

การพัฒนาเครื่องจำแนกประเภทของเหลวโดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์



นางสาวณัฐพร ตันทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

DEVELOPMENT OF AN INSTRUMENT FOR IDENTIFYING LIQUID TYPE
USING NUCLEAR TECHNIQUE

Miss Nathaporn Tunthong



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องจำแนกประเภทของเหลวโดยใช้เทคนิค นิวเคลียร์
โดย	นางสาวณัฐพร ตันทอง
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ เดโช ทองอร่าม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ เดโช ทองอร่าม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี)

ณัฐพร ต้นทอง : การพัฒนาเครื่องจำแนกประเภทของเหลวโดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์.
(DEVELOPMENT OF AN INSTRUMENT FOR IDENTIFYING LIQUID TYPE USING
NUCLEAR TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. เดโช ทองอร่าม, 73 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและทดสอบเครื่องจำแนกประเภทของเหลวที่บรรจุในขวดด้วย
เทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ โดยใช้หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลวัดรังสีเอกซ์
ทั้งสามพลังงานจากต้นกำเนิดพลูโตเนียม-238 คือ 13.6, 17.6 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์
รวมกัน ตัวอย่างของเหลวที่นำมาทดสอบได้แก่ กลุ่มของเหลวประเภทที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ
น้ำมัน และแอลกอฮอล์ ที่บรรจุในขวดพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.3 ถึง 5.7
เซนติเมตร ผลการวิจัยพบว่าเทคนิคนี้สามารถระบุประเภทของของเหลวได้ดี และมีความไวมาก
ขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขวดบรรจุเพิ่มขึ้น เครื่องที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยแหล่งจ่าย
ศักดาไฟฟ้าสูง ภาคขยายสัญญาณ อุปกรณ์ตั้งเวลา และอุปกรณ์นับพร้อมด้วยจอแอลซีดี การ
ทำงานของเครื่องถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4553 ผลการทดสอบพบว่า
เครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกแยะน้ำจากแอลกอฮอล์และน้ำมันได้อย่างชัดเจน อัตราส่วนของ
ความเข้มรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านแอลกอฮอล์และน้ำมันเมื่อเทียบกับน้ำมีค่าประมาณ 3.0 และ 5.0
สำหรับขวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.70 เซนติเมตร ประมาณ 3.5 และ 7.5 สำหรับขวดที่มีเส้น
ผ่านศูนย์กลาง 3.72 เซนติเมตร และ 4.0 และ 11.0 สำหรับขวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.30
เซนติเมตร ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5470194321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: NUCLEAR / TRANSMISSION TECHNIQUE / IDENTIFY LIQUID TYPE

NATHAPORN TUNTHONG: DEVELOPMENT OF AN INSTRUMENT FOR IDENTIFYING LIQUID TYPE USING NUCLEAR TECHNIQUE. ADVISOR: ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, CO-ADVISOR: DECHO THONG-ARAM, 73 pp.

In this work, an instrument for identifying liquid type in bottles using low energy x-ray transmission technique was developed and tested. A proportional x-ray detector was used to measure total counts of the three energy peaks from a plutonium-238 source including 13.6, 17.2 and 20.1 keV. The liquid samples under test were water based solution, alcohol and fuel oil. Each sample was contained in transparent bottles of different diameters between 2.3 and 5.7 cm. The results showed that the technique could be used successfully to identify the liquid type and the sensitivity of the technique was improved with increasing of the bottle diameter. The developed instrument consisted of HV power supply, amplifier, timer and counter with LCD display. Operation of the instrument was controlled by a PIC18F4553 microcontroller. The result showed that the developed instrument could clearly distinguish water from alcohol and fuel oil. The transmitted x-ray intensity ratios through alcohol and fuel oil to through water were approximately 3.0 and 5.0 for 2.70 cm in diameter bottle, 3.5 and 7.5 for 3.72 cm in diameter bottle and 4.0 and 11.0 for 5.3 cm in diameter bottle, respectively.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Nuclear Engineering

Student's Signature

Field of Study: Nuclear Technology

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงมาได้ต้องใช้ความรู้ในหลาย ๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้านนิวเคลียร์ให้แก่ผู้วิจัย โดยเฉพาะรองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว และอาจารย์เดโช ทองอร่าม ที่เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสมันต์ ที่ให้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาคุณภาพงานวิจัยที่ดียิ่งขึ้น

ขอบพระคุณอาจารย์จเด็จ เย็นใจ และคุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี ที่ช่วยให้ข้อมูลความรู้ และอุปกรณ์วิจัยทางด้านรังสีเอกซ์เป็นอย่างดี

ขอบพระคุณคุณสมชาย เป้าทอง และคุณพลัง วัฒนพานิช ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ งานงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์เทคโนโลยี สำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์การวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวและบุคคลใกล้ชิด ที่เป็นกำลังใจสำคัญ ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือตลอดการศึกษาและการทำงานวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	1
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การลดทอนความเข้มรังสี.....	4
2.2 ระบบวัดรังสี.....	6
2.2.1 ระบบวัดรังสีแบบนับรวม.....	6
2.2.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน.....	6
2.2.3 ระบบวัดรังสีโคอินซิเดนซ์.....	7
2.3 ต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238.....	7
2.4 หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล.....	8
2.5 อุปกรณ์ของระบบวัดรังสี.....	12
2.5.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง.....	12
2.5.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า.....	12
2.5.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	12
2.5.4 อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว.....	13
2.5.5 อุปกรณ์นับรังสี.....	13

2.5.6 อุปกรณ์ตั้งเวลา	13
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์	14
2.6.1 หน่วยประมวลผลกลาง	15
2.6.2 หน่วยความจำโปรแกรม	15
2.6.3 หน่วยความจำข้อมูล	16
2.6.4 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต	16
2.6.5 ฟังก์ชันการทำงานอื่น ๆ	16
2.7 วัตถุอันตราย	16
2.7.1 สารไวไฟ	16
2.7.2 ระเบิด	19
2.7.3 ระเบิดเหลว	20
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1 ตัวอย่างของเหลวและอุปกรณ์งานวิจัย	23
3.2 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	25
3.2.1 ขั้นตอนก่อนดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลว	26
3.2.2 ขั้นตอนพัฒนาอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลว	27
4.1 ขั้นตอนก่อนดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์	33
4.1.1 แรงดันไฟฟ้าใช้งานของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล	33
4.1.2 ช่วงการเปิดดิสคริเมเตอร์ระดับต่ำและหน้าต่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบ ช่องเดี่ยว	34
4.1.3 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวในขวดพลาสติกใส	36
4.2 ขั้นตอนพัฒนาอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลว	40
4.2.1 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวในขวดพลาสติกใส	40
4.2.2 ทดสอบอุปกรณ์ขยายสัญญาณ	42
4.2.3 ทดสอบอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา	47
4.2.4 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านด้วยอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น	50
4.2.5 จำนวนรังสีส่งผ่านตัวอย่างของเหลวตัวอย่างในแต่ละกลุ่มประเภทที่มีค่าความแม่นยำ 1 เปอร์เซ็นต์	52

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและอภิปราย	54
5.1 ขั้นตอนก่อนดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์	54
5.2 ขั้นตอนพัฒนาอุปกรณ์	54
5.3 ข้อเสนอแนะ	54
รายการอ้างอิง	56
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก. ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC ชนิด PIC18F4553	59
ภาคผนวก ข. คุณสมบัติของหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลและอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า	67
ภาคผนวก ค. ปฏิบัติการจากการผสมกันของสารเคมี	71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	73

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 พลังงานที่ใช้ในการกำเนิดคู่อิออนของแก๊สชนิดต่าง ๆ	10
ตารางที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าสำหรับหัววัดรังสีประเภทต่าง ๆ	12
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำ สารไวไฟ และสารประกอบระเบิด.....	22
ตารางที่ 4.1 จำนวนรังสีจากหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนลที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ขนาดต่าง ๆ.....	33
ตารางที่ 4.2 จำนวนรังสีที่ดิสคริเมเตอร์ระดับต่ำตำแหน่งต่าง ๆ ที่หน้าต่าง 0.1 โวลต์.....	35
ตารางที่ 4.3 จำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวในขวดพลาสติกขนาดต่าง ๆ.....	37
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านขวดพลาสติกบรรจุของเหลวประเภทต่าง ๆ	38
ตารางที่ 4.5 จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วน จำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า.....	39
ตารางที่ 4.6 จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วน จำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าที่ทดลองกับระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบช่องเดี่ยว เวลานับวัด 20 วินาที	41
ตารางที่ 4.7 ขนาดสัญญาณเอาต์พุตของอัตราขยายสัญญาณ 50, 100, 200 และ 300 เท่า ที่สัญญาณอินพุตขนาดต่าง ๆ.....	45
ตารางที่ 4.8 เวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณที่อัตราขยายขนาดต่าง ๆ	46
ตารางที่ 4.9 การนับสัญญาณนาฬิกาต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง.....	47
ตารางที่ 4.10 การวัดสัญญาณพัลส์ที่ความถี่และเวลาต่าง ๆ	48
ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา ที่พัฒนาขึ้น	50
ตารางที่ 4.12 จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วน จำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าในอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา ที่พัฒนาขึ้น	51
ตารางที่ 4.13 เวลาวัดรังสี (วินาที) ที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนรังสีมีค่าความแม่นยำ 1 เปอร์เซ็นต์... 53	
ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553	60
ตารางที่ ค.1 ปฏิกริยาที่เกิดจากการผสมกันของสารเคมีชนิดต่าง ๆ	71

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของตัวกลางที่รังสีแกมมาพลังงานต่างๆ	5
รูปที่ 2.2 แผนผังอุปกรณ์ระบบวัดรังสีแบบนับรวม	6
รูปที่ 2.3 แผนผังอุปกรณ์ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน	6
รูปที่ 2.4 แผนผังอุปกรณ์ระบบระบบวัดรังสีโคอินซิเดนซ์	7
รูปที่ 2.5 สเปกตรัมพลังงานรังสีเอกซ์ของพลูโตเนียม-238	8
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของธาตุเงิน (Ag) ที่ได้จากหัววัดชนิดต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.7 ช่วงการทำงานของหัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊สที่รังสี	9
รูปที่ 2.8 การทำงานของแก๊สในหัววัดรังสีช่วงพรอพอร์ชันแนล	11
รูปที่ 2.9 โครงสร้างพื้นฐานของหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล	11
รูปที่ 2.10 การคัดเลือกสัญญาณด้วยดิสคริเมเนเตอร์	14
รูปที่ 2.11 การคัดเลือกสัญญาณด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว	14
รูปที่ 2.12 โครงสร้างหลักของพีไอซี	15
รูปที่ 2.13 องค์ประกอบของการตีไฟ	18
รูปที่ 3.1 ขวดพลาสติกใสมีฝาปิดขนาดต่าง ๆ	23
รูปที่ 3.2 หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล	24
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า	24
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง อุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน แบบช่องเดี่ยว และอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา	25
รูปที่ 3.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดลอง	26
รูปที่ 3.6 แผ่นพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	27
รูปที่ 3.7 แผ่นพิมพ์วงจรขยายสัญญาณพัลส์	28
รูปที่ 3.8 ขนาดของต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานวิจัย	28
รูปที่ 3.9 บริเวณวางขวดบรรจุของเหลวขนาด 2.70, 3.72 และ 5.30 เซนติเมตร ตามลำดับ	29
รูปที่ 3.10 ด้านบนของอุปกรณ์วางต้นกำเนิดรังสี ขวดบรรจุของเหลว และหัววัดรังสี	29
รูปที่ 3.11 ด้านหน้าของอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา	30
รูปที่ 3.12 ด้านหลังของอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา	31
รูปที่ 3.13 หน้าจอแอลซีดีแสดงผลขั้นตอนการเลือกตัวแปรเก็บค่า	31
รูปที่ 3.14 หน้าจอแอลซีดีแสดงผลขั้นตอนการเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขวดพลาสติกที่วัด	31
รูปที่ 3.15 หน้าจอแอลซีดีแสดงผลขั้นตอนการจำแนกประเภทของเหลว	31

รูปที่ 3.16 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น	32
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าแรงดันสูงและจำนวนรังสี	34
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างดิสคริเมเตอร์ระดับต่ำที่หน้าต่าง 0.1 โวลต์ และจำนวนรังสี. 35	
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านตัวอย่างของเหลว ในกลุ่มน้ำเปล่า แอลกอฮอล์ และน้ำมัน ของขวดพลาสติกขนาดต่าง ๆ.....	38
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อ สัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าที่ขวดพลาสติกขนาดต่าง ๆ.....	39
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อ สัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า ที่ทดลองกับระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบ ช่องเดียว	42
รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 50 เท่า	43
รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 100 เท่า.....	43
รูปที่ 4.8 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 200 เท่า.....	44
รูปที่ 4.9 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 300 เท่า.....	44
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายของอุปกรณ์ขยายสัญญาณและอินพุตขนาดต่าง ๆ.....	46
รูปที่ 4.11 ตำแหน่งเวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณ	47
รูปที่ 4.12 ความเป็นเชิงเส้นของเวลาวัดรังสีของอุปกรณ์ตั้งเวลา.....	48
รูปที่ 4.13 ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณพัลส์ที่ความถี่และเวลาวัดต่าง ๆ.....	49
รูปที่ 4. 14 ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณพัลส์ที่ความถี่และเวลาวัดต่าง ๆ	49
รูปที่ 4.15 สเปกตรัมของ Pu-238 ที่ได้จากอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนา ...	51
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อ สัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าในอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา ที่พัฒนาขึ้น.....	52
รูปที่ ก.1 ตำแหน่งขาของ PIC18F4553	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization) มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการนำของเหลวหรือสารอื่น ๆ ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันขึ้นในท้องโดยสารอากาศยาน เพื่อเพิ่มความเข้มงวดด้านการรักษาความปลอดภัยในสนามบิน เนื่องจากเหตุการณ์สำคัญหลายเหตุการณ์ของโลกที่พบว่าสาเหตุของความรุนแรงของสถานการณ์ดังกล่าว เกิดจากการที่ผู้ก่อการร้ายพกพาของเหลวอันตรายขึ้นเครื่องบิน เพื่อนำไปผลิตระเบิดเหลวจากสารเคมีนั้น ๆ ดังเช่นเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในปี 2006 ผู้ก่อการร้ายลักลอบนำสารตั้งต้นของระเบิดเหลวขึ้นเครื่องบินสายการบินของประเทศอังกฤษ[1]

ดังนั้นประเทศไทยจึงต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังกล่าวเช่นเดียวกับสายการบินอื่น ๆ โดยสัมภาระทุกชิ้นที่ผู้โดยสารนำขึ้นเครื่องบินจะต้องผ่านเครื่องเอกซเรย์และเครื่องตรวจวัตถุระเบิด หากผู้โดยสารมีอาวุธปืน ต้องแจ้งเจ้าหน้าที่สนามบินเพื่อทำการแยกเครื่องกระสุน และในกรณีที่ผู้โดยสารต้องการนำสัมภาระที่เป็นของเหลวติดตัวขึ้นบนเครื่องบิน ของเหลวนั้นต้องมีขนาดบรรจุภัณฑ์ไม่เกิน 100 มิลลิลิตร และต้องนำใส่ในถุงพลาสติกใสแบบซิปล็อก (Zip-Lock) ขนาด 20 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร โดยผู้โดยสารสามารถนำขึ้นได้ 1 คน ต่อ 1 ถุง และปริมาณของเหลวเมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิลิตร[2]

ปัจจุบันนี้เครื่องเอกซเรย์และเครื่องตรวจวัตถุระเบิดสามารถตรวจสอบวัตถุอันตรายได้เฉพาะที่เป็นของแข็งเท่านั้น ยังไม่สามารถตรวจสอบของเหลวภายในภาชนะที่ผู้โดยสารนำขึ้นเครื่องบินได้ จึงทำให้การตรวจสอบสัมภาระมีช่วงโหว่ ดังนั้น แนวคิดการป้องกันการนำของเหลวไปประกอบเป็นวัตถุอันตรายเพื่อก่อการร้ายและลดปัญหาหลุดรอดการตรวจสอบการนำสารต้องห้ามหรืออันตรายขึ้นเครื่องบิน หรือนำเข้าและออกนอกประเทศจึงเป็นจุดเริ่มต้นของการนำคุณสมบัติของรังสีที่สามารถส่งผ่านของเหลวหรือสารประกอบต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อป้องกันการเกิดสถานการณ์ร้ายแรงได้อย่างทันทั่วทั้ง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเครื่องจำแนกประเภทของเหลวในภาชนะด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาพลังงานต่ำเพื่อจำแนกประเภทของเหลวในขวดพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ถึง 6 เซนติเมตร

1.3.2 พัฒนาเครื่องมือการส่งผ่านรังสีแกมมาสำหรับการใช้ในการจำแนกประเภทของเหลว ได้แก่ น้ำ น้ำมัน และแอลกอฮอล์

1.4 แผนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและอันตรกิริยาของรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 จัดประเภทกลุ่มของเหลวที่ต้องการวิจัย และศึกษาความเป็นไปได้ในการจำแนก

1.4.3 เตรียมอุปกรณ์ ทั้งในส่วนของเหลวและอุปกรณ์ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.4 ทำการวิจัยและบันทึกผลการวิจัย

1.4.5 พัฒนาอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวและจัดทำอุปกรณ์

1.4.6 สรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

ได้เครื่องมือที่ใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์สำหรับใช้ในการจำแนกประเภทของเหลว

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 เหมือนฝัน เอี่ยมศิริ[3] ศึกษาความสามารถในการจำแนกประเภทของเหลวต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา การกระเจิงกลับของรังสีแกมมา และการส่งผ่านนิวตรอน ที่ต้นกำเนิดรังสีอะเมริเชียม-241 (Am-241) และแคดเมียม-109 (Cd-109) พบว่า การใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีแคดเมียม-109 ที่พลังงาน 22.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีความสามารถในการแยกประเภทของเหลวได้ดีที่สุด ข้อจำกัดสำหรับสถานะข้างต้น คือ ความหนาสูงสุดของภาชนะพลาสติกบรรจุที่ใช้กับระบบวัดไม่ควรเกิน 0.411 เซนติเมตร และความหนาสูงสุดของของเหลวไม่ควรเกิน 7.313 เซนติเมตร

1.6.2 สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคณะ[4] พัฒนาวางจรอุปกรณ์ขยายส่วนหน้า (Pre-amplifier) สำหรับหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล (Proportional detector) ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงผันปริมาณประจุไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าและวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าชนิดไม่กลับเฟสสัญญาณ อุปกรณ์ดังกล่าวให้ความไวประจุสูงสุด 235 มิลลิโวลต์ต่อเมกะไอออนแพร์ (mV/Mion pairs) มีขีดจำกัดอัตราประจุ 1×10^{-7} คูลอมป์ต่อวินาที (C/s) สิ่งรบกวนเมื่อค่าความจุของสัญญาณทางเข้า 0 พิโคฟารัด (pF) น้อยกว่า 750 ไมโครโวลต์ (μV_{rms}) ตอบสนองสัญญาณทางออกในช่วง ± 10 โวลต์ ให้ค่าความเป็นเชิงเส้น (Regression, R^2) 0.9995 อีกทั้งสเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 (Fe-55) ที่ใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้าที่พัฒนาขึ้นและอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้าที่ผลิตจากต่างประเทศร่วมกับหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลให้ผลทัดเทียมกัน และค่าความเป็นเชิงเส้นสำหรับรังสีเอกซ์ในช่วงพลังงาน 0-25 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 และแคดเมียม-109 มีค่า 0.9992

1.6.3 D. Demir และคณะ[5] ศึกษาความสามารถในการดูดกลืนโฟตอน ความเป็นรูปพรุน และปริมาณน้ำในดิน โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาพลังงาน 60, 356 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดรังสีแกมมาอะเมริเชียม-241 แบเรียม-133 (Ba-133) และซีเซียม-137 (Cs-137) ตามลำดับ และใช้หัววัดผลึกซิลทิลเลชันโซเดียมไอโอดัด (แทลเลียม) (Scintillation NaI(Tl) detector) ขนาด 2 นิ้ว \times 2 นิ้ว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass

attenuation coefficient, μ_m) จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี และเมื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในตัวอย่างดินที่เติมน้ำในปริมาณต่าง ๆ พบว่ารังสีแกมมาพลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สามารถแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในแต่ละตัวอย่างได้ดีกว่ารังสีแกมมาพลังงานอื่น ๆ ในส่วนของความเป็นรูพรุนและปริมาณน้ำในดิน เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแสดงให้เห็นว่าความเป็นรูพรุนจะน้อยลงเมื่อตัวอย่างดินมีปริมาณน้ำมากขึ้น

1.6.4 วสันต์ วงศ์สิโรจน์กุล[6] พัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส (GPS) ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเครื่องวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นมีการกระเพื่อมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ +5, +12, -12, +12 (แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง), +24 และ -24 โวลต์ เป็น 10, 5, 8, 180, 25 และ 5 มิลลิโวลต์พีคถึงพีค ตามลำดับ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถปรับค่าต่อเนื่องได้ 0-1000 โวลต์ โดยที่ 1000 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าตกกลงไป 0.66 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 และ 2 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของสเกลเฉลี่ยเป็น 0.548 เปอร์เซ็นต์ วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น สามารถปรับโพลาไรตีและแก้ปัญหาอินเตอร์ชูดได้ มีอัตราขยาย 100, 500 และ 1000 เท่า และสัญญาณทางออกเป็นสัญญาณแบบเซมิเกาสเซียน (Semi-Gaussian) ส่วนวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวสามารถปรับดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ (Lower discriminator, LLD) และหน้าต่าง (Window, ΔE) ได้ 0-10 โวลต์ มีค่าความเป็นเชิงเส้นของดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำและหน้าต่าง 0.9998 และ 0.9999 ตามลำดับ เมื่อทดสอบวงจรนับรังสีและตั้งเวลา พบว่าในช่วง 0-60000 จำนวนรังสีต่อวินาที มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.005 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงพัลส์ความถี่สูง 150 กิโลเฮิรต มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ วงจรตั้งเวลามีความคลาดเคลื่อน 0.0023 และ 0.0027 เปอร์เซ็นต์ ที่การตั้งเวลา 1 นาที่ และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ วงจรเรตมิเตอร์มีความเป็นเชิงเส้น 0.9996, 0.9996, 0.9996 และ 0.9989 สำหรับช่วง $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$ และ $\times 1000$ ตามลำดับ ในส่วนของการพัฒนาระบบจีพีเอส สามารถทำการวัดรังสีได้จากระยะไกล โดยการโทรศัพท์เข้าเครื่องวัดรังสีหรือส่งการระยะไกลผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ต่อเข้ากับโมดูล GPRS ที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้เครื่องทำการวัดรังสีแล้วส่งข้อมูลปริมาณรังสีและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตำแหน่งที่วัดกลับมาให้ผู้ใช้งานผ่านการส่งข้อความ (SMS) ได้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลดทอนความเข้มรังสี[7]

เมื่อรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง จะมีโอกาสเกิดอันตรกิริยาที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้ 3 รูปแบบ คือ การเกิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการเกิดแพร์โปรดักชัน (Pair production) ซึ่งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูง จะมีโอกาสเกิดแพร์โปรดักชันมากที่สุด และที่รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำลง จะมีโอกาสเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันและเกิดโฟโตอิเล็กทริกมากขึ้นตามลำดับ โดยโอกาสการเกิดอันตรกิริยาแบบต่าง ๆ ของอันตรกิริยาเหล่านี้ เรียกว่า สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient, μ) ซึ่งเป็นค่าที่เกิดต่อหน่วยระยะทาง แต่ในทางปฏิบัติ ปัจจัยของการเกิดอันตรกิริยายังมีความหนาแน่นของตัวกลางเข้ามาเกี่ยวข้อง เรียกปัจจัยดังกล่าวว่า สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

โดยสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

เมื่อ ρ = ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง (g/cm^3)

ในกรณีที่ตัวกลางเป็นสารประกอบหรือวัสดุผสม สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้จากสมการ

$$\mu_c = \sum_{i=1}^J n_i \mu_i \mu_{m_c} = \sum_{i=1}^n w_i \mu_{m_i}$$

เมื่อ μ_{m_c} = สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของสารประกอบ (cm^2/g)

w_i = สัดส่วนน้ำหนักมวลของแต่ละธาตุ

μ_{m_i} = สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุ

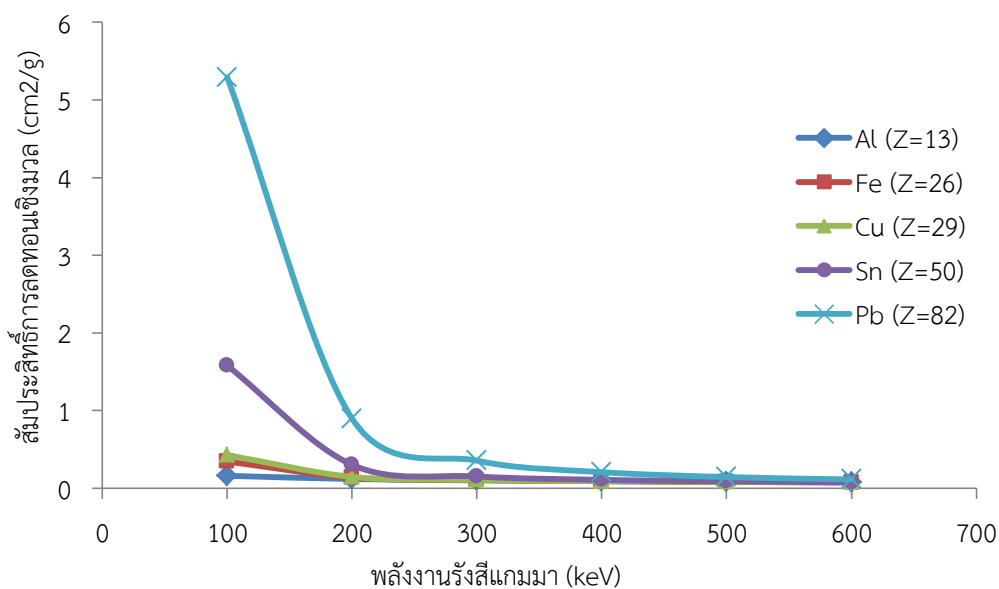
n = จำนวนสารประกอบในตัวกลาง

โดยเมื่อลำรังสีขนานกระทบตัวกลาง รังสีนั้นไม่ได้ทำอันตรกิริยาจนสูญเสียพลังงานทั้งหมด แต่จะมีบางส่วนที่มีโอกาสส่งผ่านตัวกลางโดยไม่สูญเสียพลังงาน สามารถคำนวณได้จากสมการตามกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) ซึ่งความเข้มของรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ที่ผ่านตัวกลางออกมาจะลดลงในลักษณะของเอกซ์โพเนนเชียล

$$I_x = I_0 e^{-\mu_m(\rho x)}$$

เมื่อ	μ_m	= สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล
	I_0 และ I_x	= ความเข้มของรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ก่อนและหลังผ่านตัวกลาง
	x	= ความหนาของตัวกลาง (cm)
	ρ	= ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจะแปรผันตามชนิดของตัวกลางและพลังงานของรังสี ซึ่งหากตัวกลางมีเลขอะตอมสูงขึ้นไป สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจะมีค่ามากขึ้นที่พลังงานรังสีเดียวกัน เนื่องจากอะตอมของตัวกลางมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมาก ส่งผลให้อนุภาครังสีมีโอกาสถูกหน่วงและเกิดอันตรกิริยาภายในอะตอมได้มาก จึงส่งผ่านออกมาได้น้อย แต่ขณะที่ตัวกลางประเภทและความหนาเดียวกัน รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงกว่าจะสามารถส่งผ่านออกมาได้มากกว่า ซึ่งหมายถึงมีการลดลงของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล



รูปที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของตัวกลางที่รังสีแกมมาพลังงานต่างๆ

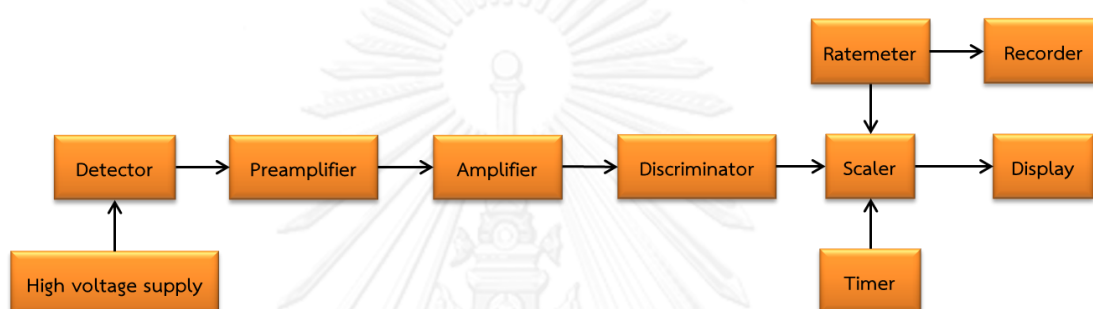
จากรูปที่ 2.1[8] เห็นได้ว่า เลขอะตอมของตัวกลางจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลน้อยมากเมื่อรังสีแกมมาพลังงานมากกว่า 0.5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ดังนั้นการวัดสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลอย่างถูกต้อง จึงควรใช้รังสีแกมมาพลังงานต่ำ ทั้งนี้ ต้องตระหนักถึงความหนาของตัวกลางด้วย[9]

2.2 ระบบวัดรังสี[7]

ระบบวัดรังสีสามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบ คือ

2.2.1 ระบบวัดรังสีแบบนับรวม (Integral counting system)

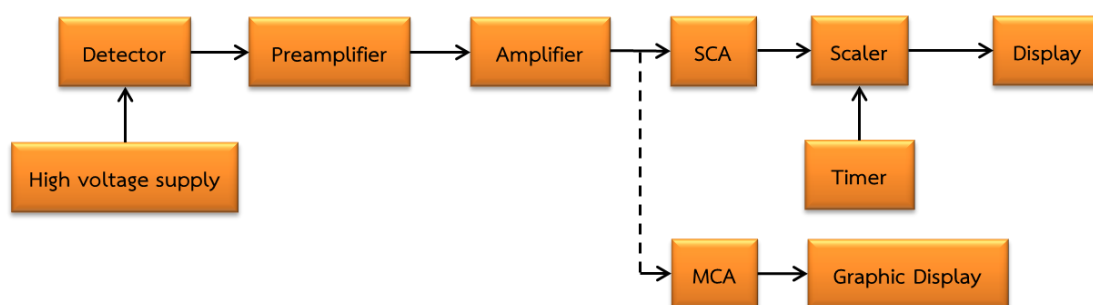
เป็นระบบวัดรังสีที่นับรังสีทุกพลังงานที่ตรวจวัดได้ โดยไม่แยกนับเฉพาะพลังงาน สามารถจัดอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 2.2[7] ซึ่งประกอบด้วย หัววัดรังสี (Detector) แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (Pulse amplifier) อุปกรณ์ตัดสัญญาณรบกวน (Discriminator) หากสัญญาณที่เข้ามาสูงกว่าระดับอ้างอิง (Threshold level) ระบบจะนับสัญญาณด้วยอุปกรณ์นับรังสี (Scaler) ซึ่งควบคุมเวลาด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer)



รูปที่ 2.2 แผนผังอุปกรณ์ระบบวัดรังสีแบบนับรวม

2.2.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน (Differential counting system)

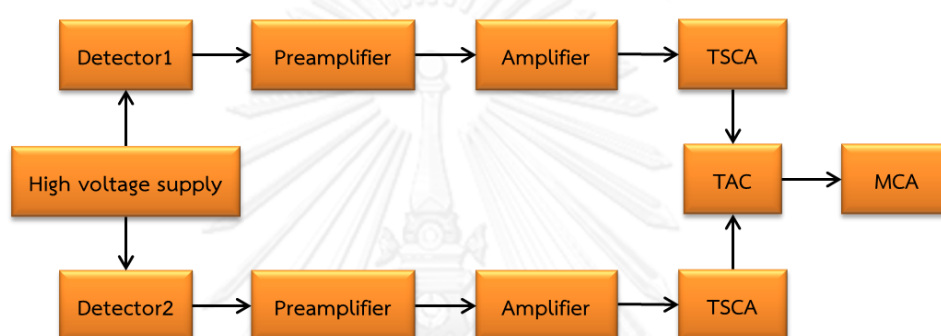
เป็นระบบวัดรังสีที่แยกนับเฉพาะพลังงานในรูปของสเปกตรัมพลังงาน (Energy spectrum) มีการจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.3[7] โดยสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของสัญญาณพัลส์เพื่อวิเคราะห์ความสูงและแยกนับปริมาณรังสีเฉพาะพลังงาน คือ อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single channel analyzer, SCA) หรืออุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel analyzer, MCA) โดยสัญญาณจากอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์นับรังสีซึ่งควบคุมด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลา และสัญญาณจากอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องจะวิเคราะห์และเก็บข้อมูล แล้วแสดงข้อมูลในรูปสเปกตรัมบนจอภาพ



รูปที่ 2.3 แผนผังอุปกรณ์ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน

2.2.3 ระบบวัดรังสีโคอินซิเดนซ์ (Coincidence counting system)

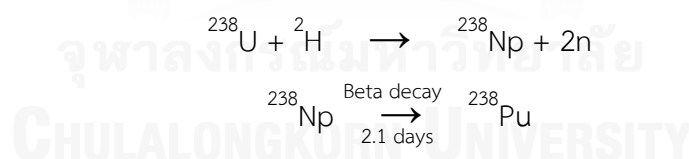
เป็นระบบวัดรังสีแบบแยกเฉพาะช่วงเวลา ประกอบด้วยระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน 2 ชุดประกอบกัน อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ต้องให้สัญญาณลอจิกที่ตำแหน่งเวลาแน่นอน อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวที่ใช้จึงเป็นแบบ TSCA (Timing SCA) ข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นเมื่ออนุภาคนิวเคลียร์ถูกวัดจากหัววัดรังสีชุดแรก ซึ่งจะกระตุ้นการแปลงผันเวลาของอุปกรณ์แปลงผันเวลา (Time to amplitude converter, TAC) เป็นความสูงของพัลส์ และการแปลงผันเวลาจะหยุดเมื่ออนุภาคนิวเคลียร์ถูกวัดจากหัววัดรังสีชุดที่สอง โดยค่าความสูงของพัลส์จะเป็นสัดส่วนกับคาบเวลาที่ส่งให้อุปกรณ์วิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 2.4[7]



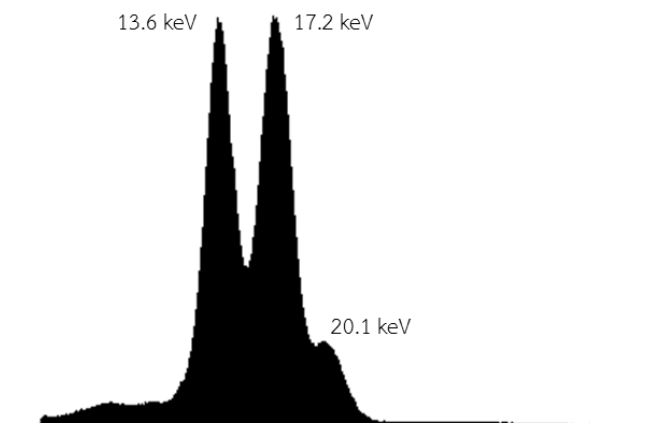
รูปที่ 2.4 แผนผังอุปกรณ์ระบบระบบวัดรังสีโคอินซิเดนซ์

2.3 ต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238 (Pu-238)[10]

พลูโตเนียม-238 ผลิตขึ้นจากการยิงดิวเทอรอน (Deuteron bombardment) ใส่ยูเรเนียม-238 (U-238) ในเครื่องเร่งอนุภาค จะได้เนปทูเนียม-238 (Np-238) และสลายตัวต่อให้พลูโตเนียม-238 ที่มีครึ่งชีวิต 87.7 ปี



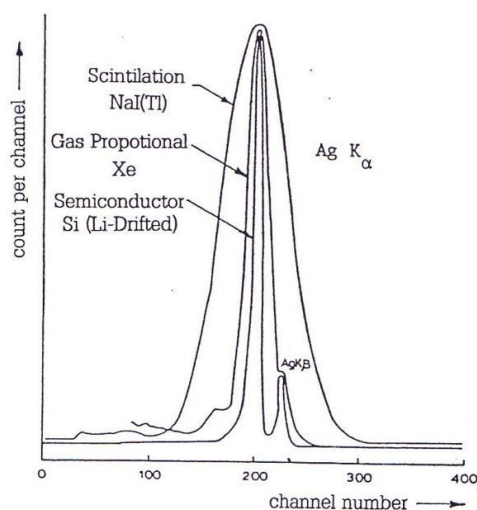
สเปกตรัมพลังงานของพลูโตเนียม-238 จากการวัดด้วยหัววัดรังสีเอกซ์แบบพรอพอร์ชันแนล (Proportional detector) มีลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมพลังงานรังสีเอกซ์ของพลูโตเนียม-238

2.4 หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล[7]

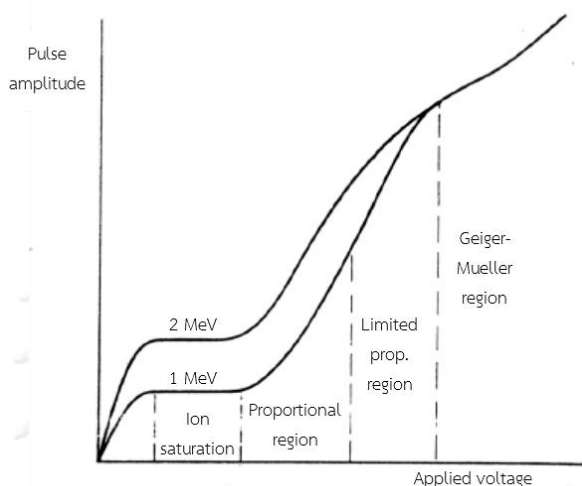
หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนลเป็นหัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส ซึ่งโดยทั่วไป หัววัดรังสีสามารถแบ่งตามชนิดของตัวกลางได้ 3 ประเภท คือ หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส (Gas-filled detector) หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation detector) และหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) คุณสมบัติที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของหัววัดรังสีในการวิเคราะห์พลังงาน คือ ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (Resolution) โดยที่พลังงานรังสีเอกซ์ใกล้เคียงกัน หัววัดทั้ง 3 ประเภท สามารถแจกแจงพลังงานได้ดังสเปกตรัมในรูปที่ 2.6[7]



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของธาตุเงิน (Ag) ที่ได้จากหัววัดชนิดต่าง ๆ

หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน NaI(Tl) มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานต่ำที่สุด เนื่องจากหัววัดชนิดนี้จะใช้พลังงานจำนวนมาก ประมาณ 760 อิเล็กตรอนโวลต์ ในการทำให้เกิดคู่อิออน 1 คู่ เมื่อมีการทวีคูณอิเล็กตรอนจึงมีความแปรปรวนของจำนวนประจุมาก รองลงมา คือ หัววัดรังสีชนิด

บรรจุแก๊ส Xe ซึ่งใช้พลังงานประมาณ 30 อิเล็กตรอนโวลต์ ในการสร้างคู่อิออน ความแปรปรวนของจำนวนประจุจึงต่ำกว่า และหัววัดรังสีที่แจกแจงพลังงานได้ดีที่สุด คือ หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ Si(Li) ใช้พลังงานประมาณ 3 อิเล็กตรอนโวลต์ ในการสร้างอิเล็กตรอนและโฮล 1 คู่ จึงมีความแปรปรวนของจำนวนประจุน้อยมาก จึงทำให้หัววัดรังสีประเภทนี้มีราคาสูงมาก งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊สแบบพรอพอร์ชันแนล



รูปที่ 2.7 ช่วงการทำงานของหัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊สที่รังสีพลังงาน 1 และ 2 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนลจัดอยู่ในหัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊สที่ทำงานในช่วงพรอพอร์ชันแนล (Proportional region) ดังรูปที่ 2.7[7] ใช้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ประมาณ 1000 ถึง 2000 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าของหัววัดรังสีในย่านนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนด (Anode) และแคโทด (Cathod) สูงขึ้น อิเล็กตรอนที่เกิดจากการไอออไนซ์ปฐมภูมิ (Primary ionization) จึงมีพลังงานจลน์สูงพอที่จะเกิดการไอออไนซ์ทุติยภูมิ (Secondary ionization) ส่งผลให้เกิดการไอออไนซ์ของก๊าซเป็นคู่มากขึ้น ปริมาณของประจุที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสีทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = M \cdot n_{av} \cdot q = \frac{M \cdot E}{W} \cdot q$$

- เมื่อ Q = ปริมาณประจุทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสี
 M = ค่าคงที่การทวีคูณอิเล็กตรอนของหัววัดรังสี
 n_{av} = จำนวนไอออนเฉลี่ยที่เกิดขึ้น
 q = ประจุอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} คูลอมป์
 E = พลังงานของรังสีที่ผ่านเข้าไปในหัววัดรังสี
 W = พลังงานที่ใช้ในการกำเนิดคู่อิออน 1 คู่

พลังงานที่ใช้ในการกำเนิดคู่อิออน (W-value) ของแก๊สแต่ละชนิดที่บรรจุในหัววัดจะไม่เท่ากัน แสดงในตารางที่ 2.1[7]

ตารางที่ 2.1 พลังงานที่ใช้ในการกำเนิดคู่อิออนของแก๊สชนิดต่าง ๆ

Gas	W-value (eV/ion pair)	
	Fast electron	Alpha particle
Ar	26.4	26.3
He	41.3	42.7
H ₂	36.5	36.4
N ₂	34.8	36.4
Air	33.8	35.1
O ₂	30.8	32.2
CH ₄	27.3	29.1

ลักษณะการเกิดการไอออไนซ์ปฐมภูมิและไอออไนซ์ทุติยภูมิแสดงในรูปที่ 2.8[7] โดยปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อปริมาณไอออนที่เกิดจากการไอออไนซ์ปฐมภูมิ เรียกว่า ค่าทวีคูณของแก๊ส (M) ซึ่งขึ้นกับตัวแปรหลายประเภท เช่น แรงดันไฟฟ้า รัศมีของเส้นลวดแอโนดและแคโทด เป็นต้น ค่าทวีคูณของแก๊สของหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนลที่มีโครงสร้างทรงกระบอกดังรูปที่ 2.9[7] สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\ln M = \frac{V}{\ln(b/a)} \cdot \frac{\ln 2}{\Delta V} \left(\ln \frac{V}{pa \ln(b/a)} \cdot \ln K \right)$$

เมื่อ M = ค่าคงที่การทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์ของหัววัดรังสี

V = แรงดันไฟฟ้าสูงที่จ่ายให้แอโนดและแคโทด

a = รัศมีของเส้นลวดแอโนด

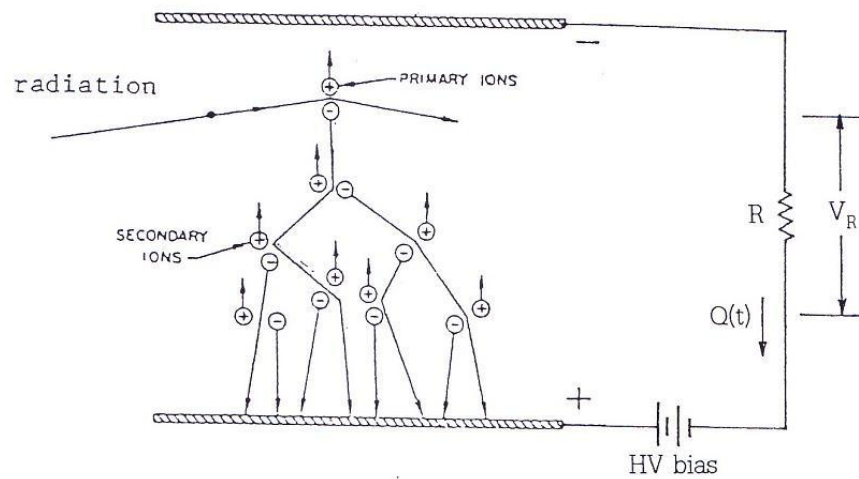
b = รัศมีของแคโทด

p = ความดันแก๊สที่บรรจุ

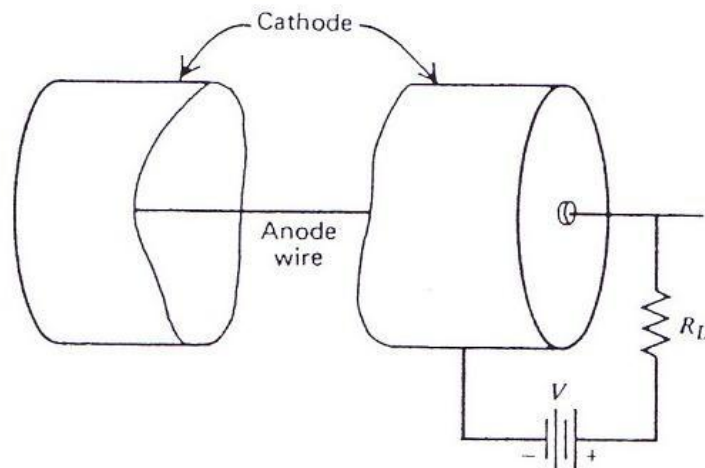
K = ค่าต่ำสุดของ ϵ/p ที่เป็นจุดก่อนเกิดการทวีปริมาณไอออน

ค่า ΔV และ K เป็นค่าเฉพาะของแก๊สแต่ละชนิดที่บรรจุที่หัววัดรังสี โดยปกติการทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดจากการเกิดไอออไนซ์ทุติยภูมิ แต่ในบางครั้งที่มีอิเล็กตรอนถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอมของแก๊สแล้ว แต่ไม่เกิดการไอออไนซ์ อะตอมจะรับพลังงานและเข้าสู่ภาวะกระตุ้น (Excited

state) จากนั้นลงสู่สถานะกราวด์ (Ground state) พร้อมทั้งปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมา พลังงานนี้อาจจะไปกระตุ้นผนังของแคโทดให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) ทำให้ปริมาณไอออนที่เกิดโดยรวมไม่เป็นสัดส่วนกับพลังงานและสูญเสียความเป็นเชิงเส้นในช่วงการทำงานของหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะข้างต้นจึงมีการผสมแก๊สที่มีองค์ประกอบของโมเลกุลหลายอะตอม เข้าไปในแก๊สหลักเล็กน้อย เช่น แก๊สมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น



รูปที่ 2.8 การทำงานของแก๊สในหัววัดรังสีช่วงพรอพอร์ชันแนล



รูปที่ 2.9 โครงสร้างพื้นฐานของหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล

2.5 อุปกรณ์ของระบบวัดรังสี[11]

2.5.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High voltage)

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งขั้วบวกและลบ แต่โดยส่วนใหญ่จะใช้แรงดันไฟฟ้าบวกกับหัววัดรังสี ซึ่งหัววัดรังสีแต่ละประเภทจะต้องการแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2[11]

ตารางที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าสำหรับหัววัดรังสีประเภทต่าง ๆ

หัววัดรังสี	แรงดันไฟฟ้า (HV, โวลต์)
Ionization counters	HV < 1000
Proportional counters	500 < HV < 1500
GM counters	500 < HV < 1500
Scintillators	750 < HV < 1250
Neutron detectors	1000 < HV < 2000
Surface barrier	HV < 100
Hyper-pure germanium	2500 < HV < 4500

2.5.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า (Preamplifier)

อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้าเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างหัววัดรังสีและอุปกรณ์อื่น ๆ ของระบบนับวัด (Counting system) โดยจะถูวางอยู่ใกล้กับหัววัดรังสีให้มากที่สุดเพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนจากระบบอิเล็กทรอนิกส์และป้องกันสัญญาณจากหัววัดรังสีที่มีขนาดเล็กระดับมิลลิโวลต์ (mV) สูญหายไปกับสายส่งสัญญาณก่อนการขยายสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งอาจอยู่ไกลจากหัววัดรังสี

2.5.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier)

อุปกรณ์ขยายสัญญาณสามารถขยายสัญญาณได้มากกว่า 1000 เท่า ซึ่งอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีจำหน่ายในปัจจุบันสามารถขยายสัญญาณได้สูงสุด 10 โวลต์ อีกทั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณยังทำหน้าที่เปลี่ยนรูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้าไปเป็นรูปสัญญาณที่เหมาะสมต่อการวัดรังสี มีทั้งแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) และไบโพลาร์ (Bipolar) อุปกรณ์ขยายสัญญาณมีระบบปรับขยายสัญญาณ 2 แบบ คือ

2.5.3.1 การขยายสัญญาณแบบหยาบ (Coarse gain) เป็นการขยายสัญญาณแบบเป็นสัดส่วนกับอัตราการขยายสูงสุด เช่น มีการขยายสัญญาณขนาด 1, 2, 4, 8 และ 16 และอุปกรณ์ขยายสัญญาณนั้นสามารถขยายสัญญาณได้สูงสุด 100 เท่า ดังนั้น ระดับขยายสัญญาณที่ 16 จะสามารถขยายสัญญาณได้ 100 เท่า ที่ระดับ 8, 4, 2 และ 1 จะขยายสัญญาณได้ 50, 25, 12.5 และ 6.25 เท่า ตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วนของค่าสูงสุดการขยาย $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ และ $\frac{1}{16}$ เท่า ตามลำดับ

2.5.3.2 การขยายสัญญาณแบบละเอียด (Fine gain) เป็นการปรับการขยายสัญญาณแบบต่อเนื่อง มีค่าตั้งแต่ 0 – 10 คิดเป็นสัดส่วนของค่าสูงสุดการขยายเช่นกัน เช่น หากอุปกรณ์ขยายสัญญาณนั้นสามารถขยายสัญญาณได้สูงสุด 100 เท่า ถ้าปรับตั้งค่าการขยายสัญญาณแบบหยาบเท่ากับ 8 (ค่าสูงสุด 16) และการขยายสัญญาณแบบละเอียดเท่ากับ 5 (ค่าสูงสุด 10) อัตราการขยายจะเท่ากับ $100 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = 25$

2.5.4 อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single channel analyzer)

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณพัลส์ที่ไม่ต้องการสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี

2.5.4.1 ต้องการสัญญาณพัลส์ที่มากกว่าระดับอ้างอิง 1 ระดับ สัญญาณพัลส์ที่มีค่ามากกว่าระดับพลังงานอ้างอิง (Threshold energy) จะถูกนับ แต่สัญญาณพัลส์ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกตัดทิ้ง โดยใช้อุปกรณ์ดิสคริมีเนเตอร์ (Discriminator) หรืออุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว การเลือกสัญญาณแสดงในรูปที่ 2.10[11] การเลือกสัญญาณพัลส์แบบนี้จัดเป็นระบบนับรวม

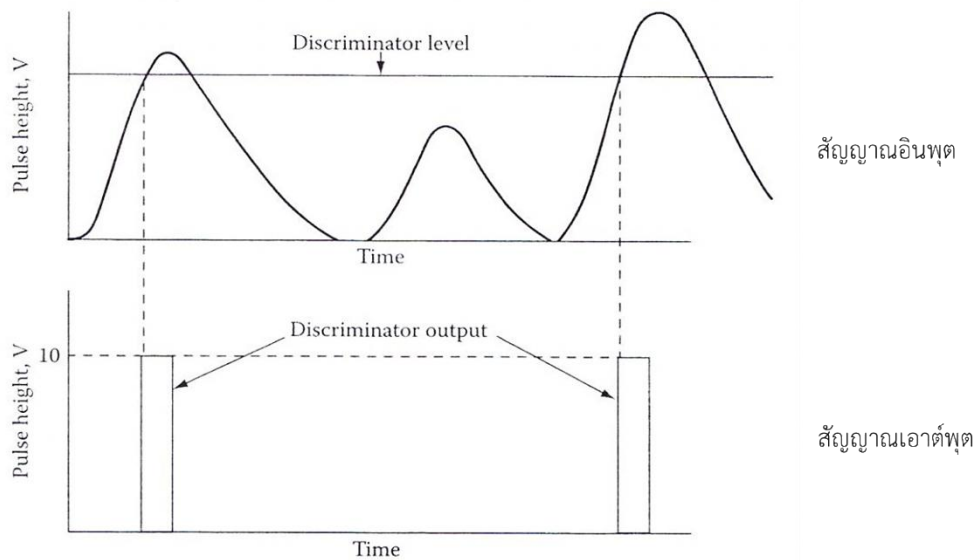
2.5.4.2 ต้องการสัญญาณพัลส์ที่อยู่ระหว่างระดับอ้างอิง 2 ระดับ ดิสคริมีเนเตอร์ระดับต่ำ (LLD) และดิสคริมีเนเตอร์ระดับสูง (ULD) มีแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้ 0-10 โวลต์ เป็นอิสระจากกัน โดยดิสคริมีเนเตอร์ระดับต่ำจะทำหน้าที่ตัดสัญญาณพัลส์ที่มีค่าต่ำกว่าระดับที่ตั้งค่า และดิสคริมีเนเตอร์ระดับสูงจะตัดสัญญาณพัลส์ที่มีค่ามากกว่าระดับที่ตั้งค่า สัญญาณพัลส์ที่มีค่าอยู่ระหว่างระดับอ้างอิง 2 ระดับเท่านั้นที่จะถูกเลือกผ่านไปยังอุปกรณ์นับรังสีการเลือกสัญญาณแสดงในรูปที่ 2.11[11] การเลือกสัญญาณพัลส์แบบนี้จัดเป็นระบบนับแยกพลังงาน

2.5.5 อุปกรณ์นับรังสี (Counter)

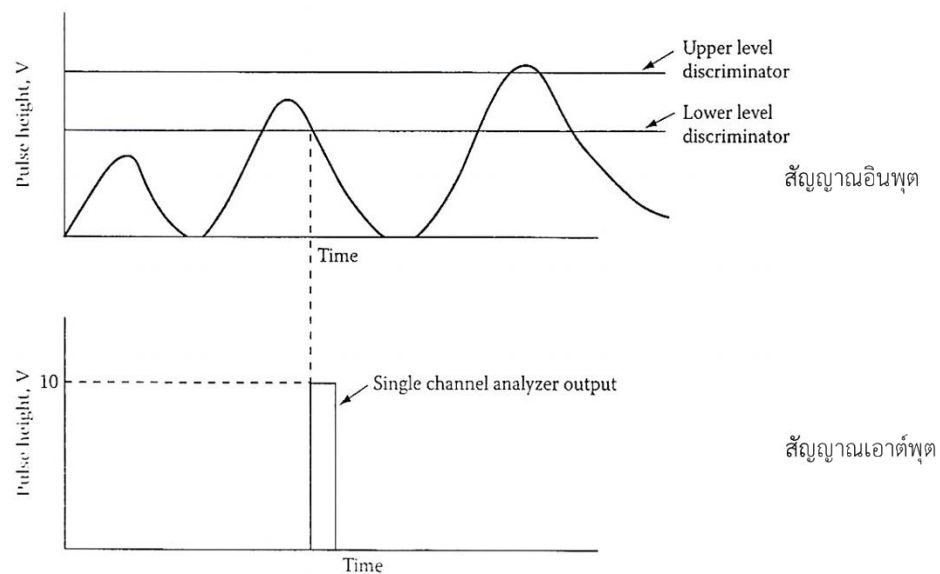
อุปกรณ์นับรังสีจะนับสัญญาณพัลส์ที่เข้ามาโดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 พัลส์ ซึ่งจะถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลา

2.5.6 อุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer)

อุปกรณ์ตั้งเวลาจะต่อกับอุปกรณ์นับรังสีเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการเริ่มและหยุดนับสัญญาณ



รูปที่ 2.10 การคัดเลือกสัญญาณด้วยดิสคริเมเนเตอร์

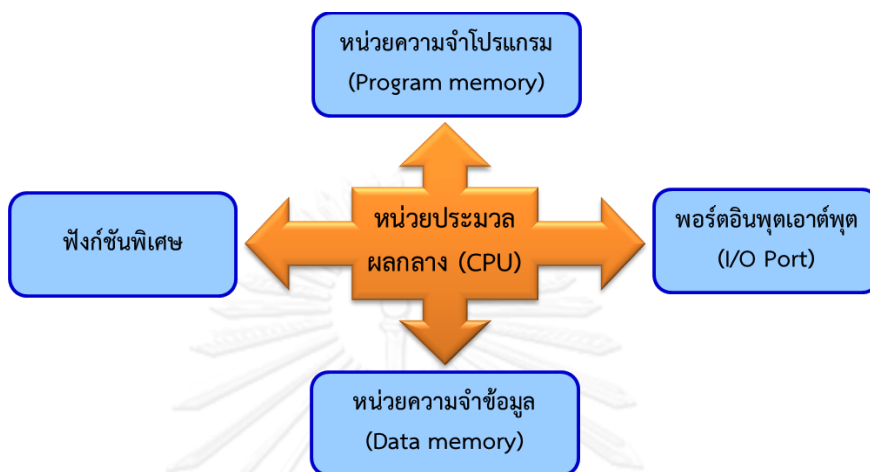


รูปที่ 2.11 การคัดเลือกสัญญาณด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดียว

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)[12]

ในงานวิจัยได้มีการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลการจำแนกประเภทของเหลว โดยไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายตระกูล ซึ่งแต่ละตระกูลจะมีข้อดี ข้อเสีย และเป็นที่ยอมรับใช้งานแตกต่างกันไป ตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นตัวเลือกอันดับต้น ๆ คือ พีไอซี (PIC) ย่อมาจาก Peripheral Interface Controller เป็นอุปกรณ์ที่มีระบบประมวลผลและอุปกรณ์เชื่อมต่อที่จำเป็นรวมอยู่ในชิปตัวเดียวกัน ทั้งหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ A/D ฯลฯ ทำให้ใช้งาน

สะดวกและไม่ต้องการอุปกรณ์ต่อร่วมจำนวนมาก ในปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เราเลือกใช้งานหลายตระกูล แต่โดยรวมแล้ว พีไอซีจะมีพื้นฐานการพัฒนาคล้ายกัน
โครงสร้างหลักของพีไอซี



รูปที่ 2.12 โครงสร้างหลักของพีไอซี

โครงสร้างหลักของพีไอซีทุกเบอร์จะมีลักษณะเหมือนกัน แต่สำหรับเบอร์ที่มีสมรรถนะสูงอาจมีฟังก์ชันพิเศษเพิ่มเข้ามา ในส่วนโครงสร้างแต่ละส่วนมีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

2.6.1 หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU เป็นตัวกระทำเหมือนสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ประมวลคำสั่งและการกระทำทางคณิตศาสตร์

2.6.2 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมเป็นที่เก็บโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน พีไอซีแบ่งตามชนิดของหน่วยความจำโปรแกรมได้ 3 ประเภท คือ[13]

2.6.2.1 OTP (One-time programmable)

เป็นชิพ (Chip) ประเภทที่มีราคาถูกที่สุด แต่สามารถโปรแกรมได้ 1 ครั้งเท่านั้น ชิพประเภทนี้เหมาะกับกรณีที่พัฒนาโปรแกรมจนไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ แล้ว และต้องการใช้งานเป็นจำนวนมาก เพราะมีราคาถูก เช่น PIC12C509, PIC12C672, PIC16C74 เป็นต้น

2.6.2.2 EPROM (Erasable programmable ROM)

เป็นชิพที่เมื่อโปรแกรมไปแล้วสามารถลบโปรแกรมเดิมได้ด้วยแสงยูวี (Ultra violet) ดังนั้นที่ด้านบนของชิพจะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสงยูวีสามารถส่องผ่านเข้าไปในชิพได้ ชิพแบบนี้จะมีตัวอักษร JW เขียนกำกับอยู่บนตัวชิพ เช่น PIC16C57/JW, PIC16C74/JW เป็นต้น

2.6.2.3 EEPROM (Electrically erasable programmable ROM) หรือที่เรียกว่าแฟลช (Flash)

เป็นชิพที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมด้วยไฟฟ้า สามารถลบและเขียนใหม่ได้

หลายพันครั้ง ชิพประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดใน 3 ประเภท เช่น PIC12F510, PIC16F877, PIC18F4331, PIC32MX340F128H เป็นต้น

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้พีไอซีจะเริ่มทำงานที่ตำแหน่งแรกของหน่วยความจำโปรแกรม คือ ตำแหน่ง 0000 ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Reset vector ทำให้พีไอซีมีการรีเซ็ต (Reset) ทุกครั้งที่เริ่มจ่ายไฟให้

2.6.3 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลเป็นที่เก็บข้อมูลในตัวแปร หน่วยความจำนี้เป็นแบบแรม (RAM) ซึ่งต้องจ่ายไฟให้จึงจะเก็บข้อมูลได้ (Volatile) ดังนั้นเมื่อไฟดับ ข้อมูลในแรมจึงจะหายไป

2.6.4 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

พอร์ตอินพุตเอาต์พุตเป็นช่องทางสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกพีไอซี แต่ละตัวอาจมีหลายพอร์ต โดยปกติแต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต แต่ละบิตสามารถกำหนดให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยอิสระ เช่น PORTB มีขนาด 8 บิต คือ PORTB.0-PORTB.7 สามารถกำหนด PORTB.1 เป็นอินพุต PORTB.2 เป็นเอาต์พุต หรือขาอื่น ๆ ได้

2.6.5 ฟังก์ชันการทำงานอื่น ๆ

ฟังก์ชันการทำงานอื่น ๆ เช่น ตัวนับเวลา (Timer) อินเทอร์รัปต์ (Interrupt) เป็นต้น เป็นฟังก์ชันเสริมการทำงานของพีไอซีซึ่งจะไม่เหมือนกันในพีไอซีแต่ละเบอร์

2.6.5.1 ตัวนับเวลา

พื้นฐานคือตัวนับสัญญาณ (Counter) ที่รับสัญญาณจากภายนอกหรือภายในพีไอซีเอง โดยนับจำนวนสัญญาณพัลส์จากความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ป้อนเข้า

2.6.5.2 A/D

เป็นฟังก์ชันพิเศษที่ใช้แปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

2.6.5.3 อินเทอร์รัปต์ (Interrupt)

เป็นฟังก์ชันเสริมที่คอยรับสัญญาณการอินเทอร์รัปต์หรือการขัดจังหวะการทำงานจากภายในหรือภายนอก สำหรับพีไอซีปกติจะทำงานตามบรรทัดคำสั่งไปเรื่อย ๆ เมื่อได้รับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จะพักงานที่ทำไว้อยู่ชั่วคราวและไปทำงานในโปรแกรมย่อยจากนั้นจึงกลับมาทำงานในโปรแกรมหลักที่ค้างไว้ต่อไป

2.7 วัสดุอันตราย

ของเหลวที่ถูกพิจารณาเลือกใช้ในงานวิจัย เป็นของเหลวอันตรายที่เป็นสารไวไฟ สารเชื้อเพลิง และของเหลวที่มีส่วนประกอบที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตวัตถุระเบิด ซึ่งของเหลวจำพวกนี้เสี่ยงต่อการถูกนำไปใช้ในการก่อการร้าย จึงได้พิจารณาคุณสมบัติของของเหลวอันตรายดังนี้

2.7.1 สารไวไฟ[14]

2.7.1.1 ลักษณะเฉพาะของสารไวไฟ

2.7.1.1.1 ความดันไอ (Vapor pressure)

ความดันไอ คือ ค่าที่ใช้บอกความสามารถของการกลายเป็นไอของของเหลวที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งความดันไอนี้มีหน่วยวัดหลายหน่วย เช่น ความดันบรรยากาศ (Atmospheres, atm) มิลลิเมตรปรอท (mmHg) และปอนด์ต่อตารางเมตร (psi) ความดัน

บรรยากาศจะมีค่าคงที่ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลระดับหนึ่ง โดยความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท และความดันไอจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูง เช่น เคโรซีนมีความดันไอ 5 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส หมายความว่าเคโรซีนสามารถระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิปกติ และโทลูอีนมีความดันไอ 21 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แสดงว่าโทลูอีนสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายกว่าเคโรซีน

2.7.1.1.2 ความหนาแน่นของไอ (Vapor density)

ความหนาแน่นของไอ คือ ค่าเปรียบเทียบความหนาแน่นของไอของสารชนิดต่าง ๆ กับความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หากไอของสารมีความหนาแน่นของไอน้อยกว่า 1 หมายถึงไอของสารนั้นเบากว่าอากาศ ซึ่งไอของสารจะลอยตัวขึ้นสูงและฟุ้งกระจาย แต่หากไอของสารมีความหนาแน่นของไอมากกว่า 1 แสดงว่าไอของสารนั้นหนักกว่าอากาศ โดยไอจะมีลักษณะร่วงลงสู่พื้นล่าง ความหนาแน่นของไอบ่งบอกถึงลักษณะอันตรายของแก๊สที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปไอของสารไวไฟ (Flammable liquid vapor) และแก๊สไวไฟ (Flammable gas) จะหนักกว่าอากาศ เช่น โพรเพน (Propane) มีความหนาแน่นของไอเท่ากับ 1.6

2.7.1.1.3 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

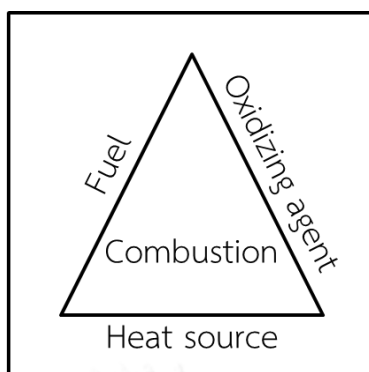
ความถ่วงจำเพาะเป็นการเปรียบเทียบความหนาแน่นของสารชนิดต่าง ๆ กับความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 การเปรียบเทียบนี้จะใช้กับสารที่มีสถานะเป็นของเหลว โดยหากสารนั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 หมายถึงสารนั้นเบากว่าน้ำ แต่หากสารนั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 จะหมายถึง สารนั้นหนักกว่าน้ำ

2.7.1.1.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลาย หมายถึง ความสามารถในการรวมตัวของสารใด ๆ กับน้ำ โดยความสามารถในการละลายนี้ ไม่มีหน่วยในการแสดงค่า ของเหลวบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ บางชนิดละลายได้บางส่วน และบางชนิดสามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ แต่สำหรับของเหลวประเภทไฮโดรคาร์บอน เช่น น้ำมันเบนซิน จะไม่สามารถละลายน้ำได้ อีกทั้งยังมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 จึงทำให้น้ำมันเบนซินลอยบนผิวหน้าของน้ำ ในขณะที่ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 แต่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อผสมกัน จึงพบว่าไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์จะลอยบนผิวหน้าของน้ำในตอนแรก แต่ต่อมารวมตัวกับน้ำกลายเป็นสารละลาย

2.7.1.1.5 การติดไฟ[15]

การติดไฟต้องมีองค์ประกอบร่วมกัน 3 องค์ประกอบ ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 3 นี้ ต้องมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในแต่ละองค์ประกอบจึงสามารถทำให้เกิดการติดไฟขึ้นได้ องค์ประกอบทั้ง 3 แสดงในรูปที่ 2.13[15]



รูปที่ 2.13 องค์ประกอบของการติดไฟ

- เชื้อเพลิง (Fuel) แบ่งออกเป็นเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ดังนี้
 - เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ไม้ กระดาษ พลาสติก ยาง เป็นต้น
 - เชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ
 - เชื้อเพลิงแก๊ส ได้แก่ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquid petroleum gas, LPG) และแก๊สธรรมชาติเหลว (Liquid natural gas, LNG)

- ออกซิเจน (Oxygen)
- ความร้อน (Heat) คือ อุณหภูมิที่สูงพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในการเผาไหม้ ซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะลุกไหม้ที่อุณหภูมิต่างกัน

เพลิงไหม้เกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนอยู่ในรูปของไอระเหย (Vapor) หรือฝอยละเอียดของของเหลว (Liquid mist) ฝุ้งกระจายในอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อผสมกับออกซิเจนซึ่งปนอยู่ในอากาศและได้รับความร้อน จะเกิดการลุกไหม้ขึ้นทันที การลุกไหม้เป็นไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าเชื้อเพลิงจะหมดหรือจนกว่าจะขาดสมดุลในองค์ประกอบที่ทำให้เกิดไฟ

2.7.1.2 การวัดความไวไฟของสารไวไฟ[14]

2.7.1.2.1 จุดวาบไฟ (Flashpoint)

จุดวาบไฟ หมายถึง อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงซึ่งมีสถานะของเหลวเกิดไอเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากเพียงพอจะทำให้เกิดเปลวไฟวาบขึ้นที่ผิวของของเหลวเมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอกอยู่ใกล้ผิวของเหลว และเมื่อนำแหล่งกำเนิดความร้อนออกจากผิวของเหลว เปลวไฟจะดับลง เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวยังไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Self-sustained combustion) ซึ่งจุดวาบไฟเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาความอันตรายด้านอัคคีภัยของเชื้อเพลิงเหลว เนื่องจากจุดวาบไฟเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงเหลวมีโอกาสลุกติดไฟ

2.7.1.2.2 จุดติดไฟ (Ignition temperature หรือ Fire point)

จุดติดไฟ หมายถึง อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงสามารถลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่องเมื่อใช้แหล่งกำเนิดความร้อนภายนอกเฉพาะตอนแรกเริ่ม โดยจุดติดไฟจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดวาบไฟเล็กน้อย

2.7.1.2.3 จุดลุกติดไฟตัวเอง (Auto-ignition temperature)

จุดลุกติดไฟตัวเอง หมายถึง อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงสามารถลุกติดไฟขึ้นได้เอง โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอก

2.7.1.2.4 ช่วงของการไวไฟหรือช่วงของการระเบิด (Flammable range หรือ Explosion range)

ช่วงของการไวไฟหรือช่วงของการระเบิดจะถูกกำหนดอยู่ในรูปของ อัตราส่วนร้อยละของไอของสารไวไฟหรือแก๊สไวไฟที่อยู่ในอากาศที่สามารถเกิดการลุกติดไฟได้ ช่วงของการไวไฟของเชื้อเพลิงจะมีค่าจุดสูงสุดของช่วงความหนาแน่นที่ทำให้เกิดการลุกติดไฟ (Upper flammable limit หรือ Upper explosive limit, UEL) และค่าจุดต่ำสุดของช่วงความหนาแน่นของไอเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการลุกติดไฟ (Lower flammable limit หรือ Lower explosive limit, LEL) เช่น น้ำมันเบนซินมีจุดต่ำสุดของช่วงความหนาแน่นของไอเชื้อเพลิงประมาณ 1.5 และจุดสูงสุดของช่วงความหนาแน่นที่ทำให้เกิดการลุกติดไฟประมาณ 7.5 หมายถึง ถ้าไอของน้ำมันเบนซินผสมอยู่ในอากาศระหว่างร้อยละ 1.5 และ 7.5 และมีการนำแหล่งกำเนิดความร้อนเข้ามาใกล้ ไอน้ำมันเบนซินสามารถเกิดการลุกติดไฟหรือระเบิดขึ้นได้ ถ้าไอของน้ำมันเบนซินในอากาศมีค่าประมาณร้อยละ 1 จะไม่สามารถลุกติดไฟได้ แต่หากมีไอของน้ำมันเบนซินมากกว่าร้อยละ 10 ส่วนผสมดังกล่าวจะมีความหนาแน่นมากเกินไปที่จะลุกติดไฟได้ เนื่องจากอัตราส่วนของไอเชื้อเพลิงในอากาศจะแปรผกผันกับปริมาณออกซิเจน

2.7.2 ระเบิด

วัตถุระเบิดเป็นสารประกอบทางเคมีหรือของผสม[16] ที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดความร้อนและแก๊สจำนวนมากอย่างกะทันหัน แก๊สเหล่านี้ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) ไนโตรเจน (Nitrogen) ไอน้ำ และออกซิเจน (Oxygen) ความร้อนที่เกิดในปริมาณมากอย่างรวดเร็วทำให้แก๊สเหล่านี้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นและก่อให้เกิดความดันสูงรอบด้าน การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้ทำให้เกิดการระเบิด ในปรากฏการณ์เช่นนี้อาจกล่าวได้ว่า วัตถุระเบิดมีความเร็วการขยายตัวของแก๊สเร็วกว่าความเร็วของเสียง ผลจากการระเบิดนี้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (Shock) และเสียงระเบิดที่รวมเรียกว่า อำนาจการระเบิด (Brisance) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัตถุระเบิด

2.7.2.1 ส่วนผสมของการผลิตระเบิด[17]

2.7.2.1.1 สารก่อระเบิด (Explosive base) เป็นของแข็งหรือของเหลวที่สามารถระเบิดได้เมื่อเกิดความร้อน การสั่นสะเทือน หรือมีการเปลี่ยนแปลงของแก๊สภายในอย่างรวดเร็ว พร้อมปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ตัวอย่างสารที่ระเบิดได้ เช่น ไนโตรกลีเซอริน (Nitroglycerine)

2.7.2.1.2 สารที่เผาไหม้ได้ (Combustibles) เป็นสารที่เกิดการเผาไหม้เมื่อได้รับออกซิเจน (Oxygen) เพียงพอ โดยถ้ามีออกซิเจนที่เกิดปฏิกิริยามากเกินความจำเป็น จะเป็นการป้องกันการเกิดไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxides) ซึ่งเป็นแก๊สพิษ

2.7.2.1.3 ออกซิเจน เป็นสารออกซิเดชัน (Oxidation) ของคาร์บอนในการระเบิด ซึ่งยับยั้งการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) และทำให้พลังงานจากการเกิดปฏิกิริยาลดลง แต่มากเพียงพอที่จะเกิดการระเบิด

2.7.2.1.4 สารลดกรด (Antacids) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของระเบิดที่ช่วยยืดอายุการเก็บระเบิด และลดความเป็นกรดในสารก่อระเบิด โดยเฉพาะไนโตรกลีเซอริน

2.7.2.1.5 ตัวดูดซึม (Absorbents) ถูกใช้ในการห่อหุ้มสารก่อระเบิดเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การรั่วซึม ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ด้านล่างของภาชนะ ตัวดูดซึมนิยมผลิตมาจากขี้เลื่อย แกลบ เปลือกถั่ว และเศษไม้ ฯลฯ

2.7.2.2 ความหนาแน่นของระเบิด

ความหนาแน่นของระเบิดจะถูกแสดงในรูปของความถ่วงจำเพาะ โดยความถ่วงจำเพาะของระเบิด คือ สัดส่วนของความหนาแน่นของระเบิดต่อความหนาแน่นของน้ำภายใต้สภาวะมาตรฐาน ความถ่วงจำเพาะของระเบิดทางการค้าอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 1.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ระเบิดที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีความเร็วและแรงดันในการระเบิดมากกว่าระเบิดที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า ซึ่งความหนาแน่นเป็นปัจจัยสำคัญของการเลือกใช้ระเบิด สำหรับงานที่ยากต่อการระเบิด จะใช้ระเบิดที่มีความหนาแน่นสูง แต่หากเป็นงานที่แตกหรือเปราะง่าย จะใช้ระเบิดที่มีความหนาแน่นต่ำ และหากระเบิดที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.0 จะไม่จมน้ำ

2.7.2.3 ความทนทานต่อน้ำ

ความทนทานต่อน้ำของระเบิด คือ ระดับการทนทานต่อน้ำของระเบิดที่ยังคงคุณภาพและไม่สูญเสียความไวในการระเบิดไป ซึ่งเจลาติน (Gelatins) และอิมัลชัน (Emulsions) เป็นประเภทของระเบิดที่ทนทานต่อน้ำได้ดีที่สุด

2.7.3 ระเบิดเหลว

ระเบิดเหลวผลิตจากสารเคมีที่อาจติดไฟหรือระเบิดเมื่อได้รับพลังงานในรูปของความร้อน เปลวไฟ แรงเสียดทาน หรือแรงกระแทก โดยสารเคมีดังกล่าวอาจเป็นสารเคมีที่ลุกติดไฟได้เอง ไวปฏิกิริยากับน้ำ หรือเป็นสารเคมีที่ติดไฟเมื่อสัมผัสกัน ตัวอย่างสารเคมีที่ติดไฟเมื่อสัมผัสหรือผสมกันแสดงในภาคผนวก ค.[15] ซึ่งระเบิดเหลวเกิดจากการผสมสารเคมีซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวเข้าด้วยกัน เช่น

ระเบิดแอสโตรไลท์[18] (Astrolite explosives) เป็นระเบิดเหลวที่เกิดจากการผสมแอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium nitrate) และแอนไฮไดรอสไฮดราซีน (Anhydrous hydrazine) เรียกระเบิดเหลวที่ได้ว่า แอสโตรไลท์ จี (Astrolite G.) แต่เมื่อนำผงอะลูมิเนียมใส่ลงในไฮดราซีนไนเตรต (Hydrazinium nitrate) จะได้ระเบิดเหลวที่เรียกว่าแอสโตรไลท์ เอ หนึ่ง ห้า (Astrolite A-1-5) โดยแอสโตรไลท์ จีเป็นระเบิดเหลวที่มีความรุนแรงในการระเบิดมากกว่าระเบิดแบบทีเอ็นที (TNT) 2 เท่า

ระเบิดไนโตรมีเทน (Nitromethane) และสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับไนโตรมีเทน เช่น เอมีน (Amines) ไดเอทิลลามีน (Diethylamine) ไตรเอทิลลามีน (Triethylamine) เอทานอลลามีน (Ethanollamine) เอทิลีนไดลามีน (Ethylenediamine) และมอร์โฟลีน (Morpholine) ไนโตรมีเทน

แบบเหลวถูกนำมาประยุกต์ให้เป็นแบบกึ่งของแข็งและแบบเจล ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นและแรงดันระเบิด แต่ไนโตรมีเทนแบบกึ่งของแข็งและแบบเจลสามารถใช้งานได้ไม่หลากหลายเท่ากับไนโตรมีเทนแบบของเหลว สำหรับการขนส่งไนโตรมีเทนจะทำการแยกไนโตรมีเทนและสารออกซิไดซ์ (Oxidizer) ออกจากกันเพื่อป้องกันการระเบิด และจะนำมาผสมกันเมื่อต้องการใช้งานเท่านั้น ข้อดีของระเบิดประเภทนี้ คือ มีค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดเก็บองค์ประกอบของระเบิดน้อย แต่มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการผสมประมาณ 2-3 เท่าของระเบิดสำเร็จรูป ซึ่งไนโตรมีเทนจัดเป็นส่วนหนึ่งในกลุ่มของไนโตรพาราฟิน (Nitroparaffins) ที่มีหน้าที่เป็นทั้งเชื้อเพลิงเมื่อผสมกับแอมโมเนียมไนเตรต สารออกซิไดซ์ หรือเป็นระเบิด โดยไม่ต้องผสมกับสารอื่น ๆ

สารเคมีที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของระเบิดเหลวมักเป็นสารเคมีที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

2.7.3.1 ไนโตรกลีเซอริน[19] เป็นสารประกอบทางเคมีที่เป็นของเหลว ไม่มีสี มีโอกาสเกิดการระเบิดเมื่อได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วหรือได้รับความกระทบกระเทือน หากเข้าสู่ร่างกายจะเกิดอาการง่วงซึม ความดันโลหิตลดลง หลอดเลือดเลี้ยงหัวใจตีบตัน และโลหิตจาง ซึ่งหากนำไนโตรกลีเซอรินมาละลายในไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) จะทำให้ได้เจลที่มีความเสถียรและสามารถใช้ผลิตเป็นระเบิดได้

2.7.3.2 ไตรอะซิโตนไตรเปอร์ออกไซด์ (Triacetone triperoxide, TATP) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งพบได้ในน้ำยาล้างแผลหรือน้ำยาย้อมผมกับอะซิโตน ซึ่งพบได้ในน้ำยาล้างเล็บหรือเป็นส่วนประกอบของทินเนอร์ที่ใช้ผสมสี โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟิวริก หรือกรดอะซิติก จะเห็นได้ว่าสารตั้งต้นในการผลิตไตรอะซิโตนไตรเปอร์ออกไซด์สามารถหาซื้อได้ง่าย ไตรอะซิโตนไตรเปอร์ออกไซด์สามารถระเบิดได้หากได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย การเสียดสี แรงสั่นสะเทือน การกระทบ หรือกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์

2.7.3.3 แอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium nitrate) เป็นสารเคมีที่พบในปุ๋ยยูเรีย มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น หากเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดอาการอาเจียน กล้ามเนื้อท้องหดเกร็ง และอ่อนเพลีย ซึ่งถ้าถูกผสมกับน้ำมัน ถ่านหิน ผงโลหะ หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ จะทำให้เกิดการระเบิดขึ้น

คุณสมบัติของน้ำ สารไวไฟ และสารประกอบระเบิดแสดงในตารางที่ 2.3[19]

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำ สารไวไฟ และสารประกอบระเบิด

สาร	สูตรเคมี	จุดเดือด (°C)	จุดเยือกแข็ง (°C)	ความถ่วงจำเพาะ	ความดันไอ (mmHg)	จุดวาบไฟ (°C)	จุดลุกติดไฟได้เอง (°C)
น้ำ	H ₂ O	100	0	1	16.112 (ที่ 20°C)	-	-
เอทานอล	C ₂ H ₅ OH	78	-114	0.789	43 (ที่ 20°C)	13	363
น้ำมันเบนซิน	C ₆ H ₆ + Additive	50-150	-	-	-	-43	275
กลีเซอรอล	C ₃ H ₅ (OH) ₃	290	18	1.26	0.0025	199	370
ไนโตรกลีเซอริน	C ₃ H ₅ (ONO ₂) ₃	50-60	13	1.6	0.00026 (ที่ 20°C)	270	270
แอมโมเนียมไนเตรต	NH ₄ NO ₃	210	170	1.73	-	-	-
ไนโตรมีเทน	CH ₃ NO ₂	100-102	-29	1.14	27.8 (ที่ 20°C)	35	418
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	H ₂ O ₂	100	-11.1	1	5 (ที่ 25°C)	-	-
อะซีโตน	C ₃ H ₆ O	56.5	-95	0.79	400 (ที่ 39.5°C)	-20	465
ไนโตรเซลลูโลส	C ₆ H ₇ O ₂ (OH) ₃ ·x(NO ₂) ₃	-	-86	1.23	33	22	160

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ตัวอย่างของเหลวและอุปกรณ์งานวิจัย

3.1.1 ตัวอย่างของเหลว

งานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวอย่างของเหลวสำหรับการทดลอง 14 ประเภท โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

3.1.1.1 กลุ่มที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ

ของเหลวที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ น้ำเปล่า สารละลายน้ำเกลือเข้มข้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ ครีมาอบน้ำ น้ำยาถูพื้น สารละลายปุ๋ยยูเรียเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ และกลีเซอรอล

3.1.1.2 กลุ่มน้ำมัน

ของเหลวในกลุ่มน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันปาล์ม และทินเนอร์

3.1.1.3 กลุ่มแอลกอฮอล์

ของเหลวกลุ่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ สารละลายเอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ เหล้าขาว และแอลกอฮอล์ล้างแผลเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์

3.1.2 ภาชนะบรรจุของเหลว

ขวดพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขวด 2.3, 3.2, 4.1, 5.3 และ 5.7 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ขวดพลาสติกใสมีฝาปิดขนาดต่าง ๆ

3.1.3 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

พลูโตเนียม-238 พลังงานรังสีเอกซ์ 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

3.1.4 หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล รุ่น 421 แบบ Quadrilateral side window ของบริษัท LND, INC.



รูปที่ 3.2 หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล

3.1.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง รุ่น 3002D ของบริษัท CANBERRA

3.1.6 อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า รุ่น 2004 ของบริษัท CANBERRA



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า

3.1.7 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ รุ่น 2022 ของบริษัท CANBERRA

3.1.8 อุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว รุ่น 2030 ของบริษัท CANBERRA

3.1.9 อุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา รุ่น 871 ของ ORTEC

3.1.10 แผ่นทองแดงบังคัมภ์ลำรังสีและกำบังรังสี

3.1.11 เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) รุ่น DSO5202B ของ Hantek

3.1.12 แหล่งกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) รุ่น 807 ของ CANBERRA

3.1.13 เครื่องกำเนิดความถี่ (Function generator) รุ่น GFG-3015 ของ GWINSTEK

3.1.14 เครื่องนับสัญญาณ (Universal counter) รุ่น 5315A ของ HEWLETT PACKARD

3.1.15 แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าต่ำ รุ่น 6236B ของ HEWLETT PACKARD

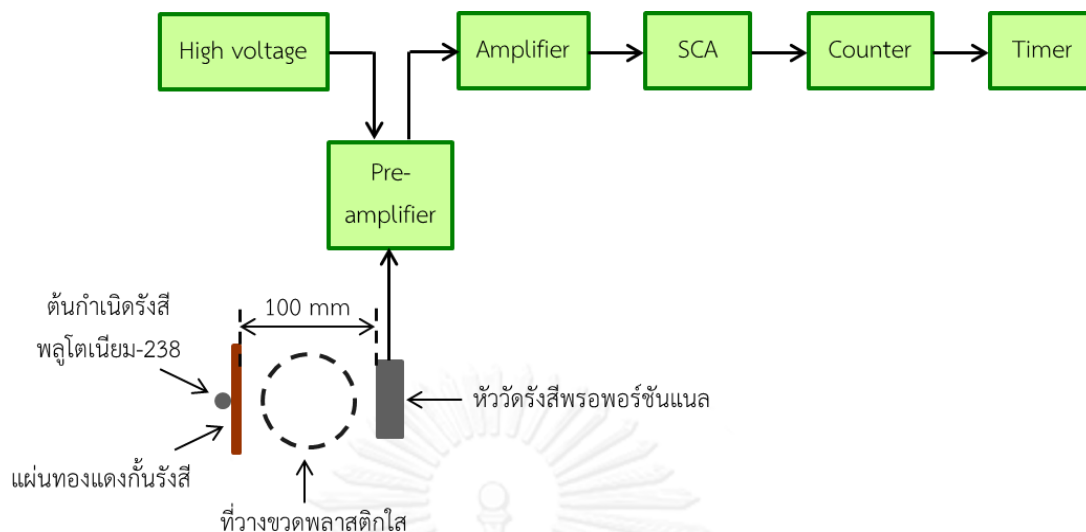


รูปที่ 3.4 อุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง อุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียว และอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา

3.2 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ปัจจัยการส่งผ่านรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ คือ พลังงานของรังสีและชนิดของตัวกลาง โดยรังสีพลังงานสูงจะมีอำนาจทะลุทะลวงได้ดีกว่ารังสีพลังงานต่ำ และตัวกลางที่มีสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสูงกว่าหรือมีเลขอะตอมสูงกว่าจะสามารถลดทอนรังสีได้ดีกว่าตัวกลางที่มีสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลต่ำกว่าหรือมีเลขอะตอมต่ำกว่า

งานวิจัยนี้ต้องการจำแนกประเภทของเหลว ซึ่งมีปัจจัยในการพิจารณาจากจำนวนรังสีส่งผ่าน ดังนั้น จึงได้เลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ ที่มีพลังงานตั้งแต่ 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ขึ้นไป เนื่องจากรังสีที่มีพลังงานต่ำกว่านั้น จะไม่สามารถทะลุผ่านของเหลวที่มีความหนาสำหรับการทำงานวิจัยนี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้พลูโตเนียม-238 ที่เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-ray) ซึ่งมีพลังงานรังสี 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 3.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนก่อนดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลว จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.5 เข้ากับระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบช่องเดี่ยว

3.2.1.1 แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (Operating voltage) ของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล
ปรับตั้งอัตราการขยายสัญญาณ (Gain) ดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำ และหน้าต่างให้
เหมาะสม โดยใช้เวลาในการนับ 20 วินาที จากนั้นค่อย ๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High
voltage) เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 โวลต์

3.2.1.2 ช่วงการเปิดดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำและหน้าต่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์
วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว

ปรับตั้งค่าเช่นเดียวกับการหาแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้
เท่ากับแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ตั้งค่าดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำ และหน้าต่าง ใช้เวลานับ 20 วินาที จากนั้น
ปรับดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.1 โวลต์

3.2.1.3 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวในขวดพลาสติกใส

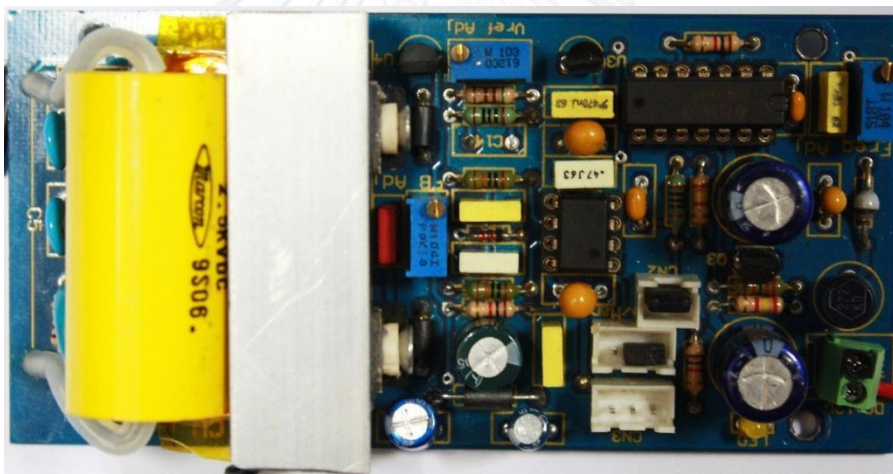
ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้เท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ตั้งค่าดิสคริเมเนเตอร์
ระดับต่ำและหน้าต่างที่เหมาะสม โดยให้คร่อมพีค (Peak) พลังงานของพลูโตเนียม-238 ทั้ง 3
พลังงาน วางขวดพลาสติกเปล่าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 เซนติเมตร และทำการวัดจำนวนรังสี
ส่งผ่านออกมานาน 100 วินาที จากนั้นแทนที่ขวดพลาสติกเปล่าด้วยขวดพลาสติกบรรจุของเหลว
ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ น้ำเปล่า สารละลายน้ำเกลือเข้มข้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ ครีมอาบน้ำ น้ำยาถูพื้น
สารละลายปุ๋ยยูเรียเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอล สารละลายเอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
เหล้าขาว แอลกอฮอล์ล้างแผลเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ทินเนอร์ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล
น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันปาล์ม ตามลำดับ วัดจำนวนรังสีที่ส่งผ่านออกมาได้และบันทึกผล

เปลี่ยนขนาดขวดพลาสติกใสเป็น 3.2, 4.1, 5.3 และ 5.7 เซนติเมตร ตามลำดับ เพื่อวัดของเหลวประเภทต่าง ๆ ซ้ำ เช่นเดียวกับการวัดของเหลวในขวดพลาสติกขนาด 2.3 เซนติเมตร

3.2.2 ขั้นตอนพัฒนาอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลว

3.2.1.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

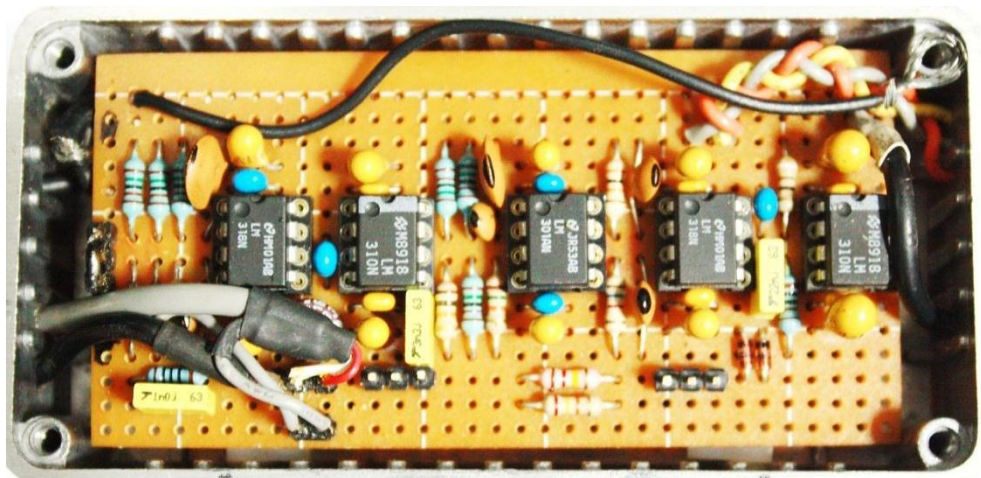
อุปกรณ์ที่ทำการพัฒนาต่อยังมีข้อจำกัดในเรื่องของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่สามารถจ่ายได้สูงสุด 1000 โวลต์[6] ซึ่งคุณสมบัติของหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนลที่ใช้ในงานวิจัยมีช่วงแรงดันไฟฟ้าใช้งานระหว่าง 1350 ถึง 1600 โวลต์ ดังนั้นจึงพัฒนาแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ให้สามารถจ่ายแรงดันได้เพิ่มมากขึ้น เพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้นใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าขนาด +12 โวลต์ ที่กระแส 500 มิลลิแอมแปร์ (mA) และสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 มิลลิแอมแปร์ ด้วยหม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูง แผ่นพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้นแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผ่นพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

3.2.1.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

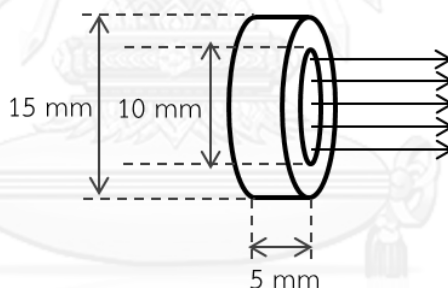
อุปกรณ์ขยายสัญญาณในทางนิวเคลียร์จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากรังสีซึ่งมีขนาดเล็กมาก และปรับแต่งรูปสัญญาณ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการวัดความสูงของสัญญาณพัลส์ เนื่องจากสัญญาณพัลส์จากรังสีมีค่าไรส์ไทม์ (Rise time) ที่สั้นมาก และยังเกิดการซ้อนทับกันของสัญญาณพัลส์ โดยอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้นได้ถูกออกแบบให้มีสัญญาณเอาต์พุตแบบเกาสเซียน (Gaussian) มีอัตราขยายแบบต่อเนื่องสูงสุด 300 เท่า และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าขนาด +12 โวลต์ แผ่นพิมพ์วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผ่นพิมพ์วงจรขยายสัญญาณพัลส์

3.2.1.3 อุปกรณ์วางต้นกำเนิดรังสี ขวดบรรจุของเหลว และหัววัดรังสี

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์พลูโตเนียม-238 ที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในซึ่งเป็นส่วนที่รังสีส่งผ่านออกมามีขนาด 1 เซนติเมตร และหนา 0.5 เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 3.8

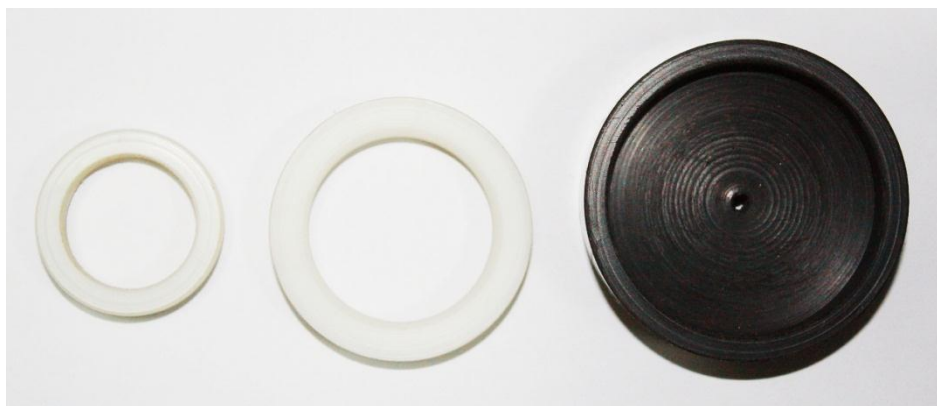


รูปที่ 3.8 ขนาดของต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานวิจัย

หัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลที่ใช้ในงานวิจัย เป็นหัววัดรังสีแบบบรรจุแก๊สอาร์กอน (Argon) ไว้ภายใน หน้าต่างทำจากเบอริลเลียม (Beryllium) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร คุณสมบัติของหัววัดรังสีแสดงในภาคผนวก ข.

อุปกรณ์วางต้นกำเนิดรังสี ขวดบรรจุของเหลว และหัววัดรังสี ได้ถูกออกแบบให้มีระยะทางระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีคือที่ 8 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้ในการบรรจุต้นกำเนิดรังสีทำจากทองเหลือง ซึ่งมีทองแดงและสังกะสีเป็นองค์ประกอบหลัก เพื่อป้องกันการรบกวนของฟลักพลังงานจากทองเหลืองต่อพลังงานของพลูโตเนียม-238 ซึ่งเมื่อพิจารณาพลังงานของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิของทองเหลือง พบว่าพลังงานดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าพลังงานของรังสีเอกซ์จากพลูโตเนียม-238 บริเวณที่วางขวดบรรจุของเหลวทำจากโพลีเมอร์ (Polymer) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำหนักของ

อุปกรณ์และลดโอกาสในการเกิดอันตรายของรังสีเอกซ์ บริเวณวางขวดบรรจุของเหลวมี 3 ขนาด คือ 2.70, 3.72 และ 5.30 เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 3.9 ที่ครอบคลุมบริเวณวางขวดทำจากอลูมิเนียมคอมโพสิต (Aluminium composite) โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ในระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนวัสดุบังคับลำรังสี โดยมีฝาเปิด-ปิด ด้านบนเพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนขวดบรรจุของเหลวขณะวัด แสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 บริเวณวางขวดบรรจุของเหลวขนาด 2.70, 3.72 และ 5.30 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ด้านบนของอุปกรณ์วางต้นกำเนิดรังสี ขวดบรรจุของเหลว และหัววัดรังสี

3.2.1.4 ออกแบบอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา

อุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวที่พัฒนาขึ้น มีขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 300 มิลลิเมตร × 300 มิลลิเมตร × 84 มิลลิเมตร โดยภายในบรรจุต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238 หัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า อุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว และ อุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา ผู้ใช้งานต้องวัดจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวและขวดเปล่า เก็บค่าจำนวนรังสีในรูปแบบของตัวแปร I_0 (จำนวนรังสีส่งผ่านขวดพลาสติกเปล่า), I_w (จำนวนรังสีส่งผ่านน้ำเปล่า) และ I_x (จำนวนรังสีส่งผ่านตัวอย่างของเหลว) และเลือกขนาดบรรจุของเหลว โปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาเบสิก (Basic) จะคำนวณสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า จากนั้นอุปกรณ์จะแสดงผลกลุ่มประเภทของเหลวผ่านทางหน้าจอแอลซีดี (LCD) อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 หน้าจอแอลซีดีที่แสดงผลในแต่ละขั้นตอนแสดงในรูปที่ 3.13 ถึง 3.15 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 3.16

3.2.1.5 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านขวดพลาสติกบรรจุของเหลวขนาด 2.70, 3.72 และ 5.30 เซนติเมตร จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

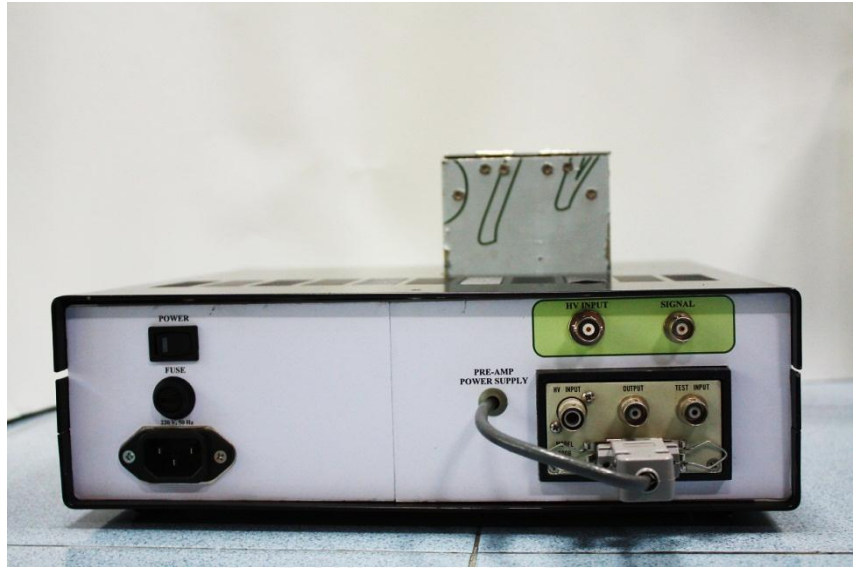
ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน อัตราขยาย ดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และหน้าต่างที่เหมาะสม ใช้เวลาวัดจำนวนรังสีนาน 20 วินาที วางขวดพลาสติกเปล่าขนาด 2.70 เซนติเมตร ทำการวัดจำนวนรังสีส่งผ่านแล้วเก็บค่าตัวแปรเป็นค่า I_0 จากนั้นแทนที่ขวดเปล่าด้วยขวดพลาสติกบรรจุ น้ำเปล่าและขวดพลาสติกบรรจุของเหลวประเภทอื่น ๆ โดยเก็บค่าจำนวนรังสีส่งผ่านเป็นตัวแปร I_w และ I_x ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำกับขวดพลาสติกขนาด 3.72 และ 5.30 เซนติเมตร และเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบช่องเดี่ยว

3.2.1.6 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวที่มีความแม่นยำ 1 เปอร์เซ็นต์

เลือกตัวอย่างของเหลวในแต่ละกลุ่มที่มีความสามารถในการลดทอนรังสีได้ดี โดยวัดจำนวนรังสีส่งผ่านให้มีค่าจำนวนรังสีประมาณ 10,000



รูปที่ 3.11 ด้านหน้าของอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา



รูปที่ 3.12 ด้านหลังของอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพา



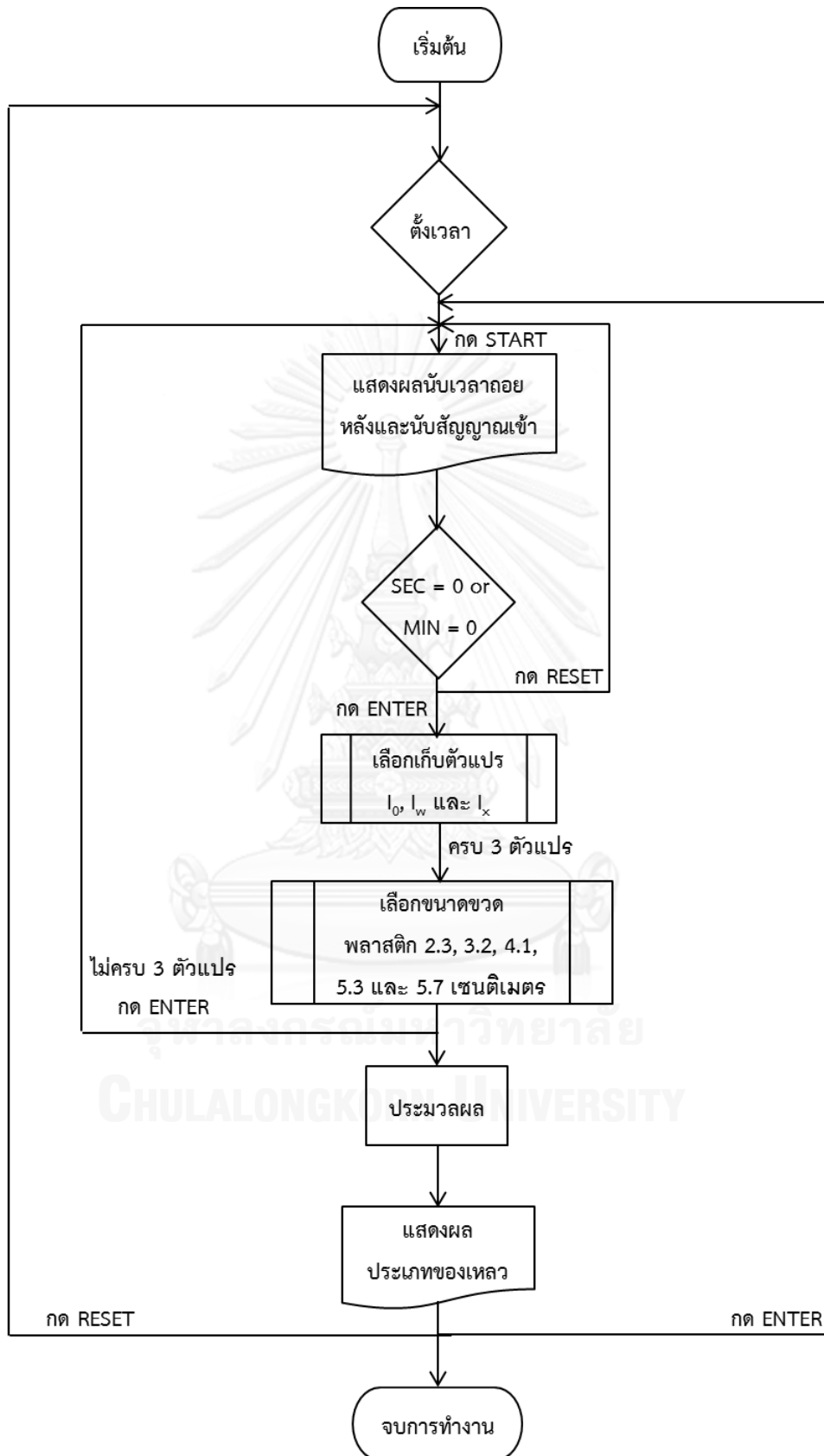
รูปที่ 3.13 หน้าจอแอลซีดีแสดงผลขั้นตอนการเลือกตัวแปรเก็บค่า



รูปที่ 3.14 หน้าจอแอลซีดีแสดงผลขั้นตอนการเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขวดพลาสติกที่วัด



รูปที่ 3.15 หน้าจอแอลซีดีแสดงผลขั้นตอนการจำแนกประเภทของเหลว



รูปที่ 3.16 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ขั้นตอนก่อนดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์

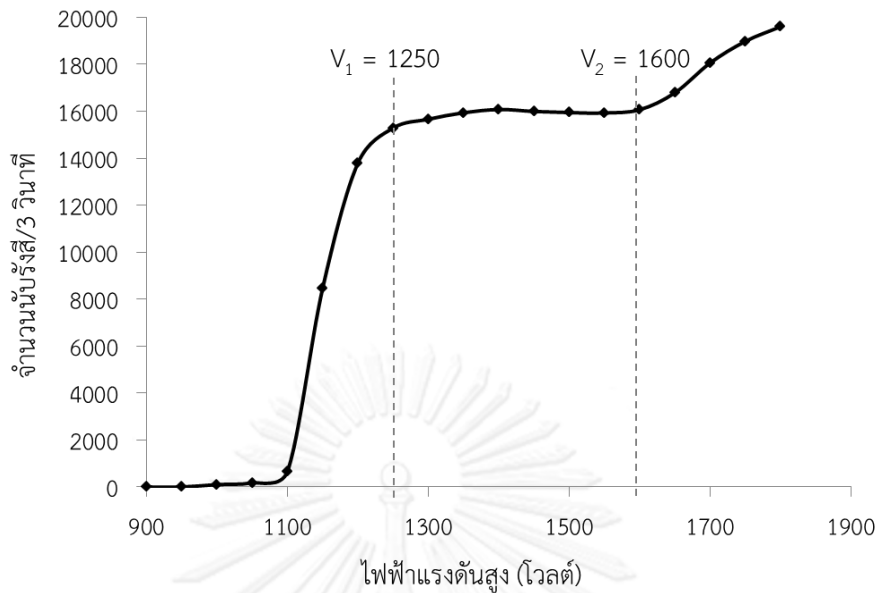
4.1.1 แรงดันไฟฟ้าใช้งานของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล

เริ่มจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 900 โวลต์ และปรับเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 โวลต์ ได้จำนวนรังสีดังตารางที่

4.1 และสร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนรังสีจากหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนลที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงขนาดต่าง ๆ

ไฟฟ้าแรงดันสูง (โวลต์)	จำนวนรังสี/3 วินาที
900	0
950	0
1000	103
1050	177
1100	659
1150	8456
1200	13785
1250	15284
1300	15661
1350	15937
1400	16076
1450	15993
1500	15944
1550	15927
1600	16065
1650	16786
1700	18056
1750	18978
1800	19602



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าแรงดันสูงและจำนวนรังสี

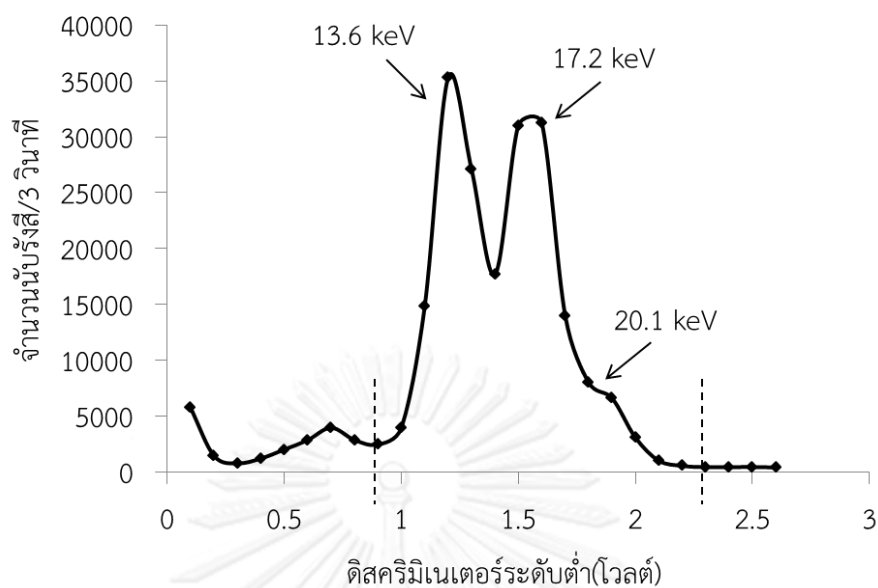
ช่วงไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีค่าจำนวนรังสีค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 1250-1600 โวลต์ คำนวณหาแรงดันไฟฟ้าใช้งานของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลจากสมการ

$$\begin{aligned} \text{แรงดันไฟฟ้าใช้งาน} &= V_1 + \left[\frac{25}{100} \times (V_2 - V_1) \right] \\ &= 1250 + \left[\frac{25}{100} \times (1600 - 1250) \right] = 1337.5 \text{ โวลต์} \approx 1400 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

หัววัดบรรจุแก๊สแบบพรอพอร์ชันแนลมีหลักการทำงานด้วยการแตกตัวของแก๊สในหัววัดรังสีจากอันตรกิริยาของรังสีที่เคลื่อนที่เข้าหัววัด โดยประจุของแก๊สที่เกิดการแตกตัวจะเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าเข้าสู่ขั้วแอโนดและแคโทดในหัววัดรังสีด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้หัววัดรังสี ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจะคำนวณจาก 25 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันช่วงพลาโต (Plateau region) ของหัววัดรังสีนั้น ๆ แรงดันไฟฟ้าใช้งานของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลในงานวิจัยนี้ คือ 1400 โวลต์

4.1.2 ช่วงการเปิดดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำและหน้าต่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดียว

ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเป็น 1400 โวลต์ จำนวนรังสีที่ดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำตำแหน่งต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างดิสคริมีเนเตอร์ระดับต่ำที่หน้าต่าง 0.1 โวลต์ และจำนวนรังสี

ตารางที่ 4.2 จำนวนรังสีที่ดิสคริมีเนเตอร์ระดับต่ำตำแหน่งต่าง ๆ ที่หน้าต่าง 0.1 โวลต์

ระดับดิสคริมีเนเตอร์ระดับต่ำ (โวลต์)	จำนวนรังสี/3 วินาที
0.1	5754
0.2	1453
0.3	776
0.4	1211
0.5	2016
0.6	2848
0.7	3965
0.8	2868
0.9	2459
1.0	3947
1.1	14819
1.2	35284
1.3	27087
1.4	17661

ตารางที่ 4.2 จำนวนรังสีที่ดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำตำแหน่งต่าง ๆ ที่หน้าต่าง 0.1 โวลต์ (ต่อ)

ระดับดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำ (โวลต์)	จำนวนรังสี/3 วินาที
1.5	31036
1.6	31239
1.7	13997
1.8	8028
1.9	6616
2.0	3084
2.1	1013
2.2	557
2.3	435
2.4	444
2.5	451
2.6	408

พีคพลังงานอยู่ระหว่างดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำ 0.9 โวลต์ และดิสคริเมเนเตอร์ระดับสูง 2.3 โวลต์ หน้าต่างที่เปิดสำหรับงานวิจัยจึงเป็น 1.4 โวลต์

4.1.3 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวในขวดพลาสติกใส

ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน 1400 โวลต์ ดิสคริเมเนเตอร์ระดับต่ำ 0.9 โวลต์ หน้าต่าง 1.4 โวลต์ เวลาวัดจำนวนรังสีนาน 100 วินาที กำหนดให้ค่าจำนวนรังสีที่ส่งผ่านขวดพลาสติกใส คือ I_0 และค่าจำนวนรังสีที่ส่งผ่านขวดพลาสติกบรรจุของเหลวประเภทต่าง ๆ คือ I_x ได้จำนวนรังสี ดังแสดงตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนรังสีไม่แปรผันตามเส้นผ่านศูนย์กลางของขวดพลาสติก เนื่องจากขวดพลาสติกมีขนาดความหนาไม่เท่ากันและประเภทของพลาสติกต่างกัน แต่ตัวแปรเหล่านี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทดลอง เนื่องจากในการทดลองได้คำนวณค่าสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลว ($\frac{I_x}{I_0}$) ไม่ได้ใช้ค่าจำนวนรังสีที่ส่งผ่านมาคำนวณโดยตรง

สัดส่วนจำนวนรังสีที่สามารถส่งผ่านขวดพลาสติกบรรจุของเหลวได้ แสดงในตารางที่ 4.4 โดยคำนวณจากสมการด้านล่าง และสร้างกราฟความสัมพันธ์ของของเหลวตัวอย่างในกลุ่มน้ำ น้ำมัน และแอลกอฮอล์ ได้แก่ น้ำเปล่า เอทานอล และเบนซิน ตามลำดับ ได้ดังรูปที่ 4.3

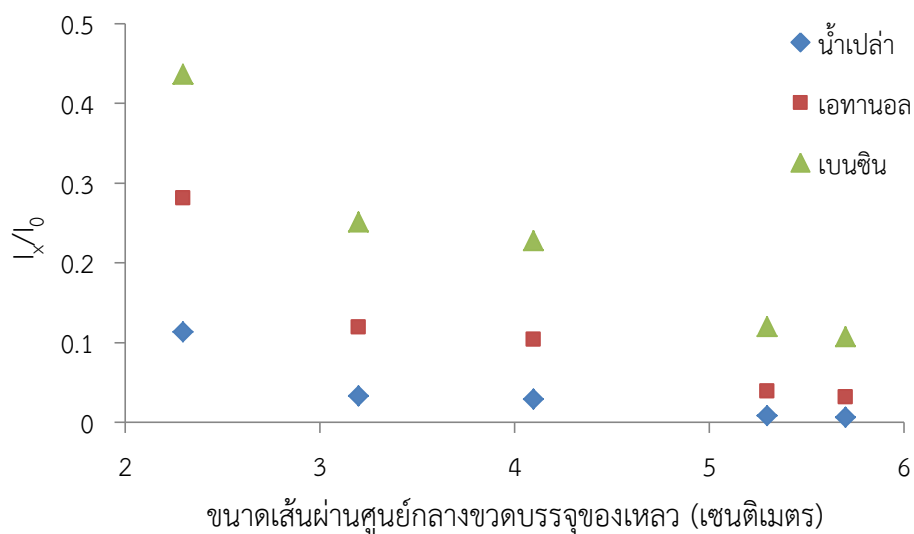
$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\frac{I_x}{I_0} = e^{-\mu x}$$

จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีที่ส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีที่ส่งผ่านของน้ำเปล่า $\left(\frac{(I_x/I_0)_{\text{ของเหลว}}}{(I_x/I_0)_{\text{น้ำเปล่า}}}\right)$ แสดงในตารางที่ 4.5 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 จำนวนรังสีที่ส่งผ่านของเหลวในขวดพลาสติกขนาดต่าง ๆ

ประเภทของเหลว	ขนาดขวดพลาสติก (เซนติเมตร)				
	2.3	3.2	4.1	5.3	5.7
I_0	249,811	743,976	257,511	768,751	681,857
น้ำเปล่า	28,200	24,570	7,364	5,940	4,190
ครีมอาบน้ำ	16,383	11,271	4,171	3,008	2,254
สารละลายปุ๋ยยูเรีย เข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์	28,909	23,987	7,610	5,855	4,014
เอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์	70,183	88,714	26,702	29,607	21,190
แอลกอฮอล์ล้างแผล	48,612	56,736	16,996	16,587	11,938
เหล้าขาว	37,960	36,864	10,857	9,547	6,577
เบนซิน	108,982	186,948	58,645	92,009	72,847
ดีเซล	100,958	168,609	49,835	74,808	58,155
น้ำมันหล่อลื่น	77,559	109,586	35,289	39,731	29,419



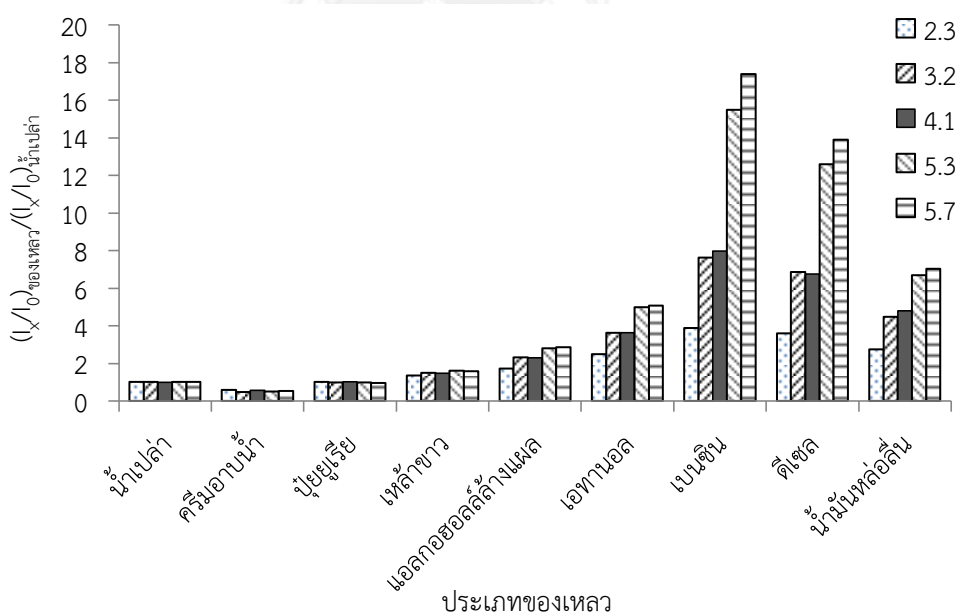
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านตัวอย่างของเหลว
ในกลุ่มน้ำเปล่า แอลกอฮอล์ และน้ำมัน ของขวดพลาสติกขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านขวดพลาสติกบรรจุของเหลวประเภทต่าง ๆ

ประเภทของเหลว	ขนาดขวดพลาสติก (เซนติเมตร)				
	2.3	3.2	4.1	5.3	5.7
I_0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
น้ำเปล่า	0.113	0.033	0.029	0.008	0.006
ครีมอาบน้ำ	0.066	0.015	0.016	0.004	0.003
สารละลายปุ๋ยยูเรีย เข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์	0.116	0.032	0.030	0.008	0.006
เอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์	0.281	0.119	0.107	0.039	0.031
แอลกอฮอล์ล้างแผล	0.195	0.076	0.066	0.022	0.018
เหล้าขาว	0.152	0.050	0.042	0.012	0.010
เบนซิน	0.436	0.251	0.228	0.120	0.107
ดีเซล	0.404	0.227	0.194	0.097	0.085
น้ำมันหล่อลื่น	0.311	0.147	0.137	0.052	0.043

ตารางที่ 4.5 จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า

ประเภทของเหลว	ขนาดขวดพลาสติก (เซนติเมตร)				
	2.3	3.2	4.1	5.3	5.7
น้ำเปล่า	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ครีมอาบน้ำ	0.581	0.459	0.566	0.506	0.538
สารละลายปุ๋ยยูเรีย เข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์	1.025	0.976	1.033	0.986	0.958
เอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์	2.489	3.611	3.626	4.984	5.057
แอลกอฮอล์ล้างแผล	1.724	2.309	2.308	2.792	2.849
เหล้าขาว	1.346	1.500	1.474	1.607	1.570
เบนซิน	3.865	7.609	7.964	15.490	17.386
ดีเซล	3.580	6.862	6.767	12.594	13.880
น้ำมันหล่อลื่น	2.750	4.460	4.792	6.689	7.021



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าที่ขวดพลาสติกขนาดต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าน้ำเปล่าที่บรรจุในขวดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3, 3.2, 4.1, 5.3 และ 5.7 เซนติเมตร มีสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านลดลงเป็น 0.113, 0.033, 0.029, 0.008 และ 0.006 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจำนวนรังสีส่งผ่าน พบว่า ที่ของเหลวประเภทเดียวกัน เมื่อความหนาของของเหลวมากขึ้น สัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านจะลดลง เนื่องจากพื้นที่ของเหลวที่ลดทอนรังสีมีขนาดใหญ่มากขึ้น รังสีจึงถูกลดทอนได้มากขึ้น

ค่าสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าสามารถใช้เป็นค่าในการจำแนกประเภทของเหลวได้ จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4 พบว่าของเหลวกลุ่มแอลกอฮอล์ที่มีเอทานอลเป็นของเหลวตัวอย่าง และของเหลวกลุ่มน้ำมันที่มีเบนซินเป็นของเหลวตัวอย่าง รังสีสามารถส่งผ่านได้ 2.489 และ 3.865 เท่า ของน้ำเปล่าหรือประมาณ 2.5 และ 4 เท่าของน้ำเปล่า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขวด 2.3 เซนติเมตร และจำนวนเท่าในการส่งผ่านรังสีนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของของเหลวเพิ่มขึ้น โดยส่งผ่านได้ 3.626 และ 7.964 เท่า หรือประมาณ 4 และ 8 เท่า ที่ขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร และ 5.057 และ 17.386 เท่า หรือประมาณ 5 และ 17 เท่า ที่ขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.7 เซนติเมตร ความหนาของของเหลวที่มากขึ้น ทำให้สามารถลดทอนความเข้มรังสีได้มากขึ้น จึงสามารถจำแนกประเภทของเหลวได้ชัดเจนขึ้น

4.2 ขั้นตอนพัฒนาอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลว

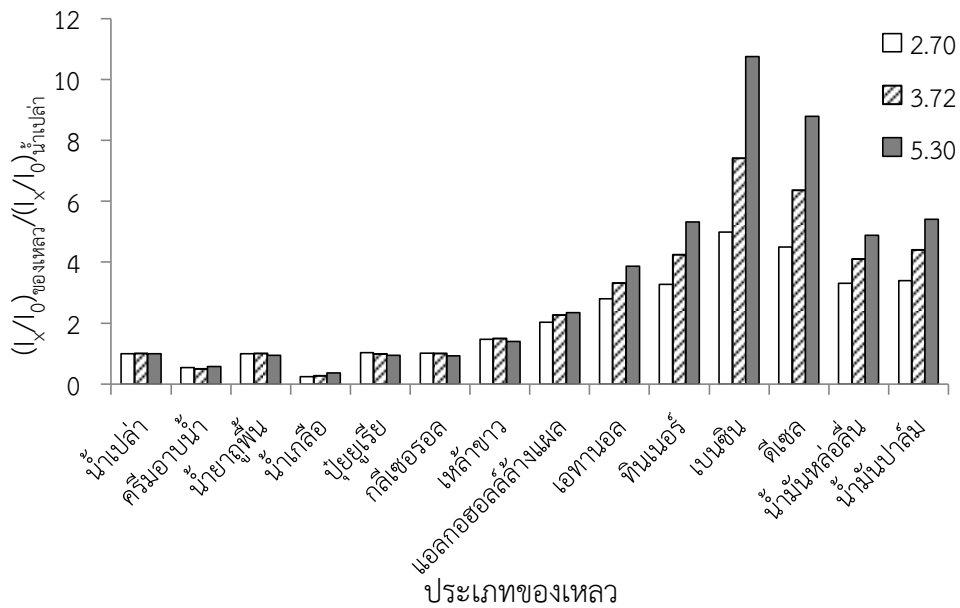
4.2.1 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวในขวดพลาสติกใส

อุปกรณ์บรรจุขวดของเหลวที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238 พื้นที่บรรจุขวดของเหลว และหัววัดรังสีฟอโรซันแนล ที่มีระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีคงที่ โดยต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงและระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบช่องเดี่ยว วัดจำนวนรังสีส่งผ่านจากต้นกำเนิดรังสีที่บรรจุเป็นเวลา 20 วินาที จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าแสดงในตารางที่ 4.6 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.5

จากผลการทดลองพบว่า เอทานอลและเบนซิน มีค่าสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า ที่เวลานับวัด 20 วินาที ประมาณ 3.0 และ 5.0 เท่า ที่ขวดพลาสติกขนาด 2.70 เซนติเมตร และมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขวดบรรจุของเหลวมากขึ้น ประมาณ 3.5 และ 7.5 เท่า ที่ขนาดขวดพลาสติก 3.72 เซนติเมตร และประมาณ 4.0 และ 11.0 เท่า ที่ขนาดขวดพลาสติก 5.30 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.6 จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าที่ทดลองกับระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบช่องเดี่ยว เวลารับวัด 20 วินาที

ประเภทของเหลว	ขนาดขวดพลาสติก (เซนติเมตร)		
	2.7	3.72	5.3
น้ำเปล่า	1.000	1.000	1.000
ครีมอาบน้ำ	0.548	0.489	0.582
น้ำยาถูพื้น	0.991	1.011	0.941
น้ำเกลือเข้มข้น 12.5 เปอร์เซ็นต์	0.250	0.264	0.372
สารละลายปุ๋ยยูเรียเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์	1.032	0.992	0.943
กลีเซอรอล	1.016	1.007	0.926
เหล้าขาว	1.464	1.489	1.404
แอลกอฮอล์ล้างแผล	2.032	2.271	2.349
เอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์	2.795	3.320	3.862
ทินเนอร์	3.279	4.250	5.313
เบนซิน	4.993	7.409	10.750
ดีเซล	4.506	6.359	8.790
น้ำมันหล่อลื่น	3.303	4.108	4.887
น้ำมันปาล์ม	3.393	4.399	5.412



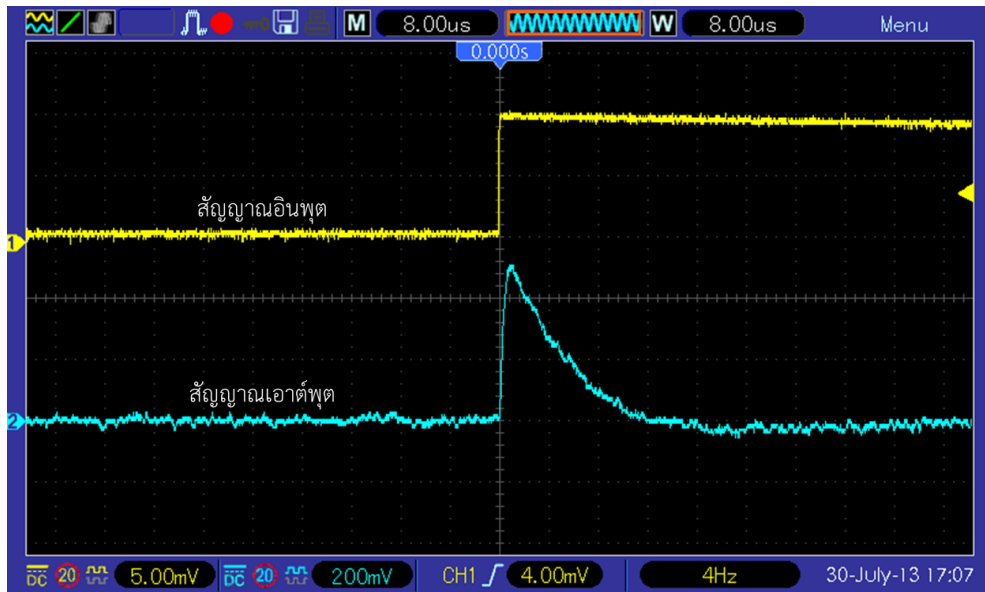
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า ที่ทดลองกับระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบช่องเดี่ยว

4.2.2 ทดสอบอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

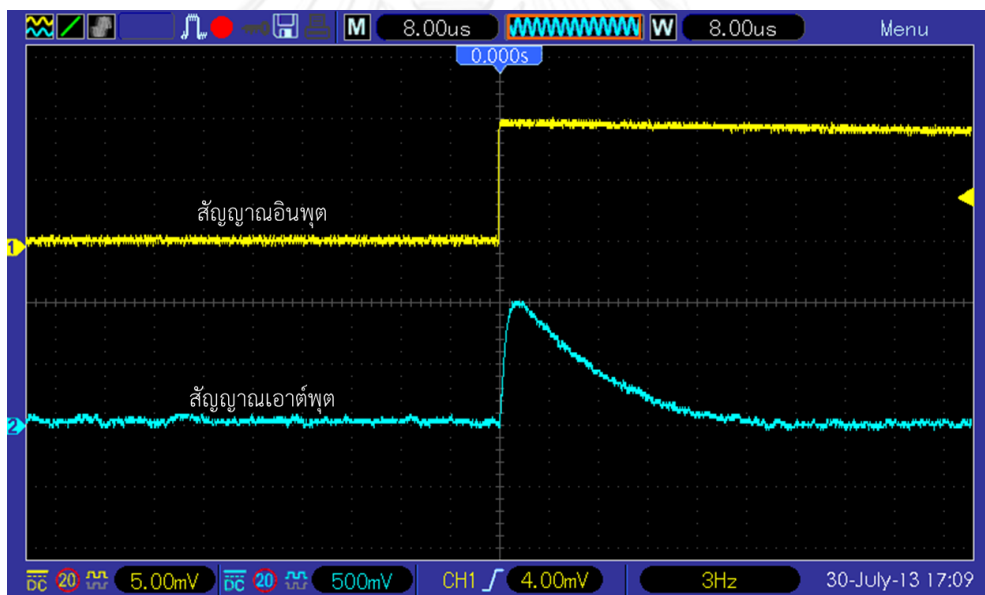
4.2.2.1 ความแม่นยำของอัตราขยายของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

ป้อนสัญญาณพัลส์อินพุตบวก จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี ที่มีขนาดสัญญาณ 10 มิลลิโวลต์ หลังการปรับโพลซีโร (Pole zero cancellation, P/Z) และระดับฐานของสัญญาณ (Based line restorer, BLR) จะได้รับสัญญาณ ขนาด 0.496, 1, 2 และ 3 โวลต์ ที่อัตราขยาย 50, 100, 200 และ 300 เท่า ตามลำดับ รูปสัญญาณเอาต์พุตที่อัตราขยายต่าง ๆ จากเครื่องอ่านรูปสัญญาณ แสดงในรูปที่ 4.6 ถึง 4.9 เมื่อทดสอบความแม่นยำของอัตราขยายที่สัญญาณอินพุตขนาด 5, 10, 15 และ 20 มิลลิโวลต์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตดังตารางที่ 4.7 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.10

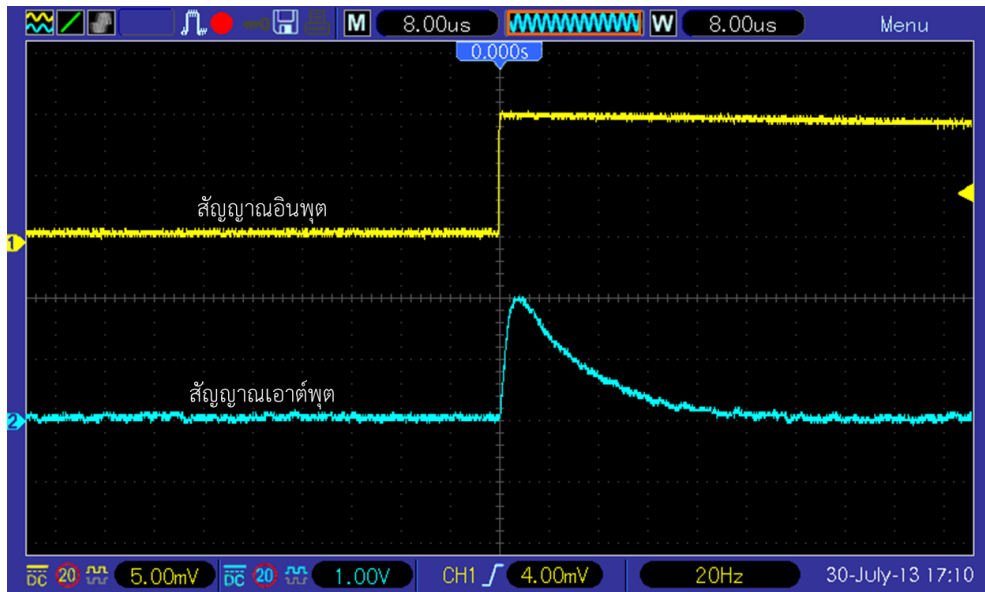
จากผลการทดลองพบว่า อุปกรณ์ขยายสัญญาณสามารถขยายสัญญาณให้มีขนาดตามที่ต้องการได้ ตั้งแต่ 0-300 เท่า และอัตราขยายในแต่ละระดับค่อนข้างคงที่ โดยขนาดสัญญาณเอาต์พุตของอุปกรณ์ขยายสัญญาณมีรูปร่างเป็นแบบซิมิลีแกเซียน



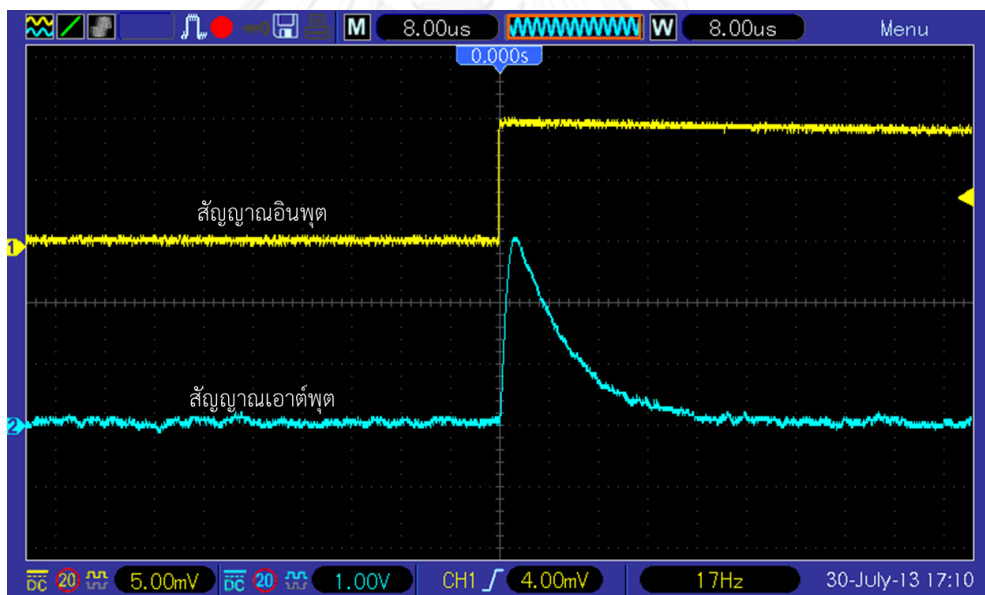
รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 100 เท่า



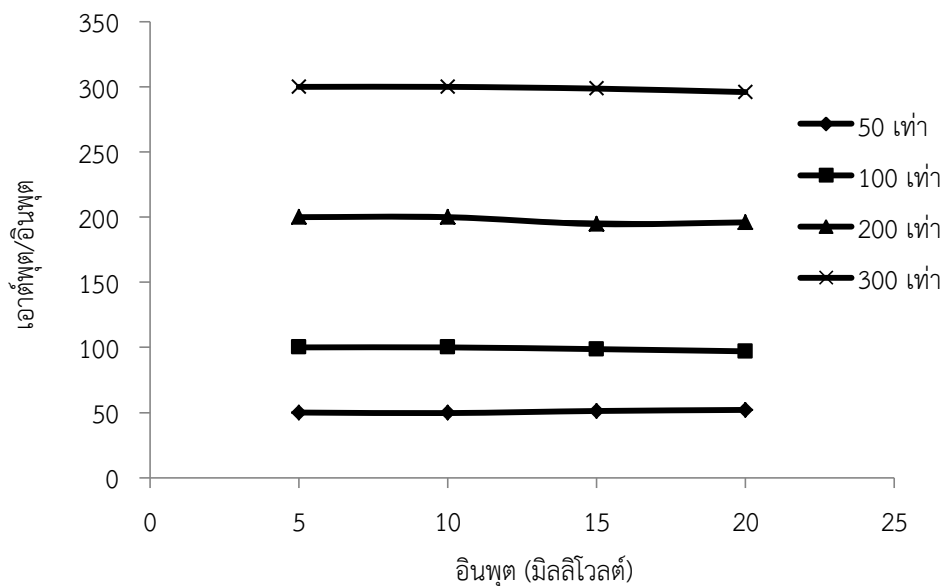
รูปที่ 4.8 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.9 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ขนาดอัตราขยาย 300 เท่า

ตารางที่ 4.7 ขนาดสัญญาณเอาต์พุตของอัตราขยายสัญญาณ 50, 100, 200 และ 300 เท่า ที่สัญญาณอินพุตขนาดต่าง ๆ

อัตราขยาย (เท่า)	50				100				200				300			
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
อินพุต (mV)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
เอาต์พุต (V)	0.25	0.50	0.77	1.04	0.50	1.00	1.48	1.94	1.00	2.00	2.92	3.92	1.50	3.00	4.48	5.92
$\frac{\text{เอาต์พุต}}{\text{อินพุต}}$	50.0	49.6	51.2	52.0	100.0	100.0	98.7	97.0	200.0	200.0	194.7	196.0	300.0	300.0	298.7	296.0



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายของอุปกรณ์ขยายสัญญาณและอินพุตขนาดต่าง ๆ

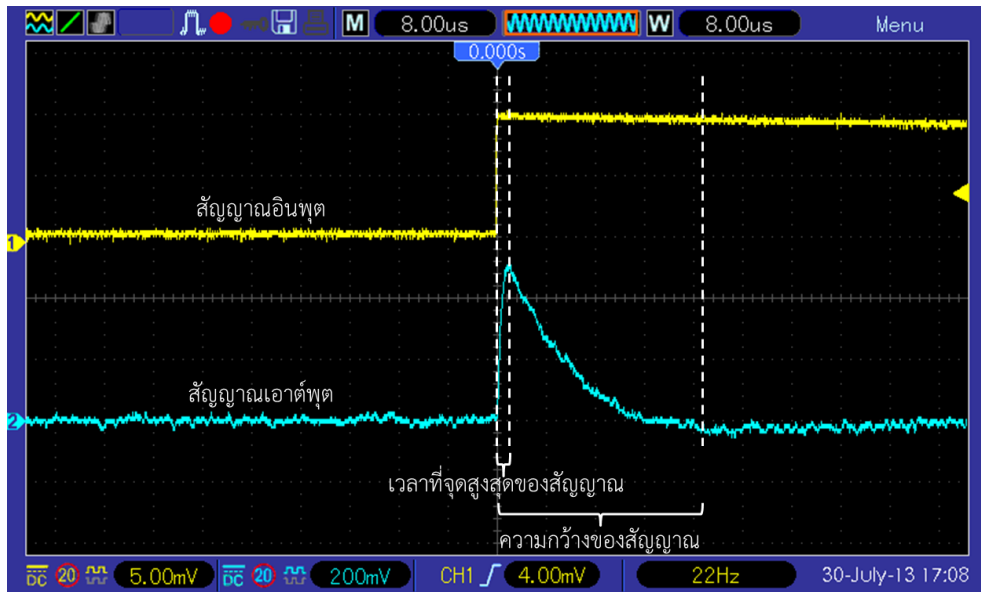
4.2.2.2 คุณสมบัติสัญญาณที่อัตราขยายต่าง ๆ

ตั้งค่าขนาดสัญญาณอินพุต 10 มิลลิโวลต์ แล้วปรับอัตราขยายสัญญาณ บันทึกค่าเวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณที่อัตราขยายขนาดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.8 ตำแหน่งวัดเวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณแสดงในรูปที่ 4.11

จากข้อมูลการทดลองพบว่าเวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณที่ขนาดอัตราขยายต่าง ๆ มีค่าการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่ไม่กว้าง คือ ประมาณ 1 และ 4.4 ไมโครวินาที ตามลำดับ ซึ่งในความเป็นจริง สัญญาณเอาต์พุตที่แต่ละขนาดอัตราขยายควรมีเวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ตารางที่ 4.8 เวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณที่อัตราขยายขนาดต่าง ๆ

อัตราขยาย (เท่า)	50	100	200	300
เวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณ (Peaking time, μs)	1.6	2.2	2.4	2.6
ความกว้างของสัญญาณ (Pulse width, μs)	30	33.4	33.6	34.4



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งวัดเวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณและความกว้างของสัญญาณ

4.2.3 ทดสอบอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา

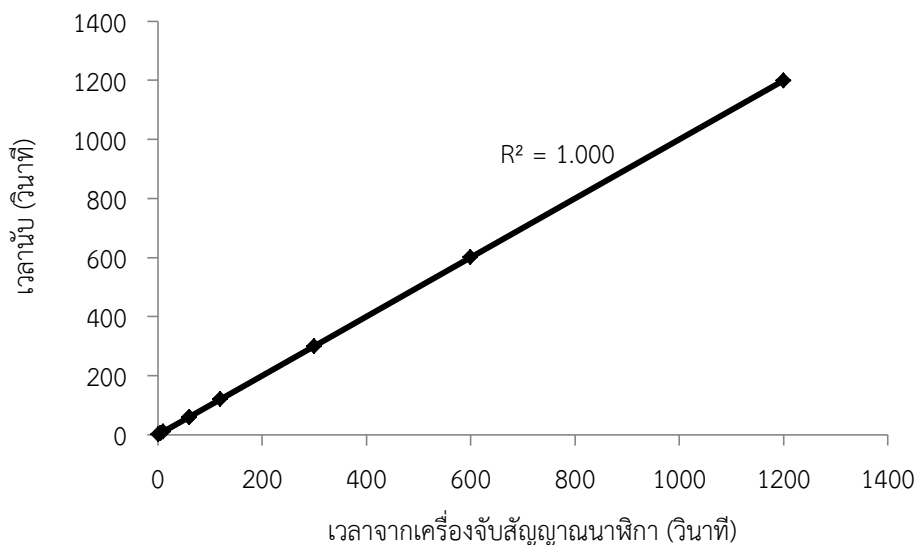
4.2.3.1 การตั้งเวลาและความเที่ยงตรงของวงจรตั้งเวลา

ทดสอบความเที่ยงตรงของวงจรตั้งเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 20 นาที ด้วยเครื่องนับสัญญาณ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.12

ส่วนของการนับเวลาของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น มีความเที่ยงตรงดี โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.329 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลานับ 1 วินาที และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลานับเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์มีค่าการถดถอยของการนับเวลาที่เวลานับต่าง ๆ เท่ากับ 1

ตารางที่ 4.9 การนับสัญญาณนาฬิกาต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง

เวลา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	วินาที				
1 วินาที	0.997	0.997	0.997	0.997	0.329
5 วินาที	4.999	5.005	5.005	5.003	0.062
10 วินาที	9.999	9.989	9.989	9.992	0.078
60 วินาที	59.963	59.974	59.974	59.970	0.050
1 นาที	59.981	59.970	59.970	59.974	0.044
2 นาที	199.945	199.946	199.946	199.945	0.045
5 นาที	299.855	299.855	299.855	299.855	0.048
10 นาที	601.643	599.724	599.724	600.363	0.061
20 นาที	1,199.445	1,199.445	1,199.445	1,199.445	0.046



รูปที่ 4.12 ความเป็นเชิงเส้นของเวลาวัดรังสีของอุปกรณ์ตั้งเวลา

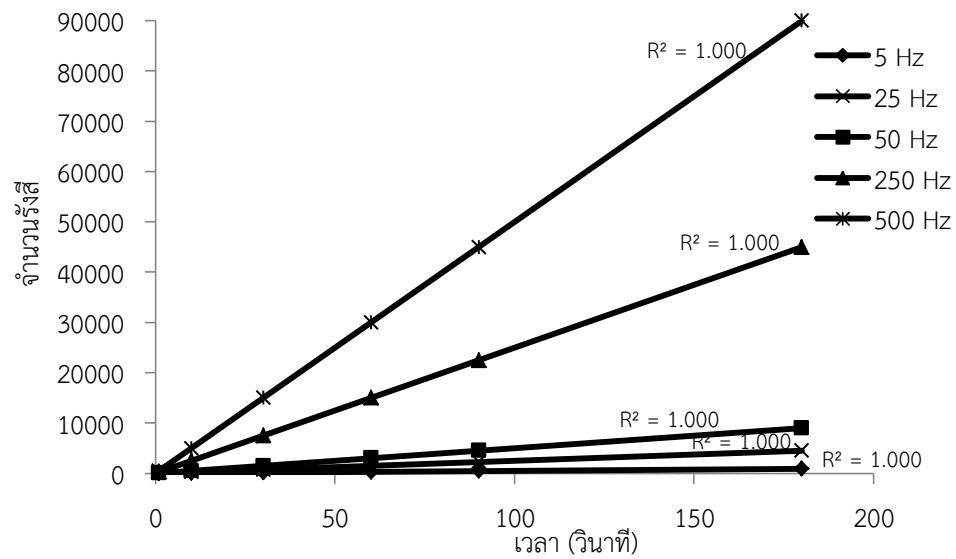
4.2.3.2 การนับสัญญาณพัลส์

ตั้งเวลาวัดที่ต้องการ จากนั้นปรับค่าความถี่ที่ป้อนให้กับวงจรจากเครื่องกำเนิดความถี่เป็น 5, 25, 50, 250, 500, 2500, และ 5000 เฮิร์ต ได้ผลการวัดรังสีที่เวลาต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.10 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ในรูปที่ 4.13 และ 4.14

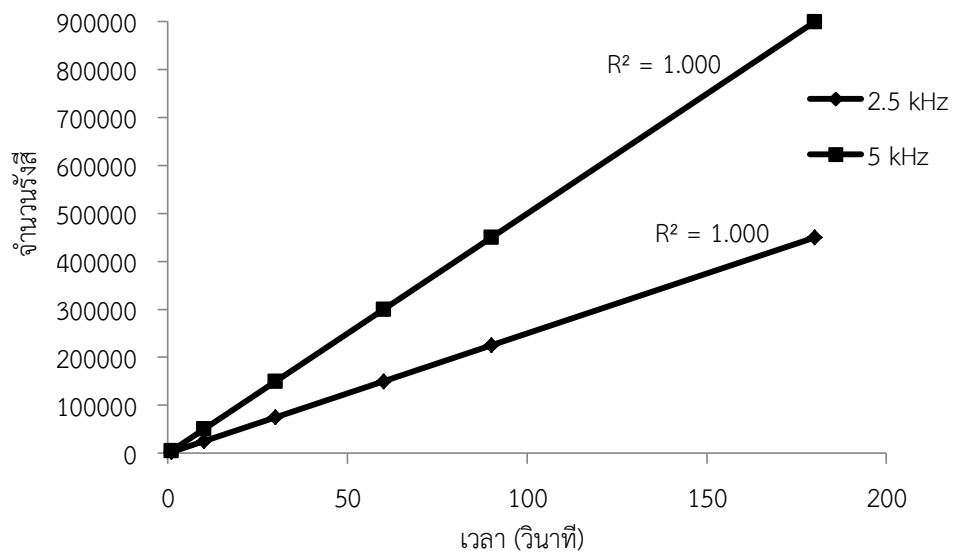
การทดลองพบว่า ส่วนนับสัญญาณพัลส์ของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนับสัญญาณพัลส์ได้ตั้งแต่ 0-999,999 จากตารางที่ 4.10 พบว่า ที่ความถี่และเวลาต่าง ๆ จำนวนสัญญาณที่นับได้มีค่าน้อยกว่าสัญญาณที่ป้อนเข้าวงจรอย่างน้อย 1 พัลส์ เนื่องจากในบางช่วงเวลา การเปิดปิดของตัวนับเวลาและสัญญาณพัลส์ไม่ตรงกัน โดยตัวนับเวลาจะเริ่มนับที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ลูกที่ 1 ดังนั้นหากระหว่างการส่งนับเวลา สัญญาณพัลส์ที่เข้ามาอยู่ในช่วงขอบขาลง ระบบจะไม่นับสัญญาณลูกนั้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไป

ตารางที่ 4.10 การวัดสัญญาณพัลส์ที่ความถี่และเวลาต่าง ๆ

เวลา (s)	5 Hz	25 Hz	50 Hz	250 Hz	500 Hz	2.5 kHz	5 kHz
1	4	24	49	246	493	2,470	4,948
10	50	249	499	2,495	4,992	24,959	49,929
30	149	749	1,498	7,493	14,987	74,925	149,805
60	300	1,498	2,997	14,990	29,976	149,853	299,667
90	449	2,249	4,497	22,483	44,970	224,898	449,501
180	899	4,498	8,995	44,979	89,954	449,655	899,103



รูปที่ 4.13 ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณพัลส์ที่ความถี่และเวลาวัดต่าง ๆ



รูปที่ 4.14 ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณพัลส์ที่ความถี่และเวลาวัดต่าง ๆ

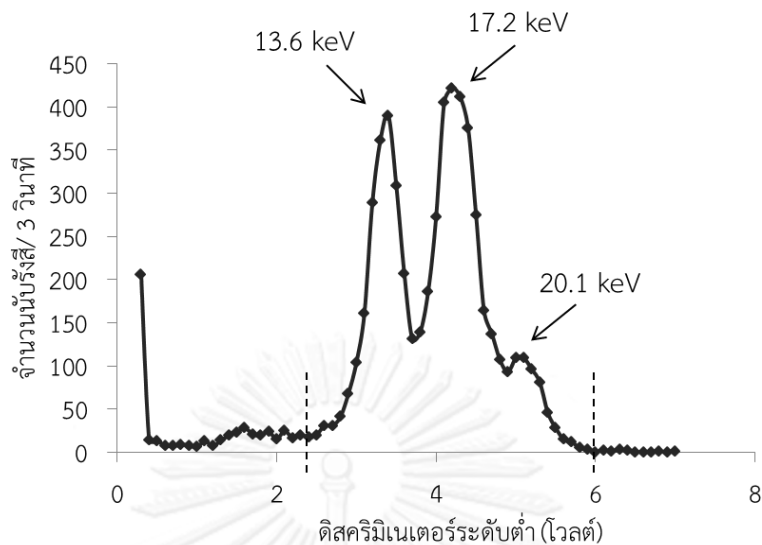
จำนวนสัญญาณพัลส์มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงเมื่อเวลาวัดมากขึ้น โดยค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณพัลส์ 5, 25, 50, 250, 500, 2500 และ 5000 เฮิร์ต ที่เวลา 180 วินาที เท่ากับ 0.111, 0.044, 0.056, 0.047, 0.051, 0.077 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอุปกรณ์มีค่าการถดถอยของการนับสัญญาณพัลส์ที่ความถี่ต่าง ๆ เท่ากับ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์จำแนกของเหลวที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์จำแนกประเภทของแหล่งแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น

ส่วนประกอบ	คุณสมบัติ
แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง[6]	ปรับแรงดันไฟฟ้าได้ต่อเนื่องจาก 0-1,500 V มีค่า Ripple voltage น้อยกว่า 4.08 mV _{P-P} ที่โหลด 3 M Ω ค่าการถดถอยของสเกล 0.9999
แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ[6]	+5 V มี Ripple 10 mV _{P-P} +12 V มี Ripple 5 mV _{P-P} -12 V มี Ripple 8 mV _{P-P} +12 V (High voltage) มี Ripple 180 mV _{P-P} +24 V มี Ripple 25 mV _{P-P} -24 V มี Ripple 5 mV _{P-P}
ส่วนขยายสัญญาณส่วนหน้า	อัตราการเก็บประจุมากกว่า 2×10^{-7} C/s
ส่วนขยายสัญญาณ	ปรับอัตราการขยายได้ต่อเนื่อง จาก 0-300 สามารถปรับโพลซีโรและระดับฐานของสัญญาณได้ อัตราการขยายที่ขนาดสัญญาณอินพุตต่าง ๆ ค่อนข้างคงที่
ส่วนวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว[6]	ปรับค่า LLD และ ΔE ได้จาก 0-10 V ค่าการถดถอยของสเกลดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ 0.9998 ค่าการถดถอยของหน้าต่าง 0.9999
ส่วนนับรังสี	นับรังสีได้ตั้งแต่ 0-999,999 ค่าการถดถอยของของการนับรังสี 1
ส่วนตั้งเวลา	ตั้งเวลาได้จาก 1-99 วินาที และ 1-99 นาที ค่าการถดถอยของของการนับเวลา 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

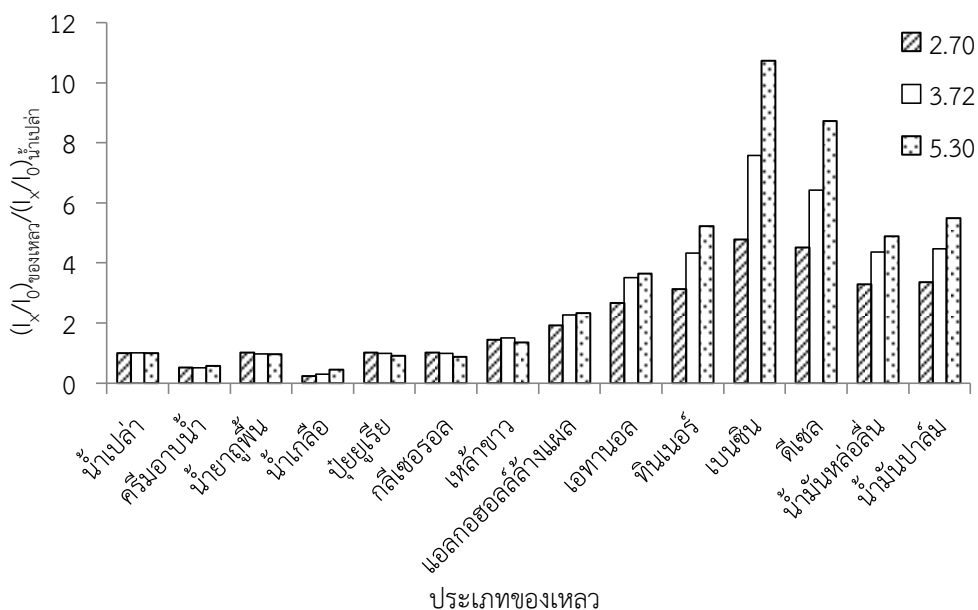
4.2.4 วัดจำนวนรังสีส่งผ่านด้วยอุปกรณ์จำแนกประเภทของแหล่งแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น
ตั้งค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงและอัตราขยายที่เหมาะสม จะได้สเปกตรัมของพลูโตเนียม-238 จากอุปกรณ์จำแนกประเภทของแหล่งแบบพกพาที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 4.15
ที่เวลาวัดจำนวนรังสีนาน 20 วินาที จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของแหล่งประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 สเปกตรัมของ Pu-238 ที่ได้จากอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนา

ตารางที่ 4.12 จำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าในอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น

ประเภทของเหลว	2.70	3.72	5.30
น้ำเปล่า	1.000	1.000	1.000
ครีมอาบน้ำ	0.520	0.502	0.564
น้ำยาถูพื้น	1.018	0.972	0.955
น้ำเกลือเข้มข้น 12.5 เปอร์เซ็นต์	0.238	0.306	0.441
สารละลายปุ๋ยยูเรีย เข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์	1.021	0.990	0.901
กลีเซอรอล	1.016	0.983	0.881
เหล้าขาว	1.441	1.500	1.358
แอลกอฮอล์ล้างแผล	1.925	2.267	2.338
เอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์	2.662	3.511	3.643
ทินเนอร์	3.134	4.321	5.220
เบนซิน	4.783	7.572	10.727
ดีเซล	4.514	6.431	8.724
น้ำมันหล่อลื่น	3.284	4.367	4.891
น้ำมันปาล์ม	3.354	4.473	5.483



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าในอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า เอทานอลและเบนซิน มีค่าสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า ที่เวลาวัด 20 วินาที ค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองด้วยระบบวิเคราะห์มาตรฐานแบบช่องเดี่ยว คือ ประมาณ 3.0 และ 5.0 เท่า ที่ขนาดขวดพลาสติกขนาด 2.70 เซนติเมตร 3.5 และ 7.5 เท่า ที่ขนาดขวดพลาสติกขนาด 3.72 เซนติเมตร และ 4.0 และ 11.0 เท่า ที่ขนาดขวดพลาสติก 5.30 เซนติเมตร

4.2.5 จำนวนรังสีส่งผ่านตัวอย่างของเหลวตัวอย่างในแต่ละกลุ่มประเภทที่มีค่าความแม่นยำ 1 เปอร์เซ็นต์

จำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวตัวอย่างในแต่ละกลุ่มประเภทที่สามารถลดทอนรังสีได้ดี โดยกำหนดให้มีค่าความแม่นยำ 1 เปอร์เซ็นต์ ที่จำนวนรังสีประมาณ 10,000 จะใช้เวลาในการวัดจำนวนรังสีดังตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าน้ำเกลือต้องใช้เวลาในการวัดนาน เนื่องจากสารประกอบทางเคมีของเกลือ คือ โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) ซึ่งอะตอมของสารประกอบนี้มีขนาดใหญ่ จึงทำให้โอกาสที่รังสีจะส่งผ่านออกมามีค่าน้อย จึงใช้เวลาในการวัดนาน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าระยะเวลาที่ในการวัดจะขึ้นอยู่กับความแรงรังสี ความหนาของของเหลวและสารประกอบทางเคมีของของเหลว นั้น ๆ

ตารางที่ 4.13 เวลาวัดรังสี (วินาที) ที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนรังสีมีค่าความแม่นยำ 1 เปอร์เซ็นต์

ประเภทของเหลว	ขนาดขวดพลาสติก (เซนติเมตร)		
	2.70	3.72	5.30
น้ำเปล่า	120	240	800
น้ำเกลือ	600	800	2400
เหล้าขาว	100	200	600
น้ำมันหล่อลื่น	40	60	240

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและอภิปราย

5.1 ขั้นตอนก่อนดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่า จากเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ พบว่าสามารถจำแนกประเภทกลุ่มของเหลวได้อย่างชัดเจน โดยรังสีสามารถส่งผ่านเอทานอลและเบนซินได้ประมาณ 2.5 และ 4.0 เท่าของน้ำเปล่า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขวด 2.3 เซนติเมตร 4.0 และ 8.0 เท่า ที่ขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร และ 5.0 และ 17.0 เท่า ที่ขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.7 เซนติเมตร จึงได้นำข้อมูลดังกล่าวไปพัฒนาเครื่องจำแนกประเภทของเหลวต่อไป

5.2 ขั้นตอนพัฒนาอุปกรณ์

อุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนาขึ้นใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์ ที่ 50 เฮิร์ต แสดงผลทางจอแอลซีดี (LCD) สามารถปรับแหล่งจ่ายแรงดันสูงได้ถึง 1500 โวลต์ มีอัตราขยายสูงสุด 300 เท่า และอัตราขยายที่แต่ละระดับมีค่าค่อนข้างคงที่ อุปกรณ์สามารถนับรังสีได้ตั้งแต่ 0-999,999 และเลือกตั้งเวลาได้ทั้งในหน่วยวินาทีและนาฬิกา โดยตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 0-99 วินาที และ 0-99 นาฬิกา

เมื่อวัดจำนวนรังสีส่งผ่านจากอุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของเหลวได้ดี โดยจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าของเอทานอลและเบนซิน มีค่าประมาณ 3.0 และ 5.0 เท่า ที่ความหนาของเหลว 2.70 เซนติเมตร 3.5 และ 7.5 เท่า ที่ความหนาของเหลว 3.72 เซนติเมตร และ 4.0 และ 11.0 เท่า ที่ความหนาของเหลว 5.30 เซนติเมตร

อุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวแบบพกพาถูกออกแบบให้สามารถพกพาได้สะดวกเหมาะสมต่อการใช้เวลาวัดน้อย ๆ เพราะเป็นการวิเคราะห์ประเภทของเหลวเบื้องต้นและเพื่อความรวดเร็วในการตรวจสอบ โดยสามารถระบุประเภทของเหลวได้ทั้งหมด 5 ประเภท คือ กลุ่มของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ กลุ่มต้องสงสัยระหว่างน้ำและแอลกอฮอล์ กลุ่มแอลกอฮอล์ กลุ่มต้องสงสัยระหว่างแอกอฮอล์และน้ำมัน และกลุ่มน้ำมัน แต่ของเหลวบางประเภทมีค่าจำนวนเท่าของสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ต่อสัดส่วนจำนวนรังสีส่งผ่านของน้ำเปล่าในช่วงที่ไม่สามารถระบุกลุ่มของเหลวได้อย่างชัดเจน ดังนั้นหากตรวจพบของเหลวในกลุ่มที่ต้องสงสัย ไม่สามารถระบุประเภทได้อย่างแน่ชัด จึงต้องใช้วิธีการวิเคราะห์อื่น ๆ ต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 หากขณะใช้งาน พบของเหลวที่ไม่สามารถระบุประเภทได้อย่างแน่ชัด ให้ตั้งเวลาวัดให้นานขึ้น เพื่อความเที่ยงตรงที่ดีขึ้นและประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มของเหลว

5.3.2 อุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวนี้สามารถใช้วัดขวดพลาสติกที่มีขนาดคงที่ คือ 2.70, 3.72 และ 5.30 เท่านั้น ซึ่งในการใช้งานจริง ของเหลวที่ผู้โดยสารนำขึ้นเครื่องบินมีหลากหลายขนาด

จึงอาจพิจารณาเทคนิคนิวเคลียร์อื่น ๆ ที่ความหนาของของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไปไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ คงมีแต่ปัจจัยในด้านของสารประกอบของเหลวนั้น ๆ เท่านั้น

5.3.2 อุปกรณ์จำแนกประเภทของเหลวที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ของเหลวภายในขวดพลาสติกรูปทรงกลม ที่ทุกส่วนของขวดมีขนาดเท่ากันหมด และไม่มีลวดลายบนขวด แต่ขวดบรรจุของเหลวที่ผู้โดยสารนำขึ้นเครื่องบินมีรูปทรงหลายแบบและชนิดของขวดบรรจุต่างกัน ดังนั้น อาจพัฒนาโปรแกรมคำนวณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ของเหลวในขวดบรรจุที่มีรูปทรงและชนิดของขวดต่าง ๆ เพื่อ

ความหลากหลายในการใช้งาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

1. *Thwarting the Airline Plot: Inside the Investigation*. Available from: <http://content.time.com/time/nation/article/0,8599,1225453,00.html>, (Retrieved Dec 20th, 2012).
2. คำแนะนำสำหรับผู้โดยสารก่อนขึ้นเครื่องบิน. Available from: http://www.suvarnabhumiairport.com/security_information_th.php. (Retrieved December 20th, 2012).
3. เหมือนฝัน เอี่ยมศิริ, การพัฒนาเทคนิคนิวเคลียร์สำหรับจำแนกประเภทของเหลวในภาชนะปิด. 2553, ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโซ ทองอร่าม, and จิระยุทธ อารังพุทธิกุล, การพัฒนาอุปกรณ์ขยายส่วนหน้าสำหรับหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล. 2546, ศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์เทคโนโลยีสำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. Demir D., et al., *Determination of photon attenuation coefficient, porosity and field capacity of soil by gamma-ray transmission for 60, 356 and 662 keV gamma rays*. Applied Radiation and Isotopes 2008. 66: p. 1834–1837.
6. วสันต์ วงศ์โรจน์กุล, การพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่. 2555, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
7. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, *Nuclear radiation detection and instrumentation*. 2547, เอกสารการสอนวิชา 2111606 นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. Lamarsh, J.R., *Introduction to nuclear engineering*. 1977, Massachusetts: Addison-Wesley publishing.
9. Lowenthal, G.C. and P.L. Airey, *Practical applications of radioactivity and nuclear radiations*. 2005, New York: Cambridge University Press.
10. Perlman, I., *The transuranium elements and nuclear chemistry*. Journal of Chemical Education, 1948. 25: p. 275.
11. Nicholas, T. and L. Sheldon, *Measurement and detection of radiation*. 2011, United States of America: Taylor and Francis Group.
12. ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง, เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วยภาษา BASIC. 2543, กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
13. ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง, *Advance PIC Microcontroller in C การประยุกต์ใช้งาน PIC ขั้นสูงด้วยภาษา C*. 2555, กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
14. วัดความไวไฟของสารไวไฟ. Available from: <http://www.safetylifethailand.com/download/วัดความไวไฟของสารไวไฟ.pdf>. (Retrieved March 1st, 2013).

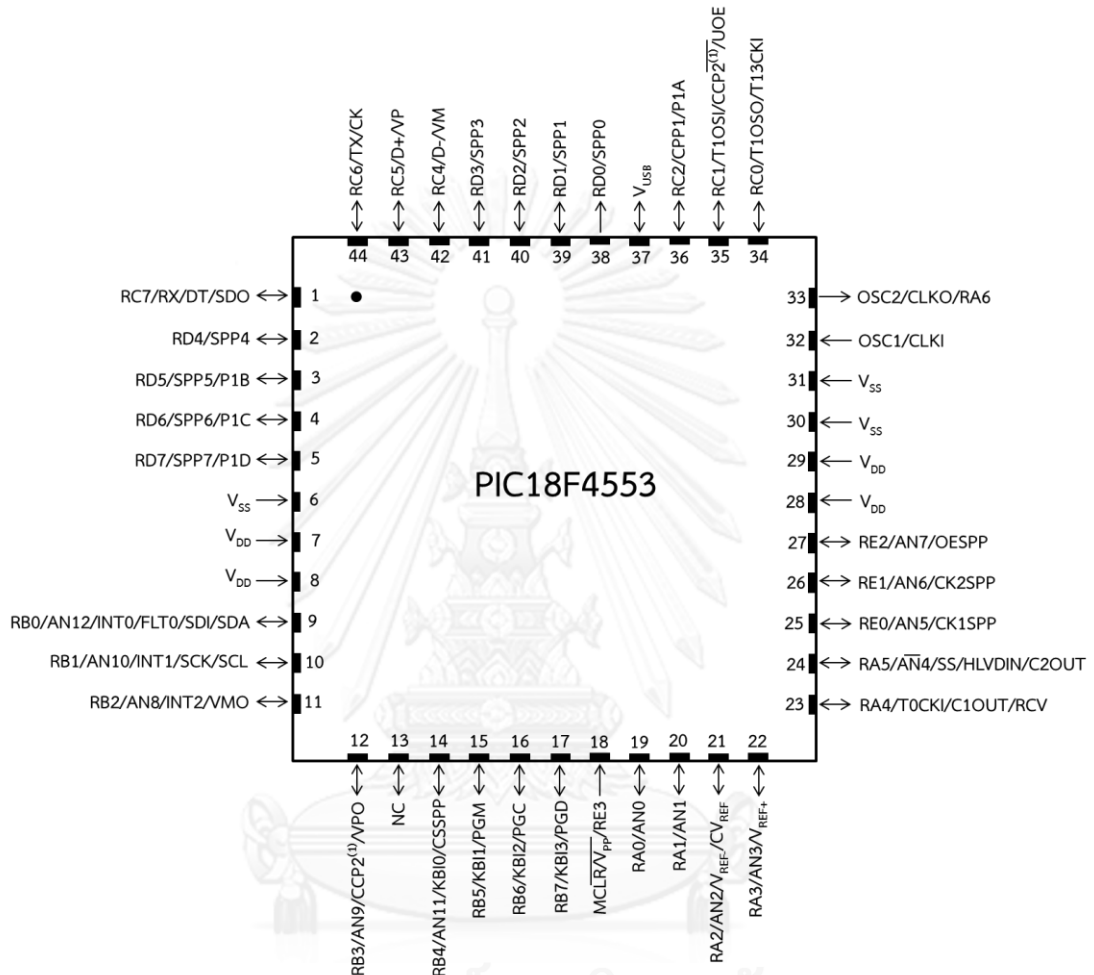
15. ชันทอง สุนทรภา, ความปลอดภัยในกระบวนการเคมี. 2549, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
16. น.อ.ดร.วิริยะ มีศิริ. วัตถุระเบิด. Available from: <http://www.arm.rtaf.mi.th/ข่าวบทความ/artknow/pdf/bome1.pdf>. Retrieved May 12nd, 2013.
17. Leons, J.J., *National Park Service Handbook for the Storage, Transportation, And Use of the Explosives*. 1999, United States of America: National Park Service.
18. *Liquid Explosives*. Available from: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/explosives-liquid.htm>. (Retrieved May 17th, 2013).
19. กรมควบคุมมลพิษ. ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. Available from: <http://msds.pcd.go.th/>. (Retrieved April 22nd, 2013).



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.
ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC ชนิด PIC18F4553



รูปที่ ก.1 ตำแหน่งขาของ PIC18F4553

ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553

Pin Name	Pin number	Pin Type	Buffer Type	Description
MCLR/VPP/RE3 MCLR VPP RE3	18	I P I	ST ST	Master Clear (input) or programming voltage (input). Master Clear (Reset) input. This pin is an active-low. Reset to the device. Programming voltage input. Digital input.
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	32	I I	Analog Analog	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. External clock source input. Always associated with pin function OSC1. (See OSC2/CLKO pin.)
OSC2/CLKO/RA6 OSC2 CLKO RA6	33	O O I/O	- - TTL	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate. General purpose I/O pin.

Legend: TTL = TTL compatible input

CMOS = CMOS compatible input or output

ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels

I = Input

O = Output

P = Power

Note 1: Alternate assignment for CCP2 when CCP2MX Configuration bit is cleared.

2: Default assignment for CCP2 when CCP2MX Configuration bit is set.

3: These pins are No Connect unless the ICPRT Configuration bit is set.

For NC/ICPORTS, the pin is No Connect unless ICPRT is set and the DEBUG Configuration bit is cleared.

ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553 (ต่อ)

Pin Name	Pin number	Pin Type	Buffer Type	Description
RA0/AN0	19	I/O	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.
RA0				Digital I/O.
AN0	20	I	Analog	Analog input 0.
RA1/AN1				
RA1	21	I/O	TTL	Digital I/O.
AN1				Analog input 1.
RA2/AN2/VREF-/ CVREF	22	I/O	TTL	Digital I/O.
RA2				Analog input 2.
AN2	23	I	Analog	A/D reference voltage (low) input.
VREF-				
CVREF	24	O	Analog	Analog comparator reference output.
RA3/AN3/VREF+				
RA3	25	I/O	TTL	Digital I/O.
AN3				Analog input 3.
VREF+	26	I	Analog	A/D reference voltage (high) input.
RA4/T0CKI/C1OUT/ RCV				
RA4	27	I/O	ST	Digital I/O.
T0CKI				Timer0 external clock input.
C1OUT	28	O	-	Comparator 1 output.
RCV				External USB transceiver RCV input.
RA5/AN4/SS/ HLVDIN/C2OUT	29	I/O	TTL	Digital I/O.
RA5				Analog input 4.
AN4	30	I	TTL	SPI slave select input.
SS				
HLVDIN	31	I	Analog	High/Low-Voltage Detect input.
C2OUT				Comparator 2 output.
RA6	-	-	-	See the OSC2/CLKO/RA6 pin.

ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553 (ต่อ)

Pin Name	Pin number	Pin Type	Buffer Type	Description
RB0/AN12/INT0/FLT0/SDI/SDA	9			PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
RB0		I/O	TTL	Digital I/O.
AN12		I	Analog	Analog input 12.
INT0		I	ST	External interrupt 0.
FLT0		I	ST	Enhanced PWM Fault input (ECCP1 module).
SDI		I	ST	SPI data in.
SDA		I/O	ST	I ² C data I/O.
RB1/AN10/INT1/SCK/SCL	10			
RB1		I/O	TTL	Digital I/O.
AN10		I	Analog	Analog input 10.
INT1		I	ST	External interrupt 1.
SCK		I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI mode.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.	
RB2/AN8/INT2/VMO	11			
RB2		I/O	TTL	Digital I/O.
AN8		I	Analog	Analog input 8.
INT2		I	ST	External interrupt 2.
VMO	O	-	-	External USB transceiver VMO output.
RB3/AN9/CCP2/VPO	12			
RB3		I/O	TTL	Digital I/O.
AN9		I	Analog	Analog input 9.
CCP2 ⁽¹⁾		I/O	ST	Capture 2 input/Compare 2 output/PWM 2 output.
VPO	O	-	-	External USB transceiver VPO output.
RB4/AN11/KBI0/CSSPP	14			
RB4		I/O	TTL	Digital I/O.
AN11		I	Analog	Analog input 11.
KBI0		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
CSSPP	O	-	-	SPP chip select control output.

ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553 (ต่อ)

Pin Name	Pin number	Pin Type	Buffer Type	Description
RB5/KBI1/PGM	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
KBI1		I/O	ST	Low-Voltage ICSP <input type="checkbox"/> Programming enable pin.
PGM	16	I/O	ST	
RB6/KBI2/PGC		I/O	TTL	Digital I/O.
RB6		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
KBI2	17	I/O	ST	In-Circuit Debugger and ICSP programming clock pin.
PGC		I/O	ST	
RB7/KBI3/PGD		I/O	TTL	Digital I/O.
RB7	17	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
KBI3		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
PGD		I/O	ST	In-Circuit Debugger and ICSP programming data pin.

ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553 (ต่อ)

Pin Name	Pin number	Pin Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T13CKI	34			PORTC is a bidirectional I/O port.
RC0		I/O	ST	Digital I/O.
T1OSO		O	-	Timer1 oscillator output.
T13CKI		I	ST	Timer1/Timer3 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2/UOE	35			
RC1		I/O	ST	Digital I/O.
T1OSI		I	CMOS	Timer1 oscillator input.
CCP2 ⁽²⁾		I/O	ST	Capture 2 input/Compare 2 output/PWM2 output.
UOE	36	O	-	External USB transceiver OE output.
RC2/CCP1/P1A				
RC2		I/O	ST	Digital I/O.
CCP1		I/O	ST	Capture 1 input/Compare 1 output/PWM1 output.
P1A	42	O	TTL	Enhanced CCP1 PWM output, channel A.
RC4/D-/VM				
RC4		I	TTL	Digital input.
D-		I/O	-	USB differential minus line (input/output).
VM	43	I	TTL	External USB transceiver VM input.
RC5/D+/VP				
RC5		I	TTL	Digital input.
D+		I/O	-	USB differential plus line (input/output).
VP	44	I	TTL	External USB transceiver VP input.
RC6/TX/CK				
RC6		I/O	ST	Digital I/O.
TX		O	-	EUSART asynchronous transmit.
CK	44	I/O	ST	EUSART synchronous clock (see RX/DT).
RC7/RX/DT/SDO				
RC7		I/O	ST	Digital I/O.
RX		I	ST	EUSART asynchronous receive.
DT	44	I/O	ST	EUSART synchronous data (see TX/CK).
SDO		O	-	SPI data out.

ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553 (ต่อ)

Pin Name	Pin number	Pin Type	Buffer Type	Description
RD0/SPP0	38			PORTD is a bidirectional I/O port or a Streaming Parallel Port (SPP). PORTD can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. These pins have TTL input buffers when the SPP module is enabled.
RD0		I/O	ST	Digital I/O.
SPP0		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD1/SPP1	39			
RD1		I/O	ST	Digital I/O.
SPP1		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD2/SPP2	40			
RD2		I/O	ST	Digital I/O.
SPP2		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD3/SPP3	41			
RD3		I/O	ST	Digital I/O.
SPP3		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD4/SPP4	2			
RD4		I/O	ST	Digital I/O.
SPP4		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD5/SPP5/P1B	3			
RD5		I/O	ST	Digital I/O.
SPP5		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
P1B		O	-	ECCP1 PWM output, channel B.
RD6/SPP6/P1C	4			
RD6		I/O	ST	Digital I/O.
SPP6		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
P1C		O	-	ECCP1 PWM output, channel C.
RD7/SPP7/P1D	5			
RD7		I/O	ST	Digital I/O.
SPP7		I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
P1D		O	-	ECCP1 PWM output, channel D.

ตารางที่ ก.1 ขาอินพุตเอาต์พุตของ PIC18F4553 (ต่อ)

Pin Name	Pin number	Pin Type	Buffer Type	Description
RE0/AN5/CK1SPP	25			PORTE is a bidirectional I/O port.
RE0		I/O	ST	Digital I/O.
AN5		I/O	Analog	Analog input 5.
CK1SPP		O	-	SPP clock 1 output.
RE1/AN6/CK2SPP	26			
RE1		I/O	ST	Digital I/O.
AN6		I/O	Analog	Analog input 6.
CK2SPP		O	-	SPP clock 2 output.
RE2/AN7/OESPP	27			
RE2		I/O	ST	Digital I/O.
AN7		I/O	Analog	Analog input 7.
OESPP		O	-	SPP output enable output.
RE3	-	-	-	See MCLR/VPP/RE3 pin.
V _{SS}	6, 30, 31	P	-	Ground reference for logic and I/O pins.
V _{DD}	7, 8, 28, 29	P	-	Positive supply for logic and I/O pins.
V _{USB}	37	O	-	Internal USB transceiver power supply. When the internal USB regulator is enabled, VUSB is the regulator output.
		P	-	When the internal USB regulator is disabled, VUSB is the power input for the USB transceiver.
NC	13	-	-	No Connect.

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติของหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลและอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า

LND, INC.

3230 LAWSON BLVD., OCEANSIDE, NEW YORK 11572

E-mail: info@lndinc.com Web Site: http://www.lndinc.com

1-516-678-6141 Fax: 1-516-678-6704

Designers & Manufacturers of Nuclear Radiation Detectors

421 Quadrilateral Side Window Proportional Counter

GENERAL SPECIFICATIONS

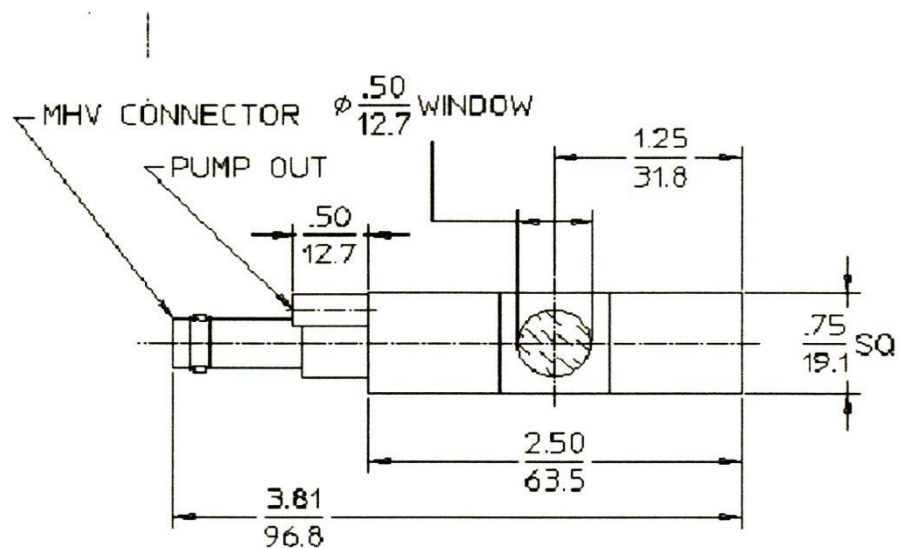
Gas filling	Argon
Gas pressure (torr)	800
Path length (inch/mm)	0.5/12.7
Cathode material	Aluminum
Maximum length (inch/mm)	3.81/96.77
Effective length (inch/mm)	1.5/38.1
Maximum width (inch/mm)	0.75/19.05
Effective width (inch/mm)	0.5/12.7
Connector	MHV
Operating temperature range °C	-40 to +75

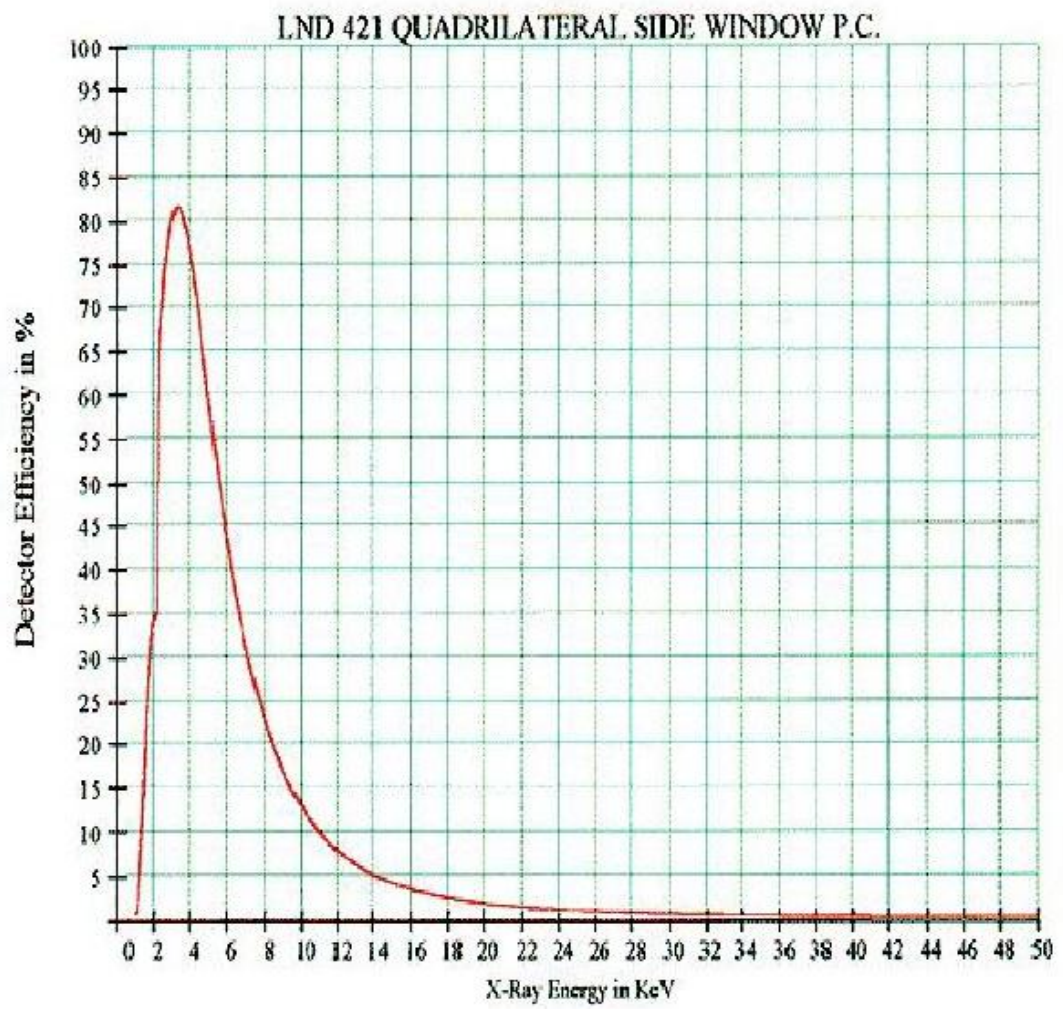
WINDOW SPECIFICATIONS

Material	Beryllium
Areal density (mg/cm ²)	9.2
Thickness (inch/mm)	0.002/0.05
Diameter (inch/mm)	0.5/12.7

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Recommended operating voltage (volts)	1450
Operating voltage range (volts)	1350 - 1600
Typical resolution (fwhm Fe55)	20
Capacitance (pf)	3







Model 2004 Semiconductor Detector Preamplifier

Features

- Low noise design: less than 2.8 keV (Si) at 0 pF
- High charge rate capability: up to 4.5×10^6 MeV/sec
- FET input, diode protected
- Pole/zero select or defeat
- High voltage operation up to ± 2000 V dc

Description

The CANBERRA Model 2004 charge sensitive FET input preamplifier was designed for use with both low and high capacitance semiconductor detectors. The preamp converts the charge carriers developed in the detector during each absorbed nuclear event to a step function voltage pulse, the amplitude of which is proportional to the total charge accumulated in that event. The output provides a positive polarity signal when used with detectors requiring positive bias and decays with a nominal time constant of 50 μ s.



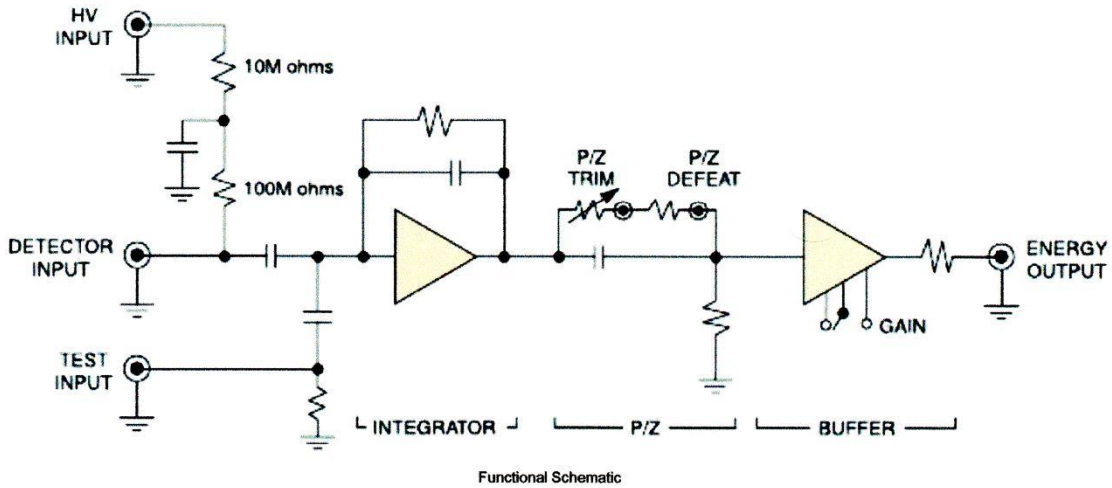
The high charge rate capability of the design is evidenced by a charge rate capacity of better than 2×10^{-7} coulombs per second, or 4.5×10^6 MeV per second for silicon detectors. In order to take full advantage of such a high count rate capability, a main amplifier with a correspondingly high count rate ability, such as the CANBERRA Model 2025 or Model 2026, should be employed.

As shown in the functional schematic, the first stage acts as an operational integrator which produces an output potential proportional to the accumulated charge. This integrator is coupled to an output buffer stage through a pole/zero trim network. A feature of particular importance to certain users is a removable socketed resistor on the printed circuit board for disabling the pole/zero circuit. For low count rate applications using high leakage detectors, the resulting low frequency noise bandwidth may improve resolution.

The preamplifier offers a noise contribution of only 2.8 keV FWHM, Si, with a rate of noise increase with increasing input capacitance of only 10 eV per picofarad, FWHM, Si. Conversion gains of nominally 9 mV per MeV or 45 mV per MeV (Si) may be selected by a jumper plug on the printed circuit board inside the unit.

In addition, the input circuit includes a protection network to prevent damage to the input FET from transient high voltage waveforms caused by sudden application or removal of detector bias, or a detector fault. All necessary power is provided by a CANBERRA main amplifier through the 300 cm (10 ft) compatible cable.

Model 2004 Semiconductor Detector Preamplifier



Specifications

INPUT

- DETECTOR INPUT □ Accepts charge pulse from semiconductor detector
- TEST INPUT □ Charge coupled to preamp input at 2.2 pC/V. $Z_{in} = 93 \Omega$.
- HV INPUT □ Allows detector biasing up to ± 2000 V dc, detector series bias resistance 110 M Ω .

OUTPUTS

- ENERGY OUTPUT □ Inverted tail pulse, rise time as in Table 1, 50 μ s fall time constant, up to ± 10 V; $Z_{out} = 93 \Omega$, direct coupled.

PERFORMANCE

- INTEGRAL NONLINEARITY □ $< \pm 0.02\%$ for ± 10 V output.
- GAIN DRIFT □ $< \pm 0.01\%$ per $^{\circ}\text{C}$ (± 100 ppm/ $^{\circ}\text{C}$).
- DETECTOR BIAS ISOLATION □ ± 5000 V dc maximum.
- NOISE OUTPUT PERFORMANCE □ See Table 1
- CHARGE SENSITIVITY □ 0.2 V/pC or 1.0 V/pC, internally selected.
- ENERGY SENSITIVITY (Si) □ 9 mV/MeV or 45 mV/MeV internally selected.
- RISE TIME □ See Table 1

CONNECTORS

- POWER □ Amphenol 17-20090.
- DETECTOR INPUT □ SHV
- HV INPUT □ SHV
- TEST INPUT and ENERGY OUTPUT □ BNC
- 300 cm (10 ft) preamp power cable is supplied with the preamplifier.

POWER REQUIREMENTS

- +24 V dc – 30 mA
- +12 V dc – 2 mA
- 24 V dc – 15 mA
- 12 V dc – 2 mA

PHYSICAL

- SIZE □ 9.86 x 7.62 x 4.45 cm (3.88 x 3.00 x 1.75 in.).
- NET WEIGHT □ 0.23 kg (0.5 lb).
- SHIPPING WEIGHT □ 1.0 kg (2.2 lb).

ENVIRONMENTAL

- OPERATING TEMPERATURE – 0 to 50 $^{\circ}\text{C}$.
- OPERATING HUMIDITY – 0 to 80% relative, non-condensing.
- Meets the environmental conditions specified by EN 61010, Installation Category I, Pollution Degree 2.

Table 1

C_{source} in pF	Noise in Coulombs rms	Noise in keV, FWHM, Si	Rise Time in Nanoseconds
0	$< 5.3 \times 10^{-17}$	< 2.8	< 20
30	$< 5.7 \times 10^{-17}$	< 3.0	< 21
100	$< 6.6 \times 10^{-17}$	< 3.5	< 23
300	$< 1.0 \times 10^{-16}$	< 5.3	< 33

Noise performance using CANBERRA Model 2025 Spectroscopy Amplifier with 2 μ s, unipolar, near-Gaussian shaping.



ภาคผนวก ค.
ปฏิกิริยาจากการผสมกันของสารเคมี

ตารางที่ ค.1 ปฏิกิริยาที่เกิดจากการผสมกันของสารเคมีชนิดต่าง ๆ

สารเคมี	ปฏิกิริยา
Acetic acid + Acetaldehyde	Acetic acid ปริมาณเล็กน้อยสามารถทำให้ Acetaldehyde เกิดการ Polymerization และคายความร้อนปริมาณมาก ออกมา
Acetic anhydride + Acetaldehyde	เกิดปฏิกิริยา Condensation ที่รุนแรง เป็นสาเหตุให้เกิด การระเบิด
Acrolein + Ammonia, aqueous	ปฏิกิริยา Polymerization ระหว่าง Acrolein กับสาร Alkaline หรือ Amine เป็นปฏิกิริยาที่รุนแรงมาก
Aluminum metal + Ammonium nitrate	อาจเกิดระเบิดได้
Aluminum metal + Antimony trichloride	Aluminum metal ลูกไหม้ได้เมื่อมีไอของ Antimony trichloride อยู่ด้วย
Aluminum metal + any Bromate (or Chlorate or Iodate)	Aluminum metal แบบผงละเอียด เมื่อรวมกับ สารประกอบ Bromate หรือ Chlorate หรือ Iodate อาจ เกิดการระเบิดและกลายเป็นการระเบิดแบบ Detonation เมื่อได้รับความร้อน แรงกระทบ แรงเสียดทาน หรือแสง
Aluminum chloride - self-reacting	การเก็บกักไว้เป็นเวลานานอาจเกิดการระเบิดได้เมื่อมีการ เปิดถึงภาชนะ
Ammonium nitrate + Acetic acid	ของผสมอาจจะลุกติดไฟได้ถ้าเป็นกรดเข้มข้น
Cupric sulfide + Cadmium chlorate	เกิดการระเบิดได้เมื่อสัมผัสกัน
Hydrogen peroxide + Ferrous sulfide	เป็นปฏิกิริยาที่รุนแรง เกิดการคายความร้อนสูง
Lead perchlorate + methanol	เป็นสารระเบิดถ้าผสมเข้าด้วยกัน
Maleic anhydride + Magnesium hydroxide	เป็นปฏิกิริยาที่อาจเกิดการระเบิดได้
Mercury nitrate + Methanol	ของผสมมีโอกาสกลายเป็น Mercury fulminate ซึ่งเป็น สารระเบิด
Nitric acid + Nitrobenzene	ของผสมของ Nitric acid กับ Nitrobenzene อาจเกิดการ ระเบิดแบบ Detonation ได้
Potassium cyanide + Potassium nitrite	อาจเกิดการระเบิดได้ถ้าได้รับความร้อน
Silver + Tartaric acid	เป็นสารระเบิด
Silver oxide + sulfur	เป็นสารระเบิด
Sodium + Selenium	เกิดปฏิกิริยากันได้ด้วยการเผาไหม้

ตารางที่ ค.2 ปฏิกิริยาที่เกิดจากการผสมกันของสารเคมีชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

สารเคมี	ปฏิกิริยา
Sodium + Silver bromide, Silver chloride, Silver fluoride, or Silver iodide	ทำให้เกิดของผสมที่ไวต่อแรงกระแทก
Sodium + Sulfur	เป็นปฏิกิริยาที่เกิดการระเบิดรุนแรง
Sodium + Stannic halides	ทำให้เกิดของผสมที่ไวต่อแรงกระแทก
Sodium cyanide + Sulfuric acid	คายแก๊ส Hydrogencynaide (HCN) ทำให้ตายได้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐพร ต้นทอง เกิดเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2552 และในปีการศึกษา 2554 ได้เข้าศึกษาต่อวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY