมามีพลังงานสูงเกินไป (พลังงานเฉลี่ยประมาณ 350 keV) สำหรับความหนาของท่อประมาณ 7 มม. และมีความแตกต่าง 0.2 และ 0.4 มม. หากใช้รังสีแกมมา หรือรังสีเอกซ์พลังงานต่ำกว่านี้ น่าจะเห็นความแตกต่างได้ ส่วนการใช้วิธีอัลตราโซนิกสามารถวัดความหนาได้ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง

5.1.7 วิธีการหาความหนาของท่อเหล็กโดยการกรนนำแผ่นเหล็กที่ทราบความหนาไปวางบนผนังท่อ เพื่อเพิ่มความหนาของท่อที่นำเสนอในการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ทั้งความหนาที่เพิ่มขึ้น เช่น รอยเชื่อม และความหนาที่ลดลงจากการเกิดการกัดกร่อน ในการใช้งาน ควรใช้ความหนาเพิ่มจนสามารถเห็นการลดลงของจำนวนนับรังสีได้ชัดเจน และอาจทำ

หลายค่าความหนาเพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้น แล้วนำข้อมูลไปทำการคำนวณหาความหนา หรือโดยการเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

5.1.8 ผลการทดสอบอุปกรณ์ในภาคสนาม เพื่อตรวจสอบท่อสูบน้ำเสีย ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 นิ้ว ยืนยันว่าอุปกรณ์ต้นแบบสามารถใช้งานได้สะดวก และมีความไวในการตรวจวัดความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปของท่อได้

เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาและอุปกรณ์ต้นแบบที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า มีความเหมาะสมที่นำไปใช้ในการตรวจสอบการกัดกร่อนของท่อ ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป ได้แก่ วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ หรือวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และวิธีการที่ใช้ในการวิจัยนี้ประหยัดกว่ามาก เพราะเกือบจะไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ ในการปฏิบัติ ส่วนวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีต้องใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงกว่า 1000 เทาและมีค่าใช้จ่าย ในเรื่องฟิล์มและการล้างฟิล์ม ส่วนวิธีใช้คลื่นเสียงความถี่สูง หรืออัลตราโซนิค มีความถูกต้องแม่นยำสูงแต่ต้องใช้เวลาในการปรับตั้งค่าและตรวจสอบนานมากเนื่องจากหัววัดรังสีมีขนาดเล็ก และไม่สามารถสแกนในระยะยาวแบบต่อเนื่องในการใช้งานในภาคสนาม เพราะต้องมี couplant เคลือบอยู่บนผิวขณะทำการสแกน อย่างไรก็ตามวิธีการส่งผ่านรังสีแกมมาในการวิจัยนี้เหมาะสำหรับการตรวจสอบเบื้องต้น ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย จากนั้นจึงใช้วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี หรืออัลตราโซนิคตรวจสอบบริเวณที่สงสัย ในเรื่องความไวในการตรวจสอบของวิธีการส่งผ่านด้วยรังสีนั้น ยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นอีกมาก โดยการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกับท่อ เช่น อะเมริเซียม-241 (พลังงานเฉลี่ย 60 keV) สำหรับท่อเหล็กที่บางมากๆราว ไม่เกิน 2 มม. เซเรเนียม-75 (พลังงานเฉลี่ยประมาณ 200 keV) หรืออิริเดียม-192 (พลังงานเฉลี่ยประมาณ 350 keV) สำหรับท่อเหล็ก ที่มีความหนาประมาณ 5-10 มม. ส่วนท่อเหล็กที่มีความหนามากๆ คือ 20 มม. ขึ้นไป อาจใช้ซีเซียม-137 (พลังงาน 662 keV) หรือโคบอลต์-60 (พลังงานเฉลี่ย 1250 keV) เป็นต้น นอกจากนี้ อุปกรณ์ขับเคลื่อนและการบันทึกข้อมูล ยังสามารถพัฒนาต่อให้ทำงาน ได้สะดวก และรวดเร็วขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากอุปกรณ์ในการขับเคลื่อนแยกเป็นชิ้นส่วนหลายส่วนด้วยกัน จึงต้องมี ส่วนที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันก่อนทำการตรวจวัดหลายจุด ทำให้เสียเวลาในการวัด ควรออกแบบให้อุปกรณ์มีจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องถอดประกอบน้อยลง และควรออกแบบให้มีกลไกในการขับเคลื่อนได้อย่างต่อเนื่อง และควบคุมได้จากไมโครคอมพิวเตอร์

5.2.2 การพัฒนาอุปกรณ์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้รับข้อมูลการนับรังสีจากเครื่อง  
นับรังสี มาแสดงผลได้ทันที และต่อเนื่อง รวมทั้งการควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขับเคลื่อน  
และการบันทึกข้อมูล



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. H. Kwun and J.J. Haley. Detection of corrosion in pipe using the magnetostrictive sensor technique. NDT and E International. Vol.30 No.1(Feb.1997), pp. 33-33.
2. T. Balasubramanian and R.J. Pardikar. Ultrasonic study for detection of inner diameter cracking in pipeline girth welds using creeping waves. The International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol.80 No.2(Feb. 2003), pp. 139-146.
3. M.J.S. Lowe and D.N. Alleyne. Defect detection in pipes using guided waves. Ultrasonic. Vol.36 No.1(Feb. 1998), pp. 147-154.
4. W.L. Dunn and A.M. Yacout. Corrosion detection in aircraft by x-ray backscatter methods. Applied Radiation and Isotopes. Vol.3, No.4 (Nov. 2000), pp. 625-632.
5. นवलวี รุ่งชนเกียรติ. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
6. ชวัช ชิตตะการ. การตรวจและการวัดรังสี. กรุงเทพมหานคร :มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
7. Glenn F. Knoll. Radiation detection and measurement. New York : John Wiley & Sons, 2000.
8. วิศิษฐ์ ปฐมชัยวาลย์. การหาปริมาณปรอทโดยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

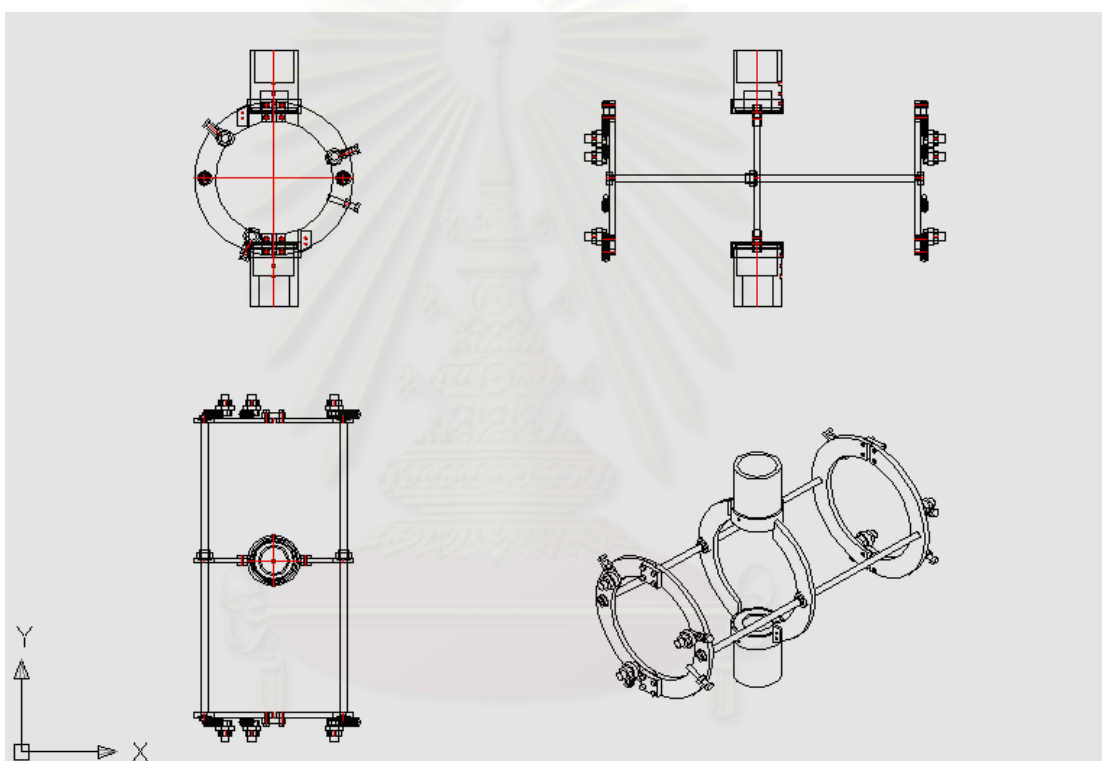


ภาคผนวก

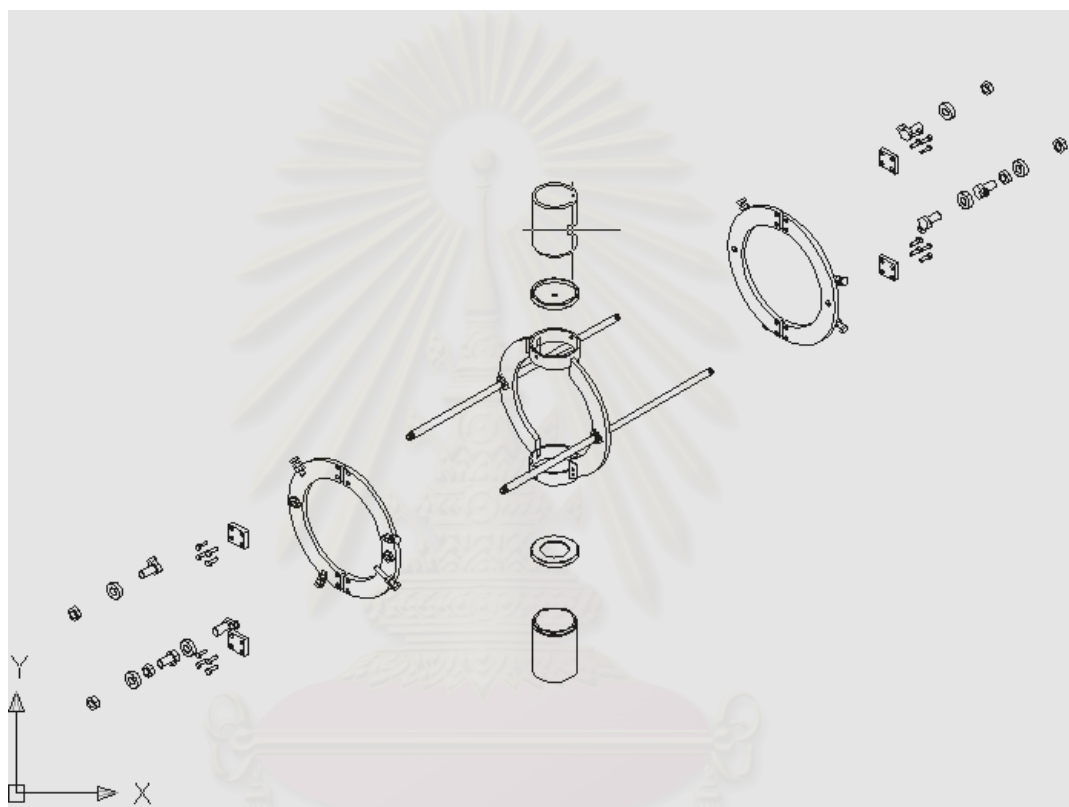
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

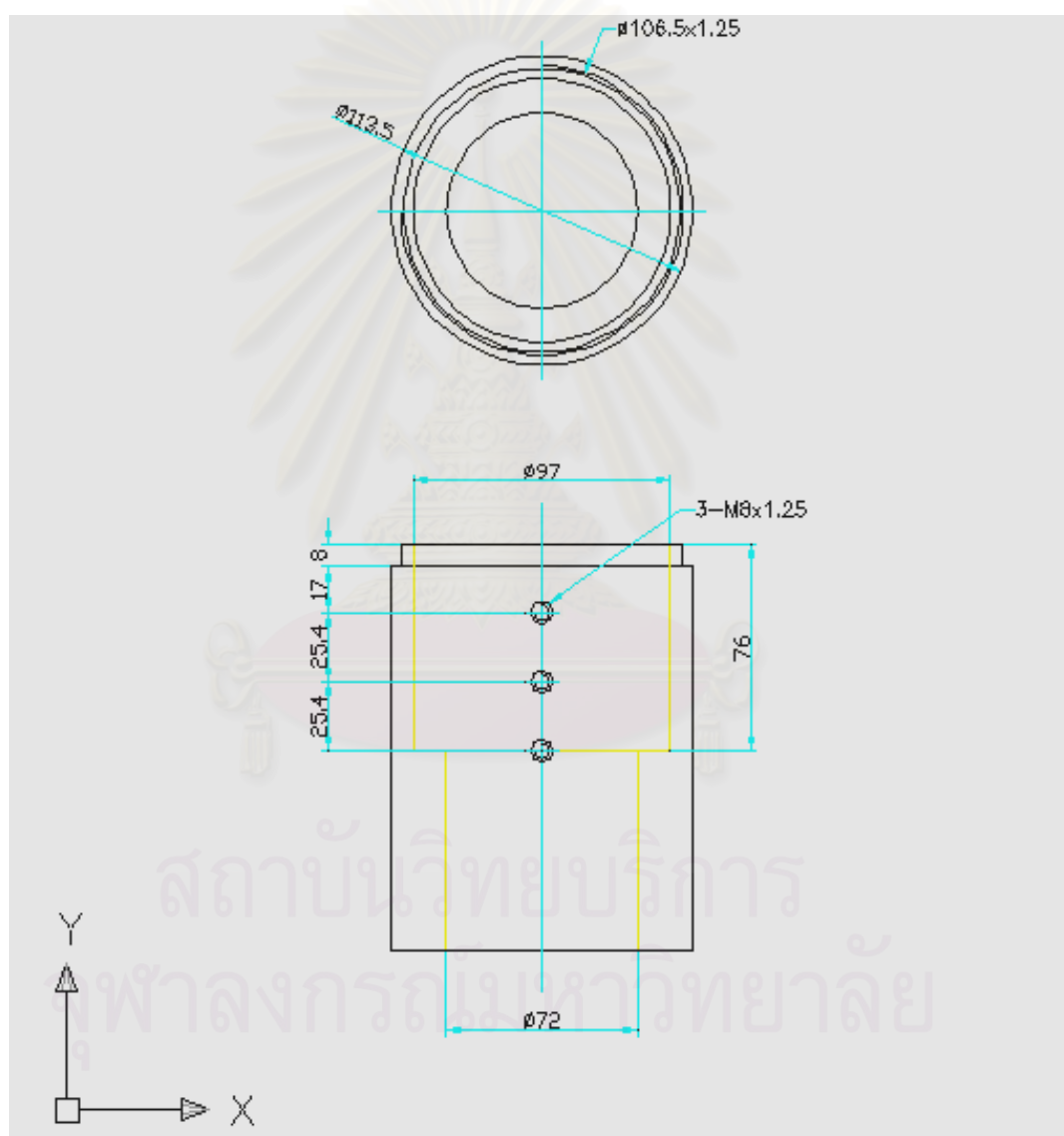
## 1. แบบเขียนของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี



รูปที่ ก.1 ภาพการออกแบบอุปกรณ์ขับเคลื่อนทั้งหมด



รูปที่ ก.2 ภาพแสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหัววาล์วตั้งสีและต้นกำเนิดตั้งสี



รูปที่ ก.3 ภาพขนาดของอุปกรณ์ใส่หัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี



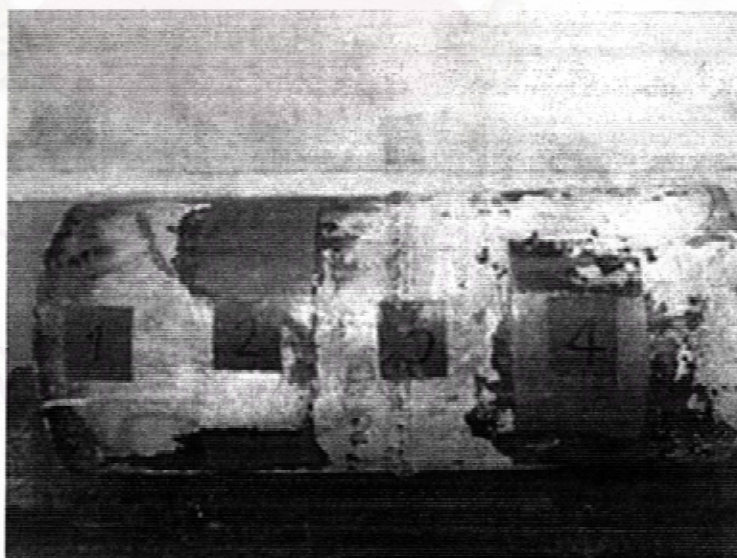


# บริษัท ไทยเอ็นดีที จำกัด (มหาชน)

## THAI NONDESTRUCTIVE TESTING PUBLIC COMPANY LIMITED.

19 ซอยสวนสน 8 ถนนรามคำแหง แขวงทวีวัฒนา เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240 โทร. +662 735-0801 (10สาย) โทรสาร. +662 735-1941  
19 Soi Suanson 8, Ramkhambeang Rd., Huamark, Bangkok, Bangkok 10240 Tel. +662 735-0801 (10 lines) Fax: +662 735-1941 E-mail: info@tdt.co.th Website: www.tdt.co.th

Report No.: <b>CU. 001/2008</b>		<b>ULTRASONIC THICKNESS MEASUREMENT REPORT</b>			Page No.: <b>1 of 1</b>	
CLIENT : CHULALONGKORN UNIVERSITY						
PROJECT : CORROSION DETECTION IN STEEL PIPES				DATE OF TEST : 07/05/2008		
PROCEDURE NO. / NDE REF.: NDE-002-UTM1/ASTM SE-797				LOCATION : TNDT OFFICE		
ITEM DESCRIPTION :		Pipe Dia. 6 IN.		DWG. NO. :		-
IDENTIFICATION :		-		MARK NO. :		N/A
MATERIAL :		API 5L Gr.B		LINE NO. :		-
TECHNIQUE:		STANDAND		COUPLANT:		GLYCERIN
TEST BLOCK:		TNDT No.5 (2.285 TO 24.931 MM.)		SURFACE CONDITION :		SMOOTH
UT EQUIPMENT.....						
TYPE :		BRAND :		SERIAL NO :		061428003
SEARCH UNIT.....						
SR. NO.:	BRAND:	ANGLE:	FREQ:	SIZE:	OTHERS:	
19564	PANAMETRICS -NDT	TR Probe	5.0 MHz	0.312 IN.	D 790SM	
RESULTS....						
Q'TY NO.	POINT THICKNESS. (MM.)				X (MM)	REMARK
	1	2	3	4		
1	7.05	7.13			14.18	
2	6.83	7.13			13.96	
3	-	-			-	
4	6.98	7.07			14.05	



COMPLETED BY:	INSPECTED BY:	WITNESSED BY:	APPROVED BY:
COMPANY : THAI NDT PCL.	MR. Khongdet Th.		
SIGNATURE :			
NAME :			
DATE :	07/05/2008		

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชวณัฐ กงชนคณา เกิดวันที่ 21 กันยายน พ.ศ. 2518 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย