

การพัฒนาแนวคิดระบบนับวัดสำหรับการแผ่รังสีการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี  
ภายในพื้นที่กักอากาศ

DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL MEASUREMENT SYSTEM FOR  
REDIAOACTIVE IODINE MONITOR



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาแนวคิดระบบนับวัดสำหรับการเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี  
ภายในพื้นที่กักอากาศ

DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL MEASUREMENT SYSTEM FOR  
REDIAOACTIVE IODINE MONITOR



นางสาวศุภกิติ เจิมศรี

ร.พ.  
๑๗๓๕ ก  
๒๕๕๘

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 149285  
วันเดือนปี... ๒๐.๑๑.๒๕๕๘



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL MEASUREMENT SYSTEM FOR  
REDIAOACTIVE IODINE MONITOR



Miss Supak Jaermsri

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อสหกิจศึกษา	การพัฒนาแนวคิดระบบนับวัดสำหรับการเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสีภายในพื้นที่กักอากาศ	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวศุภกิติ เจิมศรี รหัสนักศึกษา 55051629	
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย	เล็กชะอุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชนาธิป	ทิพยกุล
	นายธนรรจน์	แสงจันทร์

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการพัฒนาแนวคิดระบบนับวัดสำหรับการเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสีภายในพื้นที่กักอากาศโดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแนวคิดและระบบต้นแบบสำหรับนับวัดสารกัมมันตรังสีไอโอดีนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูก โดยระบบประกอบไปด้วย หัววัดรังสีแบบสารเรืองแสง แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง ภาคขยายส่วนหน้า ภาคขยายหลัก และสัญญาณจากภาคขยายหลักนี้จะต่อเข้ากับอุปกรณ์การเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสีที่ประกอบไปด้วยไอซีและไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดช่วงพลังงานของต้นกำเนิดรังสีที่จะให้ระบบวัดหากปริมาณรังสีมีค่าเกินขีดจำกัดที่กำหนดระบบจะทำการแจ้งเตือนเพื่อให้รู้ว่ามีปริมาณรังสีสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ การทดสอบการทำงานของระบบมีดังนี้ คือ หนึ่งการทดสอบหาความสามารถในการทำ peak detection ด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผลที่ได้บอกถึงค่าประสิทธิภาพในการทำ peak detection ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.66% การทดสอบที่ 2 เป็นการทดสอบหาความแม่นยำในการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟซึ่งพบว่าระบบสามารถแยกแยะค่านับวัดตามช่วงพลังงานที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง และการทดสอบที่ 3 เป็นการทำ Energy calibration เพื่อหาช่วงพลังงานของ I-131 และนำมากำหนด region of interest ซึ่งช่วงพลังงานของ I-131 จากการทดลองนี้คือ 143-183 ช่อง และการทดสอบสุดท้ายคือการทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียงเพื่อดูการทำงานภาพรวมของระบบ ในการทดลองสุดท้ายนี้ผู้ทดลองได้เลือก Ba-133 มาตรวจวัดแทน I-131 เนื่องจากเป็นสารรังสีแบบเปิดผนึกจึงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ทดลองได้ ผลการทดลองพบว่าช่วงพลังงานที่ได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วยสมการ energy calibration เท่ากับ 14.89% แต่อย่างไรก็ตามแม้ความสามารถในการวัดยังมีความผิดพลาดอยู่บ้างแต่งานวิจัยนี้ก็สามารถนำไปเป็นแนวคิดในการพัฒนาระบบนับวัดรังสีสำหรับเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสีได้

**คำสำคัญ :** ระบบนับวัดรังสี อุปกรณ์เฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี ไอโอดีนรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL MEASUREMENT SYSTEM FOR RADIOACTIVE IODINE MONITOR	
Students	Miss. SUPAK JAERMSRI Student ID 55051629	
Degree	Bachelor of Science Applied Physics	
Department	Physics	
Academic Year	2015	
Advisor	Assoc. Prof. SARAI	LEKCHAUM
Co-advisor	Mr. CHANATIP	TIPPAYAKUL (Ph.D.)
	Mr. DHANAJ	SAENGVHANTR

### ABSTRACT

This study aims to develop a conceptual measurement system of radioactive iodine monitor using a low-cost microcontroller. This system uses a scintillation detector, a HV power supply, a preamplifier, and an amplifier which feeds signal into the developed iodine monitor consisting of an IC and two ARDUINO microcontrollers. With this system, the user can choose the ROI for counting. The system will initiate an alarm if there is high radiation level in the working area. The developed system was tested for its performance by three experiments. The first experiment was to determine the efficiency of the peak detection method using sine wave from a signal generator. The experiment result shows that the system has the peak detection efficiency of 18.66%. The second experiment was to determine the accuracy of the area under curve. It was found that the system can identify CPM in the defined ROI accurately. The last experiment was to perform energy calibration. It was found from the experiment that the energy of I-133 falls between channel no. 143 and channel no. 183. After the experiments were complete, an operation test of the system was performed using Ba-133. It is noted that sealed Ba-133 is used instead of unsealed I-133 because of safety concern. The operation test shows the channel difference of 14.89% between the calculation and the experiment which was caused by the peak detection discrepancy. Nevertheless, the developed system proves to be a successful conceptual measurement system of radioactive iodine monitor.

**Keywords : Radiation Detection, Radioactive Iodine, Iodine Monitor**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา เราต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจากดร.ชนาธิป ทิพยกุล และ นายธนรรจน์ แสงจันทร์ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทั้งด้านขั้นตอนการทำงาน แนวทางการออกแบบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้โครงการฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด นอกจากนี้ท่านทั้งสองยังสละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อให้ความรู้ด้านเครื่องมือวัดรังสีและอำนวยการสถานที่แก่ผู้จัดทำเพื่อใช้ในการทำการทดสอบต่างๆของระบบจนทำให้โครงการนี้สำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ หากไม่มีท่านทั้งสองโครงการฉบับนี้ก็ไม่สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ นายเจตรจันทร์ จันทรนุ้ยและนายธิตี เรืองสีสาราญ ผู้ซึ่งสละเวลาสอนการใช้เครื่องมือทางนิวเคลียร์และยังช่วยเหลือ สนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำการทดสอบระบบจนทำให้การทดสอบของระบบสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ผู้ซึ่งให้คำปรึกษา แนะนำ เปิดโลกทรรศน์แก่ผู้จัดทำ และเป็นผู้เปิดโอกาสให้ผู้จัดทำได้เข้ามาศึกษาและทำโครงการพิเศษกับทางสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

ขอขอบคุณพี่ๆ ณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ทุกท่านที่เสียสละเวลาในการอบรมให้ความรู้ต่างๆเกี่ยวกับการทำงานด้านรังสีที่ถูกต้องและปลอดภัยและต้อนรับผู้จัดทำอย่างอบอุ่นเปรียบเสมือนสถานที่แห่งนี้คือบ้านหลังที่สอง ทำให้การทำงานและศึกษาหาความรู้เป็นไปอย่างมีความสุข

ขอขอบคุณ พี่น้องสาขาฟิสิกส์ทุกๆคนที่คอยให้คำปรึกษาช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย น้องชาย พี่สาว น้องสาว และบุคคลในครอบครัวทุกคนของข้าพเจ้า ตลอดจนเพื่อนสนิทของข้าพเจ้า ที่คอยเป็นกำลังใจ แรงแปลกดัน ให้ข้าพเจ้าทำงานโครงการพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

นางสาวศุภกิติ์ เจิมศรี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ไอโซตอปรังสี	4
2.2.1 การผลิตไอโซตอป 131	6
2.2.2 การสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี (Radioactive decay)	6
2.2.3 ผลจากการได้รับรังสี	7
2.2.4 การป้องกันและการรักษา	9
2.2.5 ปริมาณสารกัมมันตรังสีไอโซตอป 131 ที่ปลอดภัย	9
2.3 อันตรกิริยาของรังสีต่อสสาร	10
2.3.1 อันตรกิริยาของอนุภาคมีประจุ	10
2.3.2 อันตรกิริยาของอนุภาคไม่มีประจุ	12
2.4 หัววัดและการตรวจวัดทางรังสี (Radiation detection and measurement)	15
2.4.1 หัววัดรังสี (Radiation detection)	16
2.4.2 หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบของเหลว (Liquid Scintillation Detector)	17
2.4.3 หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบของแข็ง (Crystal Scintillation Detector)	19
2.4.4 Preamplifier	20
2.4.5 Amplifier	21
2.4.6 Discriminator	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.7 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer)	22
2.4.8 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer)	23
2.4.9 หน่วยแสดงผล	24
2.5 Histogram graph	27
2.6 Energy calibration	30
2.7 Arduino	31
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>32</b>
3.1 การออกแบบอัลกอริทึมการทำงานของระบบ	32
3.2 การออกแบบหน้าจอแสดงผลด้วย Lcd และ keypad	36
3.3 การศึกษาวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider)	39
3.4 การทำ Peak detection	40
3.5 การทำ Region of interest	42
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	<b>43</b>
4.1 การทดสอบความสามารถในการทำ peak detection ด้วยสัญญาณคลื่นรูปไซน์	43
4.2 การทดสอบความแม่นยำในการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟในช่วงที่สนใจ	47
4.3 การทำ Energy calibration	51
4.4 การทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียง	56
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>59</b>
5.1 สรุปผลการทดลองจากการทดสอบการทำงานของระบบ	59
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	60
5.3 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก	64
ภาคผนวก ข	74
ภาคผนวก ข	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไอโอดีน-131 เกิดจากเทลลูเรียม-130 และสลายตัวเป็นซีนอน-131	5
2.2 ผังการสลายตัวของไอโอดีน-131	7
2.3 ปริมาณรังสีที่ได้รับที่ต่อมไทรอยด์ของประชากรของสหรัฐอเมริกา	8
2.4 โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ผลิตโดยองค์การเภสัชกรรม	9
2.5 แสดงการเกิดรังสีเบรมสตราลุง	12
2.6 การเกิดปฏิกิริยาหลายช่อง	12
2.7 Photoelectric effect	13
2.8 แสดงการกระเจิงแบบคอมป์ตัน	13
2.9 แสดงปรากฏการณ์การผลิตคู่	14
2.10 แสดงการเกิดการผลิตคู่	15
2.11 แสดงการเกิดการประลัยคู่	15
2.12 แสดงไดอะแกรมของระบบนับวัดรังสี	16
2.13 แสดงระดับพลังงานระหว่าง valence band กับ conduction band	17
2.14 ระดับพลังงานของผลึกเรืองแสง	17
2.15 การนับวัดโดยใช้ liquid scintillation	18
2.16 การผสมสารกัมมันตรังสีลงใน scintillation cocktail	18
2.17 รังสีที่ปล่อยออกมาทำให้ solvent	19
2.18 การนับวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่อง scintillation counting system	19
2.19 ตัวอย่างหัววัดรังสีชนิดเปล่งแสง NaI(Tl)	20
2.20 รูปสัญญาณการทำงานของ preamplifier	20
2.21 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก preamplifier	21
2.22 ตัวอย่าง amplifier และ high voltage	22
2.23 อินพุตและเอาต์พุตของเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว	23
2.24 ภาพแสดงหลักการทำงานของ multichannel analyzer (MCA)	24
2.25 เครื่อง multichannel analyzer	24
2.26 Energy spectrum ที่ได้จากหัววัดในอุดมคติ	25
2.27 Energy spectrum ของ $^{137}\text{Cs}$	26
2.28 การหาค่า energy resolution จาก Full-Width-at-Half-Maximum	26
2.29 Histogram ที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 Histogram Plot	29
2.31 Histogram ระหว่างเครื่องจักร 2 เครื่อง	29
2.32 การกำหนดสเปกตรัมของไอโอดีน	30
2.33 สเปกตรัมของไอโอดีน 131	31
2.34 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ Arduino	32
3.1 แผนผังการทำงานของระบบตรวจสอบไอโอดีน	34
3.2 แผนผังการทำงานของระบบตรวจสอบไอโอดีน (ต่อ)	35
3.3 โครงสร้างของแบบจำลองระบบนับวัดไอโอดีนรังสี	36
3.4 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แปคหน้าที่ 1-2	36
3.5 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แปคหน้าที่ 3-4	37
3.6 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แปคหน้าที่ 5-6	37
3.7 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แปคหน้าที่ 7-8	38
3.8 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แปคหน้าที่ 9-10	39
3.9 วงจรแบ่งแรงดัน	40
3.10 Unity gain positive peak detector	41
3.11 แสดงสัญญาณ input และ output จากวงจร Unity gain positive peak detector	41
3.12 แสดงสเปกตรัมของสารรังสีตัวอย่าง (unknown) ชนิดหนึ่ง	42
4.1 การต่อ Peak identifier (IC PDK01) เข้ากับ Sine wave generator	44
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Channel bins และ count / 20 s	46
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการทดลองและจาก Sine wave generator	46
4.4 การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ	49
4.5 ภาพการจัดอุปกรณ์ในการทดลองจริง	49
4.6 กราฟสเปกตรัมของ Cs-137	50
4.7 กราฟสเปกตรัมของ Cd-109	52
4.8 กราฟสเปกตรัมของ Cs -137	53
4.9 กราฟสเปกตรัมของ Co-60	54
4.10 Energy calibration	54
4.11 กราฟสเปกตรัมของ Ba-133	57
6.1 อุปกรณ์เฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี	75
6.2 หน้าจอการกำหนดช่วงพลังงาน (Region of interest)	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.3 การเลือก Upper	77
6.4 การเลือก Upper และ Lower	78
6.5 แสดงค่าน้ำวัดในทุกๆ 1 นาที	78
6.6 แสดงสถานะฉุกฉิน	78
6.7 เปรียบเทียบสถานะฉุกฉินและสถานะปกติ	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ขั้นตอนวิจัยและการดำเนินงาน	2
2.1 คุณสมบัติของไอโอดีน 131	6
2.2 ปริมาณจำกัดของการได้รับสารกัมตรังสีไอโอดีน 131	10
2.3 แสดงความถี่ของข้อมูล	28
4.1 ค่าเปรียบเทียบระหว่าง Channel bin ที่ A/D ของ Arduino	45
4.2 บันทึกผลการทดลองตอนที่ 1	45
4.3 การทดลองหาความแม่นยำในการหาค่าพื้นที่ใต้กราฟ	50
4.4 การหา Channel bins ของสารรังสี	52
4.5 การทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีที่มีพลังงานใกล้เคียง	57
6.1 การรับคำสั่งด้วย keypad	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ตั้งแต่การกำเนิดโลกนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบว่า กัมมันตภาพรังสีเป็นส่วนหนึ่งของโลกและอยู่คู่กับโลกตลอดมา โดยสามารถกล่าวได้ว่าวัตถุที่มีกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีอยู่ทั้งที่เปลือกโลก พื้นดิน กำแพง อาหาร ยารักษาโรค หรือแม้กระทั่งอากาศที่เราใช้ในการหายใจก็มีก๊าซกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติประกอบอยู่ด้วย ไม่เพียงแค่นั้น อวัยวะ กระดูก เนื้อเยื่อ และร่างกายของมนุษย์เราเอง ก็ล้วนมีกัมมภาพรังสีตามธรรมชาติประกอบอยู่ด้วยกันทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม กัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติที่กล่าวมาข้างต้นนั้นไม่มีอันตรายต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่สิ่งที่น่ากลัวคือ กัมมันตภาพรังสีที่ได้จากผลพลอยได้ทางนิวเคลียร์หรือที่เรียกว่า การกระตุ้นให้เกิดเป็นไอโซโทปของธาตุที่ไม่เสถียร กัมมันตภาพรังสีที่ได้จากไอโซโทปรังสีดังกล่าวจะมีความรุนแรงและอัตราการสลายตัวของรังสีต่างกันออกไป มีทั้งที่มีความอันตรายสูงที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตโดยตรงหรือหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมก็สามารถนำมาเป็นยารักษาโรคได้ อย่างไรก็ตามในการรับมือกับความอันตรายของรังสีที่แตกต่างกันออกไปนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของรังสีแต่ละชนิด ที่ซึ่งหากจำแนกประเภทรังสีออกโดยการแสดงตัวด้วยประจุ พบว่าจะสามารถแบ่งประเภทของรังสีเป็น 2 ประเภทคือ กลุ่มที่เป็นอนุภาคมีประจุ เช่น รังสีอัลฟา รังสีบีตา เป็นต้น และกลุ่มที่มีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรังสีที่เป็นอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า คือ นิวตรอน อีกด้วย ซึ่งรังสีที่มีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ล้วนแต่มีพลังงานและการทะลุทะลวงสูงมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหากได้รับการสัมผัสโดยตรง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบวัดความรุนแรงของรังสีเพื่อเป็นการเตือนถึงความปลอดภัยของการรั่วไหลของรังสีและเพื่อจำแนกชนิดของรังสีไว้เพื่อทำการศึกษาวิจัย

ในการปฏิบัติงานภายในพื้นที่ที่มีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์นั้นผู้ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับไอโซโทปรังสีเข้าสู่ร่างกาย อาทิเช่น ไอโอดีน 131 ที่เป็นผลพลอยได้มาจากปฏิกิริยาฟิชชันในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์และเนื่องจากหากมีการรั่วไหลของเชื้อเพลิงจะทำให้ I-131 ปนเปื้อนอยู่ในบริเวณปฏิบัติงาน ดังนั้นผู้ที่ทำการวิจัยจึงมีโอกาสเสี่ยงที่จะได้รับรังสีผ่านการสูดดม โดยอวัยวะที่ไวต่อการสะสมของไอโอดีน 131 คือ ไทรอยด์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดเป็นเซลล์มะเร็งได้อีกด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจสอบไอโอดีน 131 ที่ฟุ้งกระจายในอากาศหรือที่เรียกว่า Iodine monitor จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่ควรจะมีไว้ในห้องปฏิบัติการทางรังสีหรือแม้กระทั่งเตาปฏิกรณ์เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก

โครงการพิเศษนี้ได้จัดทำขึ้นร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ องค์การมหาชน โดยมีความตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาแนวคิดของระบบนับวัดรังสีแบบเลือกย่านพลังงานวัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเผื่อการรั่วไหลของรังสีไอโอตินในอากาศ โดยการนำ microcontroller ที่มีราคาถูกลงมาประยุกต์ใช้กับงานชิ้นนี้

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาแนวคิดและระบบต้นแบบในการวัดรังสี สำหรับการนับวัดสารกัมมันตรังสีไอโอตินด้วย microcontroller ราคาถูกเพื่อใช้ในการเผื่อการรั่วไหลและฟุ้งกระจายของไอโอตินในอากาศ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีทางนิวเคลียร์พื้นฐาน และโครงสร้าง หลักการทำงานของเครื่องมือวัดนิวเคลียร์
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรม Microcontroller และภาษาซีเพื่อให้เหมาะสมในระบบนับวัดรังสีแบบเลือกช่องพลังงานการนับวัดได้
3. ทำการออกแบบระบบนับวัดรังสีด้วย Microcontroller: Arduino
4. ทำการทดสอบการทำงานของระบบ และศึกษาผลการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้จากการทดลอง
5. สรุปผลการทดลอง

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนวิจัยและดำเนินงาน

ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
		.58	58	58	58	59	59	59	59
1	ค้นคว้า รวบรวมข้อมูล ทฤษฎี ฟิสิกส์นิวเคลียร์พื้นฐานและหา หลักการทำงานของระบบวัดรังสี	★	★	★	★				
2	ศึกษาระเบียบการปฏิบัติงานและ ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ภายในพื้นที่เครื่องปฏิกรณ์ฯ					★	★		
3	ศึกษาระบบและส่วนประกอบของ เครื่องปฏิกรณ์ฯ						★		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย
		.58	58	58	58	59	59	59	59
4	ศึกษาข้อมูลการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino						★		
5	ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review) สำหรับแนวคิดการ พัฒนาระบบนับวัดสำหรับการเฝ้า ระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี						★		
6	ทำการออกแบบระบบนับวัดรังสี แบบวิเคราะห์ช่องเดียวด้วย Microcontroller: Arduino Uno R3						★	★	
7	ออกแบบ algorithm ในการนับวัด							★	
8	จัดทำรายงานการออกแบบ							★	
9	พัฒนาระบบนับวัด เขียนโปรแกรม และทดสอบระบบนับวัด								★
10	สรุปผลการทำงานและจัดทำคู่มือ การใช้งาน								★

หมายเหตุ ★ แผนปฏิบัติงาน ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

★ แผนปฏิบัติงาน ณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวคิดระบบในการออกแบบระบบนับวัดรังสีสำหรับการเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสีภายในพื้นที่กักอากาศ
2. มีความรู้ความเข้าใจการหลักการทำงานการตรวจวัดของเครื่องวัดรังสี
3. สามารถเขียนโปรแกรม Arduino ด้วยภาษาซี เพื่อใช้ในระบบนับวัดรังสีและสามารถถ่ายทอดขั้นตอนการเขียนโปรแกรมอย่างง่ายแก่ผู้ที่สนใจได้
4. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการเขียนโปรแกรม Arduino กับระบบนับวัดรังสีที่ออกแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ไอโอดีน 131 ที่เป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กับทางการแพทย์ ฟิสิกส์สุขภาพ ชีวะวิทยาหรือเคมี และที่สำคัญไอโอดีน 131 ยังเป็นผลพลอยได้มาจากปฏิกิริยาฟิชชันในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์อีกด้วย และเนื่องจากมีการระเหยได้ง่ายภายใต้อุณหภูมิห้อง ดังนั้นผู้ที่ทำการวิจัยจึงมีโอกาสเสี่ยงที่จะได้รับรังสีผ่านการสูดดม โดยอวัยวะที่ไวต่อการสะสมของไอโอดีน 131 คือ ไทรอยด์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดเป็นเซลล์มะเร็งได้อีกด้วย นอกจากนี้หากไอโอดีน 131 มีการเจือปนในอากาศ จะทำให้อากาศเป็นพิษซึ่งมีผลโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจสอบไอโอดีน 131 ที่ฟุ้งกระจายในอากาศหรือที่เรียกว่า Iodine monitor จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่ควรจะมีไว้ในห้องปฏิบัติการทางรังสีหรือแม้กระทั่งเตาปฏิกรณ์เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและเผื่อระงับการรั่วไหลของไอโอดีน 131 โดย Iodine monitor นั้นมีกระบวนการทำงานระบบนับวัดรังสีโดยทั่วไป ดังนั้นการมีความรู้ความเข้าใจในระบบนับวัดรังสีเป็นสิ่งสำคัญ

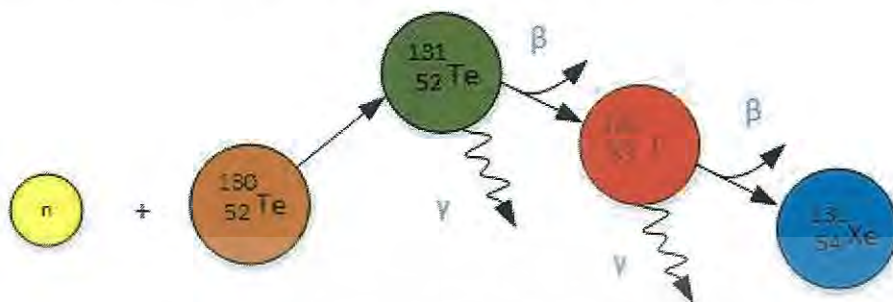
หลักการทั่วไปในการตรวจวัดรังสีนั้นจะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างรังสีกับวัตถุ ผลที่ได้คืออะตอมจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) หรือถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น (Excitation) โดยหัววัดรังสีที่ใช้หลักการการแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ หัววัดแบบแก๊ส (Gas fill detector) ทุกชนิดและหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) โดยหัววัดที่ใช้หลักการกระตุ้น ได้แก่ หัววัดชนิดเรืองแสง (Scintillator) โดยสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์วัดทางรังสีนิวเคลียร์เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากรังสีมีหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติของรังสีที่ต้องการตรวจวัดจึงมีความจำเป็นมากเพื่อสามารถเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม

#### 2.2 ไอโอดีนรังสี

ไอโอดีน-131 ( $^{131}\text{I}$ ) อาจจะเรียกว่า นิวไคลด์รังสี เป็นไอโซโทปรังสีที่สำคัญของไอโอดีน ซึ่งเป็นธาตุที่มีหลายไอโซโทปรังสี ไอโอดีน-131 สลายตัวโดยมีครึ่งชีวิตประมาณ 8 วัน มีการนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์และเป็นไอโซโทปรังสีที่มีอันตรายที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน เนื่องจากเป็นไอโซโทปที่มีผลต่อสุขภาพเมื่อแพร่ไปในอากาศ เช่น การทดลองระเบิดปรมาณูเมื่อปี 1945 นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1950 และอุบัติเหตุที่เชอร์โนบิล รวมทั้งอุบัติเหตุที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะของญี่ปุ่น เนื่องจากไอโอดีน-131 เป็นไอโซโทปหลักอย่างหนึ่งที่เป็นผลผลิตฟิชชันโดยตรงของยูเรเนียมกับพลูโตเนียม และเกิดจากผลผลิตฟิชชันของทอเรียม โดยมีปริมาณเกือบ 3% โดยน้ำหนักของผลผลิตฟิชชันทั้งหมด



รูปที่ 2.1 ไอโอดีน-131 เกิดจากเทลลูเรียม-130 และสลายตัวเป็นซีนอน-131

ไอโอดีน-131 สลายตัวให้รังสีบีตาซึ่งสามารถทำให้เซลล์ตายลงหรือเกิดการกลายพันธุ์ (mutation) ได้ เนื่องจากอนุภาคบีตาจะเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ต่างๆ ได้เป็นระยะทางหลายมิลลิเมตร บางครั้งการได้รับรังสีปริมาณต่ำกว่ากลับมีอันตรายมากกว่าได้รับรังสีปริมาณสูง เช่น เมื่อเข้าไปในต่อมไทรอยด์ รังสีปริมาณสูงจะทำให้เซลล์ของไทรอยด์ตายลงแต่การได้รับรังสีปริมาณต่ำกว่าทำให้เซลล์กลายเป็นมะเร็ง ตัวอย่างเด็กคนหนึ่ง ได้รับไอโอดีน-131 ปริมาณปานกลางเพื่อรักษาเนื้องอกของไทรอยด์กลับพบว่าไทรอยด์เป็นมะเร็งมากขึ้น แต่เมื่อเด็กคนนี้ได้รับรังสีจากไอโอดีน-131 ในปริมาณสูงกลับไม่เป็น ในทำนองเดียวกัน จากการศึกษาการรักษาคอพอก (Graves' disease) ด้วยไอโอดีน-131 ปริมาณสูง ไม่พบว่าเป็นมะเร็งของไทรอยด์เพิ่มขึ้น ทั้งๆ ที่ความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งไทรอยด์แปรผันแบบเชิงเส้นกับการได้รับรังสีจากไอโอดีน-131 ระดับปานกลาง ดังนั้น การปรับเพิ่มไอโอดีน-131 ปริมาณต่ำจึงไม่ให้เกิดผลในการรักษา โดยเฉพาะในเด็กแต่การปรับเพิ่มขึ้นจะใช้ในกรณีที่ใช้กับก้อนเนื้อขนาดใหญ่หรือต้องใช้รังสีปริมาณมากเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของเซลล์

เราสามารถเห็นไอโอดีน-131 ได้ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (nuclear medicine) เช่น การใช้กล้องรังสีแกมมา (gamma cameras) ในการรักษา เนื่องจาก 10% ของรังสีจากไอโอดีน-131 เป็นรังสีแกมมา ขณะที่อีก 90% เป็นรังสีบีตาที่ทำลายเซลล์โดยไม่มีผลต่อการเห็นภาพ ส่วนไอโซโทปอื่นของไอโอดีนจะใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์ (nuclear imaging) เท่านั้น แต่โดยทั่วไปมักจะใช้ไอโอดีน-131 ในงานวินิจฉัย เช่น การถ่ายภาพ เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าไอโซโทปอื่นของไอโอดีน การถ่ายภาพรังสีทางการแพทย์ (medical imaging) ด้วยไอโอดีน-131 ใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่มีผลที่จะทำให้มีโอกาสเป็นมะเร็งสูงขึ้นและการที่ไอโอดีน-131 มีราคาไม่สูง เนื่องจากการผลิตทำได้ง่ายกว่าโดยการยิงด้วยธาตุเทลลูเรียม (tellurium) ด้วยนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แล้วแยกไอโอดีน-131 ออกมา ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การให้ความร้อนเพื่อให้ไอโอดีนระเหย แต่ไอโซโทปอื่นของไอโอดีนมักจะต้องใช้เทคนิคที่มีต้นทุนสูงกว่ามาก โดยเริ่มต้นจากการนำก๊าซซีนอน (Xenon) บรรจุในหลอดความดันไปฉายรังสีจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไอโอดีน-131 ที่ใช้ในการรักษาทางการแพทย์สูงกว่าปริมาณไอโอดีน-131 ที่ทำให้มีโอกาเป็นมะเร็งของต่อมไทรอยด์สูงขึ้นมาก เช่น ในกรณีที่ได้รับจากการปนเปื้อนเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ ทำให้เนื้อเยื่อได้รับความเสียหายจากไอโอดีน-131 ซึ่งมักจะแสดงอาการเมื่อเวลาผ่านไปแล้วเป็นปี ซึ่งไอโอดีน-131 ได้สลายตัวหมดไปแล้ว

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไอโอดีน 131

Iodine-131	
สัญลักษณ์	$^{131}_{53}\text{I}$
จำนวนนิวตรอน	78
จำนวนโปรตอน	53
ครึ่งชีวิต	8.0197 วัน
มวลของไอโซโทป	130.9061246(12) u
พลังงาน	364 keV

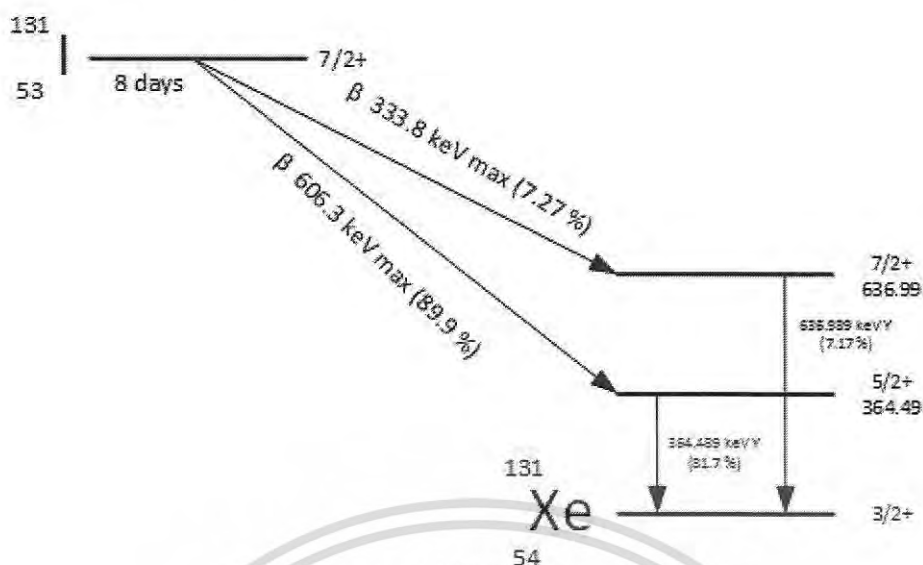
### 2.2.1 การผลิตไอโอดีน 131

ไอโอดีน-131 ส่วนใหญ่ผลิตจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยการอบเทลลูเรียมธรรมชาติด้วยนิวตรอน (neutron-irradiation) ซึ่งเกือบทั้งหมดจะได้ไอโอดีน-131 ที่เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีครึ่งชีวิตมากกว่าชั่วโมง ส่วนไอโซโทปที่เบากว่าของเทลลูเรียมจะกลายเป็นไอโซโทปที่หนักมากขึ้นและมีสถานะเสถียรหรือกลายเป็นไอโซโทปเสถียรของไอโอดีนและซีซอนิวไคลด์เทลลูเรียมธรรมชาติที่หนักที่สุด ได้แก่ Te-130 (มีสัดส่วน 30%) เมื่อได้รับนิวตรอนจะกลายเป็นเทลลูเรียม-131 มีครึ่งชีวิต 25 นาที และสลายตัวเป็นไอโอดีน-131

สารประกอบเทลลูเรียมที่อบนิวตรอน จะอยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ เมื่อผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange column) จะแยกไอโอดีน-131 ออกมา จากนั้นจึงชะเพื่อแยกออกมาด้วยสารละลายอัลคาไลน์ (alkaline solution) อีกวิธีหนึ่งเป็นการอบนิวตรอนผงเทลลูเรียมแล้วแยกไอโอดีน-131 ออกมาโดยการกลั่นแบบแห้ง (dry distillation) ด้วยการใช้ความดันไอต่ำ จากนั้นจึงละลายไอโอดีนในสารละลายอัลคาไลน์ตามวิธีมาตรฐานซึ่งจะได้ไอโอดีน-131 ในรูปของไอโอดีน (iodide) และไฮโปไอโอเดท (hypo iodate) ที่จะรีดิวซ์เป็นไอโอไดด์อีกครั้ง

### 2.2.2 การสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี (Radioactive decay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ผังการสลายตัวของไอโอดีน-131

นิวไคลด์กัมมันตรังสีของไอโอดีน-131 มี 78 นิวตรอนในนิวเคลียส ขณะที่นิวไคลด์เสถียรของไอโอดีน-127 มี 74 นิวตรอน ไอโอดีน-131 มีครึ่งชีวิต 8 วัน โดยการสลายตัวจะให้รังสีแกมมาต่อจากรังสีบีต้า แล้วกลายเป็นไอโซโทปเสถียรของซีนอน-131 ( $^{131}\text{Xe}$ )

การสลายตัวของไอโอดีน-131 ส่วนใหญ่จะให้รังสีบีต้าพลังงาน 606 keV (89%) และรังสีแกมมาพลังงาน 364 keV (81%) ส่วนที่เหลือเป็นรังสีบีต้าพลังงาน 248 – 807 keV กับรังสีแกมมาพลังงาน 723 keV นอกจากนั้นพลังงานส่วนเหลือจะทำให้เกิดแอนตินิวตริโน (antineutrino) ซึ่งมักเกิดร่วมกับกระบวนการสลายตัวให้รังสีบีต้า อนุภาคบีต้าจากการสลายตัวมีพลังงานสูง จึงสามารถเคลื่อนที่เข้าไปเนื้อเยื่อได้ลึกประมาณ 0.6 - 2 มิลลิเมตร

ไอโอดีน-131 เป็นผลผลิตฟิชชันซึ่งมีประมาณ 2.878% ของการเกิดฟิชชันของยูเรเนียม-235 จึงอาจมีการปลดปล่อยออกมาจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์หรือการเกิดอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ การที่ไอโอดีน-131 มีครึ่งชีวิตสั้นจึงไม่ควรจะตรวจพบในเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใช้แล้ว ซึ่งจะต่างจากไอโอดีน-129 ที่มีครึ่งชีวิตมากกว่าเกือบพันล้านเท่า

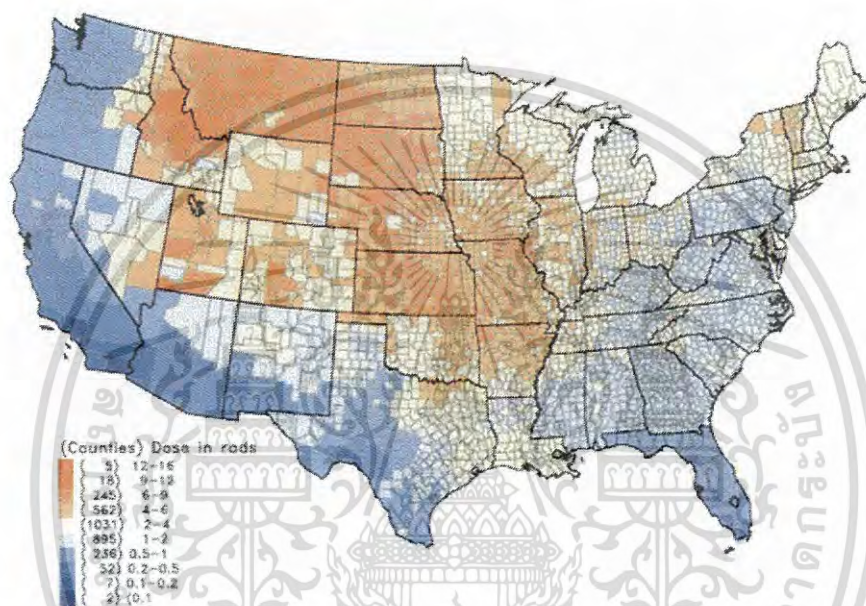
### 2.2.3 ผลจากการได้รับรังสี

ถ้าไอโอดีน-131 ในสิ่งแวดล้อมมีระดับสูงขึ้นจากฝุ่นกัมมันตรังสี (fallout) จะถูกดูดซึมและปนเปื้อนในอาหาร เมื่อร่างกายได้รับจะไปสะสมเพื่อใช้งานที่ต่อมไทรอยด์ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อต่อมไทรอยด์ ถ้าระดับของไอโอดีน-131 มีปริมาณสูง รังสีจากการสลายตัวอาจทำให้เกิดมะเร็งของต่อมไทรอยด์ในภายหลัง หรืออาจทำให้มีอาการไทรอยด์เป็นพิษ (thyroiditis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงเวลาที่ได้รับรังสี คนที่อายุมากกว่าจะมีความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งในภายหลังน้อยกว่า จากผลการศึกษาความเสี่ยงส่วนใหญ่จะเกิดกับเด็กและวัยรุ่น ในกรณีผู้ใหญ่ที่ได้รับรังสี พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มปกติที่ไม่ได้รับรังสี

ความเสี่ยงในการได้รับรังสีจากไอโอดีน-131 สามารถลดลงได้โดยการรับไอโอดีนเข้าไปก่อน เพื่อเพิ่มปริมาณรวมของไอโอดีนในร่างกาย เป็นการลดการรับเข้าและปิดกั้นไอโอดีนที่มีกัมมันตภาพรังสี แต่ในกรณีของอุบัติเหตุที่เชอร์โนบิลนั้น ประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้าไม่ได้ไอโอดีน ขณะที่เด็กประเทศโปแลนด์ได้รับการแจกจ่ายไอโอดีนอย่างทั่วถึง



รูปที่ 2.3 ปริมาณรังสีที่ได้รับที่ต่อมไทรอยด์ของประชากรของสหรัฐอเมริกา จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ที่ศูนย์เนวาดาเมื่อปี 1951-1962

ที่มา : [www.nst.or.th/article/article54/article54-005.html](http://www.nst.or.th/article/article54/article54-005.html)

ในสหรัฐอเมริกา ปริมาณรังสีจากฝุ่นกัมมันตรังสีมีระดับสูงสุดในช่วงทศวรรษ 1950 และช่วงต้นของ 1960 ทำให้เด็กได้รับนมสดที่ปนเปื้อนกัมมันตรังสี จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ สถาบันมะเร็งแห่งชาติของอเมริกา ได้ติดตามข้อมูลของผู้ได้รับผลของรังสีต่อสุขภาพจากไอโอดีน-131 ในฝุ่นกัมมันตรังสี (fallout) สำหรับผู้ที่เกิดก่อนปี 1971 ใน 3070 เมืองของอเมริกาการคำนวณได้ใช้การเก็บข้อมูลของฝุ่นกัมมันตรังสีจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ที่ศูนย์ทดลองเนวาดา (Nevada Test Site)

อุบัติเหตุที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ โรงที่ 1 เมื่อเดือนมีนาคม 2011 ทำให้ระดับของไอโอดีน-131 ในอาหารมีค่าสูงชันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในผักขมและน้ำประปา ระดับรังสีที่สูงชันนี้ตรวจวัดได้ทั้งในบริเวณใกล้เคียงกับโรงไฟฟ้าและในบริเวณที่ห่างไกลออกไป เช่น กรุงโตเกียว จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาใช้เอกสารนี้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่บันทึกที่โรงกรองน้ำของโตเกียว เมื่อวันที่ 27 มีนาคม 2011 ระดับรังสีขึ้นสูงที่ระดับ 190 เบคเคอเรลต่อลิตร หน่วยงานสาธารณสุขของรัฐแมสซาชูเซต (Massachusetts Department of Public Health) รายงานว่าได้ตรวจพบไอโอดีน-131 ในตัวอย่างน้ำฝนที่เก็บที่รัฐ Massachusetts สหรัฐอเมริกาซึ่งคาดว่าอาจจะมาจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิม่า

#### 2.2.4 การป้องกันและการรักษา

วิธีการป้องกันการได้รับไอโอดีน-131 ทำได้โดยการทำให้ปริมาณไอโอดีนในร่างกายอิ่มตัว โดยการรับประทานไอโอดีน-127 ที่ไม่มีกัมมันตภาพรังสีโดยใช้ในรูปของเกลือไอโอดีนเพื่อให้ระดับไอโอดีนในร่างกายอิ่มตัวไม่ควรใช้ธาตุไอโอดีนเดี่ยวๆเนื่องจากเกิดออกซิเดชันได้ง่าย ทำให้มีฤทธิ์กัดกร่อนและเป็นพิษต่อทางเดินอาหาร



รูปที่ 2.4 โปแตสเซียมไอโอดด์ (KI) ผลิตโดยองค์การเภสัชกรรม

ที่มา : [www.nst.or.th/article/article54/article54-005.html](http://www.nst.or.th/article/article54/article54-005.html)

เมื่อต่อมไทรอยด์อิ่มตัวด้วยไอโอดีนไม่มีรังสีแล้วจะดูดกลืนไอโอดีน-131 ได้น้อยมาก จึงเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดอันตรายจากการได้รับไอโอดีนกัมมันตรังสีได้ วิธีการทั่วไปในการป้องกันการรับไอโอดีน-131 คือ การใช้โปแตสเซียมไอโอดด์ (potassium iodide) ในผู้ที่มีความเสี่ยงปริมาณที่ใช้ในผู้ใหญ่ คือ ให้รับประทานโปแตสเซียมไอโอดด์ 130 มิลลิกรัมต่อวันหรือแบ่งเป็นรับประทาน 65 มิลลิกรัม วันละ 2 ครั้ง เทียบเท่ากับได้รับไอโอดีน 100 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็น 700 เท่าของปริมาณไอโอดีนในอาหารปกติที่จะได้รับ 0.15 มิลลิกรัมต่อวัน (150 ไมโครกรัมต่อวัน)

#### 2.2.5 ปริมาณสารกัมมันตรังสีไอโอดีน 131 ที่ปลอดภัย

ปริมาณอ้างอิงจาก Radiation Protection 97 หนังสือโดย European commission เพื่อใช้ในการกำหนดความปลอดภัยของการได้รับสารกัมมันตรังสีไอโอดีนนั้นจะสามารถแบ่งออกได้ใน 2 ประเภทบุคคล คือ ผู้ที่ได้รับการรักษาด้วยสารกัมมันตรังสีไอโอดีนและบุคคลทั่วไปที่มีความเกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับกัมตรังสีไอโอไดน์ ทั้งนี้ปริมาณของสารกัมตรังสีไอโอไดน์สำหรับผู้ป่วยนั้นจะได้รับตามการพิจารณาของแพทย์

ตารางที่ 2.2 ปริมาณจำกัดของการได้รับสารกัมตรังสีไอโอไดน์ 131 ของบุคคลที่ใกล้ชิดผู้ป่วยที่ได้รับไอโอไดน์ 131

กลุ่มของบุคคล	ปริมาณจำกัด (mSv)
เด็ก รวมไปถึงเด็กที่ยังไม่คลอด	1
ผู้ใหญ่ที่มีอายุไม่เกิน 60 ปี	3
ผู้ใหญ่อายุ 60 ปีขึ้นไป	15

(ที่มา : Suzanne Frigen. 1998. Radiation Detection 97)

สำหรับบุคคลทั่วไปที่ไม่ได้มีส่วนใกล้ชิดกับรังสีโดยปกติแล้วจะได้รับสารกัมตรังสีไอโอไดน์เฉลี่ยไม่เกิน 1 mSv ต่อปี หรือ 0.3 mSv ก็เป็นปริมาณที่เพียงพอที่สมควรได้รับสารกัมมันตรังสีไอโอไดน์แล้ว

## 2.3 อันตรกิริยาของรังสีต่อสสาร

### 2.3.1 อันตรกิริยาของอนุภาคที่มีประจุ

#### 1) การแตกตัวเป็นไอออน (Ionization)

เมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ในตัวกลาง (สสาร) จะสูญเสียพลังงานเป็นส่วนใหญ่ เพราะเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนเนื่องจากแรงคูลอมบ์ ผลทำให้อิเล็กตรอนบางตัวของอะตอมของตัวกลางอาจจะถูกกระตุ้นขึ้นไปอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited State) หรืออาจทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา อะตอมของตัวกลางจะแตกตัวเป็นไอออนบวก - ลบ (Ionized) เป็นการแตกตัวเป็นไอออนโดยตรง (Primary ionization)

#### 2) การแตกตัวเป็นไอออนจำเพาะ (Specific ionization)

โอกาสการเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคที่มีประจุบวกบอกด้วยค่าการแตกตัวเป็นไอออนจำเพาะซึ่งหมายถึงจำนวนคู่ของไอออนที่เกิดต่อหนึ่งหน่วยระยะทางหรืออาจจะบอกเป็นอัตราการสูญเสียพลังงานที่สูญเสียต่อการชนต่อหนึ่งหน่วยระยะทาง ที่เรียกว่า Stopping Power (S) ก็ได้ ค่า Stopping Power จะแปรผันโดยตรงกับค่า  $M$ ,  $Z^2$  และ  $E$  ดังนี้

$$S \propto \frac{MZ^2}{E}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	S	เป็นประจุ ( $z = 1$ สำหรับ e, p, d และ $z = 2$ สำหรับ $\alpha$ )
	M	เป็นมวลของอนุภาคที่เคลื่อนที่
	E	พลังงานของอนุภาคที่เคลื่อนที่

จะเห็นได้ว่าอนุภาคที่มีมวลมาก เช่น ผลผลิตฟิชชันหรืออนุภาคแอลฟาจะมีการสูญเสียพลังงานอย่างมาก เมื่อเกิดการชนกับอิเล็กตรอนเกิดการแตกตัวเป็นไอออนมาก ทำให้เคลื่อนที่ในตัวกลางได้เพียงเล็กน้อย อะตอมหนัก (Z สูง) จะแตกตัวได้ง่ายกว่าอะตอมเบา เนื่องจากอะตอมของธาตุหนักมีวงโคจรของอิเล็กตรอนไกลจากนิวเคลียสจึงมีแรงยึดเหนี่ยวน้อยและหลุดง่าย

### 3) การเกิดรังสีเบรมตราลุง (Bremsstrahlung)

อนุภาคที่มีประจุนอกจากทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนแล้วเมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสอาจจะถูกเบี่ยงเบนและลดความเร็วเนื่องจากผลของสนามไฟฟ้า ยังผลให้มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์ที่เรียกว่า รังสีเบรมตราลุง อัตราการเกิดรังสีเบรมตราลุงจะแปรผันตรงกับค่า  $\frac{z^2 Z^2}{M}$

เมื่อ  $z$  คือประจุของอนุภาคที่มีมวล  $M$  และ  $Z$  คือเลขอะตอมของตัวกลาง ดังนั้นอัตราการเกิดเบรมตราลุงจะมีมากสำหรับอนุภาคที่มีมวลต่ำเมื่อวิ่งเข้าสู่ตัวกลางที่  $Z$  สูง

### 4) การแตกตัวเป็นไอออนแบบทุติยภูมิ (Secondary ionization)

เมื่ออะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออนจะให้อิเล็กตรอนอิสระหรือไอออนลบที่มีพลังงานจลน์สูง สามารถทำให้เกิดอันตรกิริยากับอะตอมอื่นๆ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนต่อไปอีก

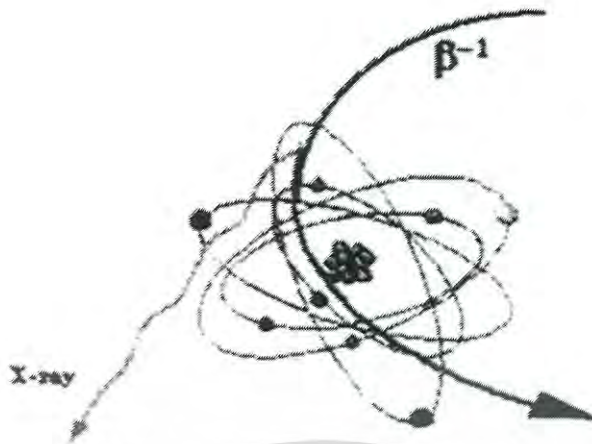
#### ก. อันตรกิริยาจากอนุภาคแอลฟา

เนื่องจากแอลฟามีมวลและประจุมาก เมื่อวิ่งผ่านตัวกลางจะสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่ในการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน โดยดึงอิเล็กตรอนของอะตอมของตัวกลางให้หลุดออกวงโคจรก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนโดยตรง ทำให้ค่าการแตกตัวเป็นไอออนจำเพาะสูงจนพลังงานจลน์หมดสิ้นไป อนุภาคก็จะหยุดการเคลื่อนที่และถูกสสารดูดไว้ในที่สุด ทำให้พิสัยในตัวกลางต่างมีค่าน้อย ไอออนลบหรืออิเล็กตรอนอิสระที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์จะไปทำอันตรกิริยากับอะตอมอื่นๆ ของสารต่อไปอีก ทำให้เกิดการแตกตัวแบบทุติยภูมิเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางในสสารนั้นๆ

#### ข. อันตรกิริยาจากอนุภาคบีตา

อนุภาคบีตามีมวลและประจุน้อยกว่าแอลฟา ในการเคลื่อนที่ของบีตามีความเร็วสูงกว่าแอลฟาที่มีพลังงานเท่ากันความสามารถในการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนจึงน้อยกว่า แต่พิสัยมากกว่าแอลฟา ซึ่งบีตามีพลังงานสูงเกินกว่า 1 MeV การแตกตัวเป็นไอออนจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานของบีตา เนื่องจากบีตามีอนุภาคที่มีประจุและพลังงานสูงจะมีความเร็วใกล้เคียงความเร็วแสง ความเข้มของสนามไฟฟ้าของอนุภาคจึงมีมากกว่าปกติ ก่อให้เกิดการรบกวนสนามไฟฟ้าของอะตอม ตลอดจนทิศทางที่วิ่งผ่าน ผลทำให้เกิดการแตกตัวของอะตอมเป็นไอออนมากขึ้น และอนุภาคที่มีความเร็วสูงเมื่อวิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของธาตุหนักจะถูกบดบังทิศทางและถูกลดความเร็ว เนื่องจากผลของสนามไฟฟ้าพร้อมปล่อยพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์ ที่เรียกว่ารังสีเบรมตราลุง (Bremsstrahlung radiation) ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

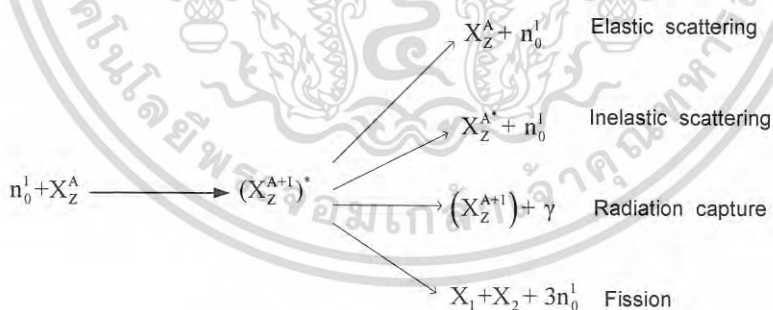


รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดรังสีเบรมสตราลุง

### 2.3.2 อันตรกิริยาของอนุภาคที่ไม่มีประจุ

#### 1) อันตรกิริยาจากอนุภาคนิวตรอน

เนื่องจากนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุจึงไม่สามารถทำให้ตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้โดยตรง อันตรกิริยาของนิวตรอนต่อตัวกลางทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนทางอ้อม โดยนิวตรอนจะถ่ายเทพลังงานให้นิวเคลียสของธาตุตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ยังผลทำให้เกิดอนุภาคที่มีประจุขึ้น หรือได้ผลผลิตที่เป็นสารรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคที่มีประจุ ซึ่งอนุภาคที่มีประจุที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์เหล่านี้ จะทำให้ตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นไอออนต่อไป อนุภาคนิวตรอนเป็นตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้หลายอย่าง ซึ่งพอจะรวบรวมได้ดังนี้



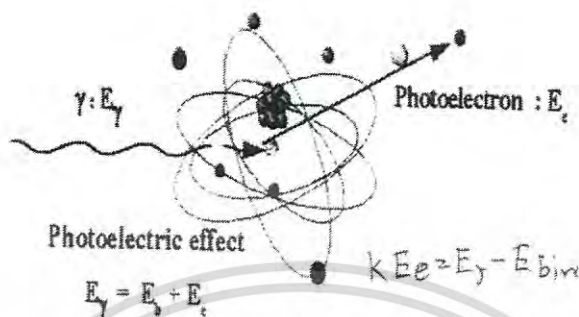
รูปที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยาหลายช่อง

#### 2) อันตรกิริยาจากรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์

การสูญเสียพลังงานของรังสีแกมมา เมื่อผ่านสารจะไม่เหมือนอนุภาคที่มีประจุเพราะอนุภาคที่มีประจุมักจะสูญเสียพลังงานไปเนื่องจากอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนของอะตอม แต่รังสีแกมมาอาจจะทะลุตัวกลางไปไกลโดยไม่มีปฏิกิริยาและไม่สูญเสียพลังงานก็ได้ และเมื่อใดก็ตามที่เกิดการประทะกับอิเล็กตรอนในอะตอมก็อาจจะสูญเสียไปหมด และถูกจับไว้หรืออาจสูญเสียพลังงานไปบางส่วน และหักเหออกมาด้วยความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเดิม จะได้เห็นว่ารังสีแกมมาไม่ได้มี specific range แน่นอนเหมือนอนุภาคที่มีประจุ อันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อสารจะเกิดปรากฏการณ์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญได้ 3 ปรากฏการณ์ คือ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ปรากฏการณ์การกระเจิงคอมป์ตัน และ ปรากฏการณ์การผลิตคู่

ก. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)

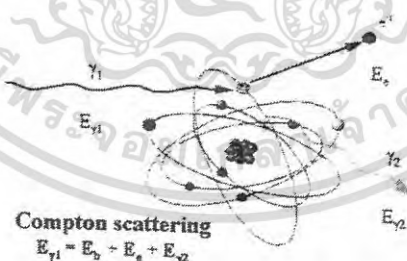


รูปที่ 2.7 Photoelectric effect

เกิดเมื่อรังสีแกมมาชนโดยตรงกับอะตอมของตัวกลางและถ่ายเทพลังงานทั้งหมด ( $E_\gamma$ ) ให้กับอิเล็กตรอนในวงโคจรและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอน(Photo-electron) ด้วยพลังงานจลน์  $E_e$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $E_\gamma - E_b$  เมื่อ  $E_b$  คือพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน

ข. ปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)

เมื่อรังสีแกมมาชนกับอะตอมของตัวกลางและถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้อิเล็กตรอน กระบวนการนี้เรียกว่า “การกระเจิงแบบคอมป์ตัน” อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์ เท่ากับผลต่างของรังสีแกมมาที่เข้ามา และพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 2.7

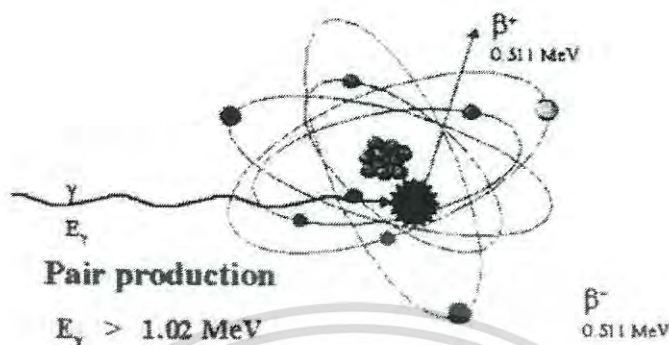


รูปที่ 2.8 แสดงการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

ค. ปรากฏการณ์การผลิตคู่ (Pair production)

รังสีแกมมาพลังงานสูงๆ อาจจะถูกดูดกลืนเมื่อทำปฏิกิริยากับ Coulombic field ของนิวเคลียสแล้วทำให้อิเล็กตรอนและโพสิตรอนเกิดขึ้น เรียกว่า “การผลิตคู่” ปฏิกิริยานี้เป็นตัวอย่างการเปลี่ยนพลังงานเป็นมวลดังรูปที่ 2.12 ดังนั้นพลังงานของรังสีแกมมาจะต้องมีอย่างน้อยเท่ากับสองเท่าของพลังงานมวลนิ่ง(Rest mass) ของอิเล็กตรอน นั่นคือ  $h\nu_{\min} = 2m_0c^2 = 1.022 \text{ MeV}$  ถ้ารังสีแกมมาที่ทำให้เกิดการผลิตคู่ มีค่ามากกว่า 1.02 MeV พลังงานส่วนที่เหลือจะกลายเป็นเอกสาร์นี้เป็นเอกสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานจลน์อิเล็กตรอนและโพซิตรอนที่เกิดขึ้นจะรวมกับอิเล็กตรอน แล้วทำให้เกิดการประลัยคู่ (Annihilation radiation) คือให้โฟตอนออกมา 2-3 ตัว ซึ่งมีพลังงานเท่ากันตัวละ 0.511 MeV เคลื่อนที่ไปในทิศตรงข้ามกัน



รูปที่ 2.9 แสดงปรากฏการณ์การผลิตคู่

อย่างไรก็ตามการผลิตคู่จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาจะต้องไม่น้อยกว่าสองเท่าของพลังงานมวลหยุดนิ่ง ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นถ้าโฟตอนมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV จะเกิดการผลิตคู่ได้และพลังงานที่เหลือจะเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน  $\beta^-$  และ โพซิตรอน  $\beta^+$  ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสมการได้คือ

$$h\nu = 2m_0c^2 + \beta^- + \beta^+$$

เมื่อโพซิตรอนไปพบกับอิเล็กตรอนจะรวมกันแล้วให้เป็นโฟตอน 2-3 ตัวทันที ซึ่งจะเรียกกระบวนการนี้ว่าการประลัยคู่ (annihilation) สำหรับการรวมของโพซิตรอนอาจจะรวมกับอิเล็กตรอนในขณะที่ยังมีความเร็วอยู่แต่ส่วนใหญ่จะรวมเมื่อหยุดนิ่งหรือหมดความเร็วแล้ว ถ้าโพซิตรอนไปพบกับอิเล็กตรอนจะรวมกันแล้วให้เป็นโฟตอน 2 ตัว ดังรูปที่ 2.14 จะแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ

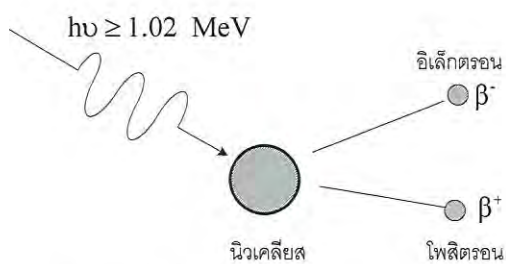
$$e^+ + e^- \rightarrow h\nu_1 + h\nu_2$$

เมื่อ  $h\nu_1 = h\nu_2 = m_0c^2 = 0.511 \text{ MeV}$

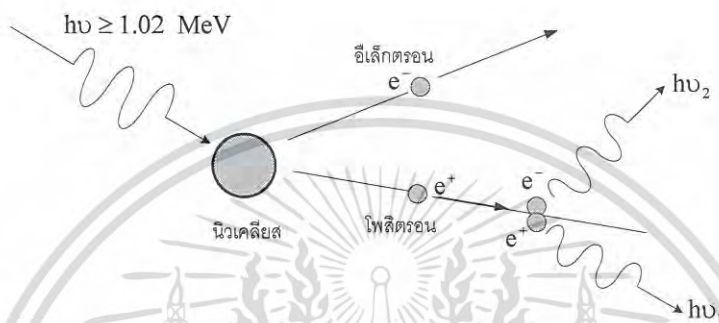
และถ้าโพซิตรอนไปพบกับอิเล็กตรอนจะรวมกันแล้วให้เป็นโฟตอน 3 ตัว จะแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ

$$e^+ + e^- \rightarrow h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3$$

เมื่อ  $h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3 = 1.022 \text{ MeV}$



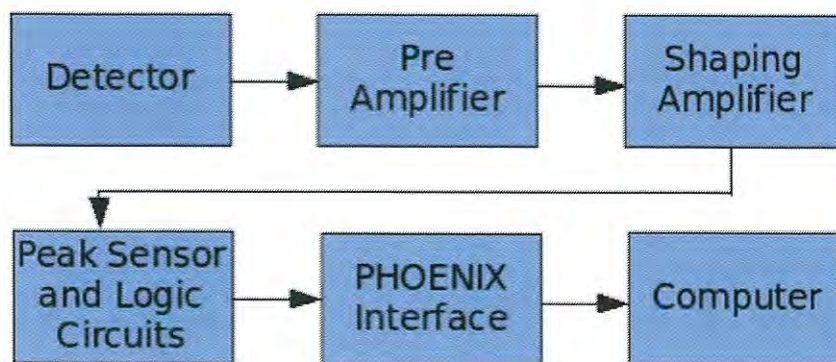
รูปที่ 2.10 แสดงการเกิดการผลิตคู่



รูปที่ 2.11 แสดงการเกิดการประลัยคู่

## 2.4 หัววัดและการตรวจวัดทางรังสี (Radiation detection and measurement)

ในการตรวจวัดหรือติดตามสารกัมมันตรังสีไอโอดีนในอากาศนั้นระบบวัดที่มีสามารถแยกแยะพลังงานของรังสีได้นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากจะสามารถแยกแยะได้แล้วยังต้องสามารถคัดกรองได้ว่าปริมาณหรือความแรงของรังสีที่ได้รับนั้นเป็นสารกัมมันตรังสีของไอโอดีนจริงหรือไม่ ซึ่งระบบนับวัดที่เหมาะสมในการติดตามไอโอดีนนั้นคือ ระบบวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว หรือที่เรียกว่า Single Channel Analysis (SCA) โดยส่วนประกอบหลักของระบบนี้ได้แก่ หัววัด (detector), แหล่งจ่ายแรงดันสูง (High Voltage), ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) และภาคขยายหลัก (Amplifier) อย่างไรก็ตามนอกจากเลือกระบบตรวจวัดที่เหมาะสมแล้วยังต้องดูคุณสมบัติของหัววัดซึ่งเป็นสิ่งสำคัญไม่แพ้ระบบตรวจวัดเพราะหัววัดนั้นเป็นส่วนแรกที่สัมผัสกับรังสีและระบบวัดนั้นจะแยกแยะพลังงานของรังสีได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับหัววัดนั่นเอง



รูปที่ 2.12 แสดงไดอะแกรมของระบบนับวัดรังสี

ที่มา : Ajith Kumar B. P. A Method to improve Experimental Facilities for Teaching Nuclear Physics at the Universities

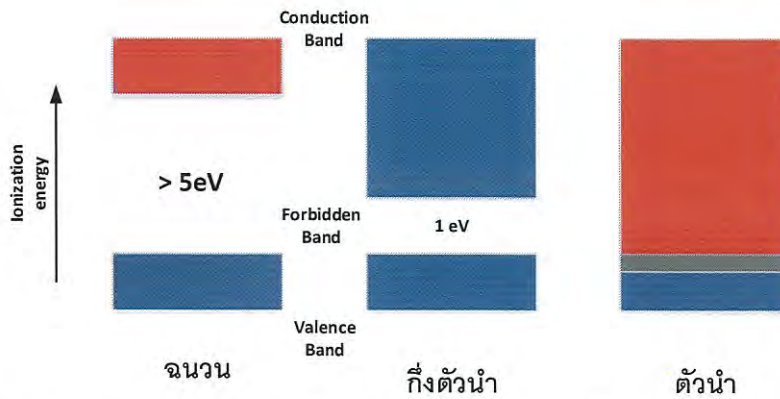
สำหรับอุปกรณ์ติดตามสารกัมมันตรังสีไอโอดีนนั้นโดยส่วนใหญ่มักเลือกใช้หัววัดชนิดเรืองแสง (Scintillation detector) เนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถแยกแยะพลังงานรังสีได้โดยแปรผันตามแสงที่เปล่งออกมาจากหัววัดและราคาที่ถูกกว่าหัววัดชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) จึงทำให้หัววัดชนิดเรืองแสงเป็นที่นิยมในการตรวจจับสารกัมตรังสีไอโอดีน นอกจากนี้หัววัดชนิดเรืองแสงนั้นสามารถตรวจวัดรังสีแกมมาและรังสีเบต้าได้ดีซึ่งยังทำให้หัววัดชนิดเปล่งแสงเหมาะสมกับการตรวจจับไอโอดีน 131 มากขึ้นไปอีก

#### 2.4.1 หัววัดรังสี (Radiation detection)

หัววัดรังสีส่วนมากในทางนิวเคลียร์จะทำงานในรูปของ “pulse mode” คือเมื่อมีรังสีเข้ามาตกกระทบ หัววัดรังสีจะสร้างสัญญาณไฟฟ้าขึ้นตามจำนวนรังสีที่เข้ามาและนำสัญญาณมาวิเคราะห์หาความสูงของสัญญาณ (pulse amplitude) หรือคัดเลือกสัญญาณที่ต้องการโดยตั้ง energy window แคบๆ เพื่อแยกแยะระหว่าง scatter หรือแยกสารกัมมันตรังสีที่ไม่ต้องการออกจากการนับวัด

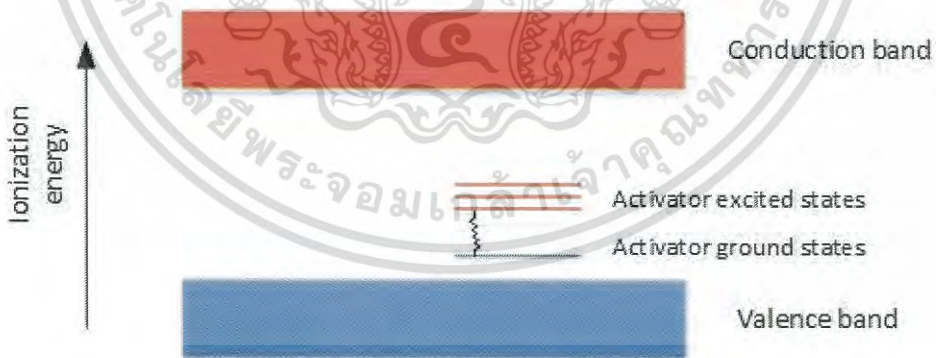
การทำงานของหัววัดชนิดนี้อาศัยคุณสมบัติของผลึกที่เมื่อ ได้รับรังสีจะปล่อยโฟตอนแสง (light photon) ดังรูปที่ 2.12 แสดงระดับพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์ (valence band) กับ แถบการนำ (conduction band) ในสารที่เป็นฉนวน กึ่งตัวนำ และตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงระดับพลังงานระหว่าง valence band กับ conduction band ของสารที่เป็นฉนวน กึ่งตัวนำและตัวนำไฟฟ้า

เมื่อรังสีถูกดูดกลืนไว้ในสารทำให้ อิเล็กตรอนเกิดสภาวะ excitation ขึ้นและเข้าไปอยู่ในช่วง conduction band ทำให้เกิดเป็นช่องว่างที่ valence band ในสารบริสุทธิ์อิเล็กตรอนเมื่อกลับสู่สภาวะปกติจะมาที่ valence band และปล่อยโฟตอนแสงออก มาซึ่งอาจมีความยาวคลื่นไม่ตรงกับความต้องการ ดังนั้นเพื่อให้ได้โฟตอนแสงที่มีความยาวคลื่นตามที่ต้องการจึง ต้องใส่สารปนเปื้อนเข้าไปซึ่ง เรียกว่า activators และ ส่วนมากจะเป็นสารอนินทรีย์ activators จะทำให้เกิดระดับพลังงานในช่วง forbidden gap ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ทำให้เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจะมาที่ forbidden gap และเมื่อกลับสู่สภาวะปกติ ( activator ground state) จะปล่อยโฟตอนแสงออกมา หลักการนี้เป็นพื้นฐานของขบวนการเรืองแสง และสาร เรืองแสงที่นำมาใช้ส่วนมากจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่ากัน และจำนวนโฟตอนแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ในผลึก



รูปที่ 2.14 ระดับพลังงานของผลึกเรืองแสง

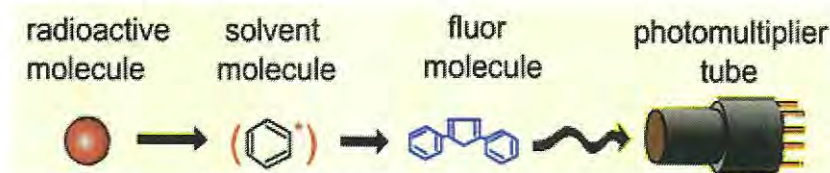
หัววัดรังสีชนิดประกายแสงวาบ สามารถแบ่งประเภทของหัววัดรังสีตามสถานะของ ตัวกลาง เช่น ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อันตรกิริยาในตัวกลางจะทำให้เกิดประกายแสงวาบ แล้วส่งไปยังโฟโตแคโทดของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ในที่นี้จะจัดแบ่งหัววัดที่นิยมใช้ได้เป็น 2 ชนิด คือ หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบของเหลวและหัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบของแข็ง

2.4.2 หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบของเหลว (Liquid Scintillation Detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัววัดรังสีประเภทนี้อาศัยสารเรืองแสงอยู่ในรูปของเหลว เมื่อใส่สารกัมมันตรังสีลงไป จะเกิดเรืองแสงขึ้นและถูกนับวัดโดยมีหลอด photomultiplier (PMT) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ รูปที่ 2.14 หัววัดประเภทนี้จะใช้ในการตรวจ Liquid Scintillation Counting (LSC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วัดรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ เช่น รังสีเบตา เป็นต้น



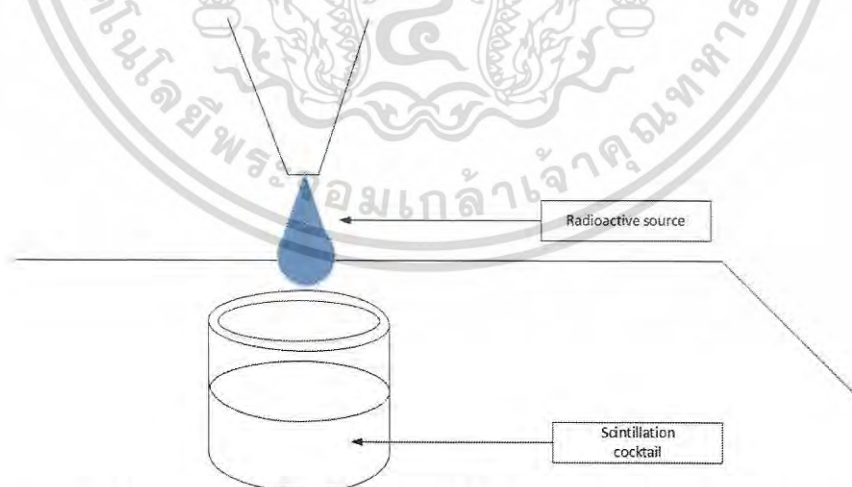
รูปที่ 2.15 การนับวัดโดยใช้ liquid scintillation

ในการตรวจโดยใช้ LSC ต้องอาศัยสารละลายเรืองแสงซึ่งประกอบด้วย สารที่เรียก liquid scintillation cocktail ซึ่งประกอบด้วย solvent และ a fluor (or scintillator) มีหลักการทำงานดังนี้

1. Solvent ที่เป็นสารอินทรีย์เช่น toluene xylene เป็นต้นซึ่ง solvent นี้จะละลายได้ทั้งสารละลายเรืองแสงและสารกัมมันตรังสีที่ใส่เข้าไป โมเลกุลของ solvent เมื่อได้รับรังสีจะถูกกระตุ้นแต่ไม่เกิดการแตกตัว และจะปรับสู่สภาวะปกติโดยจะปล่อยรังสี UV ออกมา
2. Fluor จะถูกกระตุ้นโดยรังสี UV ให้อยู่สภาวะ excitation และปล่อยแสงสีน้ำเงินออกมาเมื่อกลับสู่สภาวะปกติ

หลักการทำงาน

1. สารกัมมันตรังสีถูกใส่ลงใน scintillation cocktail ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.16 การผสมสารกัมมันตรังสีลงใน scintillation cocktail

2. รังสีที่ปล่อยออกมาไปกระตุ้นโมเลกุลของ solvent ให้อยู่ในสภาวะ excitation และพลังงานที่ปล่อยออกจากโมเลกุลของ solvent จะถ่ายเทให้กับ fluor ซึ่งจะเกิดการเรืองแสงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 รังสีที่ปล่อยออกมาทำให้ solvent อยู่ในสถานะ excitation หลังจากถ่ายเทพลังงานให้ flour จะเกิดการเรืองแสงขึ้น

3. หลังจากนั้นนำเอาไปนับวัดปริมาณรังสีในเครื่อง scintillation counting system ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.18 การนับวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่อง scintillation counting system

การนับวัดโดยใช้สารละลายเรืองแสงนี้เหมาะสำหรับการตรวจหารังสีแอลฟาและรังสีบีตาหรือรังสีแกมมาพลังงานต่ำ ซึ่งนิยมใช้ในการตรวจหาสารต่างๆจากเลือดหรือปัสสาวะ เป็นต้น

#### 2.4.3 หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบของแข็ง (Crystal Scintillation Detector)

หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงประเภทของแข็งที่นิยมใช้งานนิวเคลียร์ ได้แก่ ผลึก NaI(Tl) (sodium iodide crystal activated with thallium) BGO (Bismuth Germanate) LSO (Lutetium Oxyorthosilicate) ซึ่งผลึกเรืองแสงที่เหมาะสมที่จะนำมาทำหัววัดรังสีควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. เปลี่ยนพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ในผลึกให้เป็น visible light ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. โฟตอนแสงที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้
3. การเรืองแสงที่เกิดขึ้นควรเกิดระยะเวลาสั้นๆ เพื่อที่จะสามารถวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างหัววัดรังสีชนิดเปล่งแสง NaI(Tl)

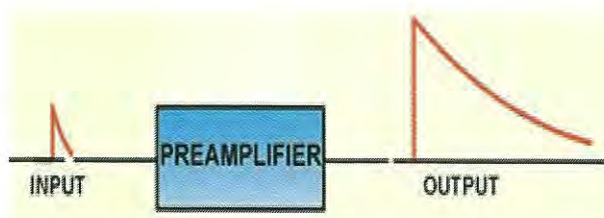
ผลึก NaI บริสุทธิ์จะเรืองแสงในสถานะที่เย็นจัดซึ่งใช้ในโตรเจนเหลวควบคุมอุณหภูมิ ดังนั้นเพื่อให้ผลึก NaI เรืองแสงได้ในอุณหภูมิห้องได้จึงต้องเติมสารปนเปื้อน (impurity) เข้าไปเพื่อไปรบกวนโครงสร้างของผลึกทำให้เกิดการเรืองแสงได้ง่ายสารปนเปื้อนที่นิยมใช้คือ thallium(Tl)

ผลึก NaI(Tl) จะถูกสร้างขึ้นโดยการหลอม NaI และเติม thallium ลงไปเล็กน้อย (0.1-0.4% mole) จากนั้นนำไปอบในเตาภายใต้อุณหภูมิที่กำหนดผลึก NaI(Tl) จะไวในการดูดความชื้นจากอากาศดังนั้นในการนำเอาผลึกมาใช้จึงบรรจุอยู่ในภาชนะอะลูมิเนียมที่ปิดผนึกไม่ให้อากาศเข้าเนื่องจากอะลูมิเนียมจะดูดกลืนรังสีอัลฟาและรังสีเบตาไว้ได้จึงเป็นผลให้หัววัดรังสี NaI(Tl) โดยทั่วไปใช้วัดรังสีแกมมาและบีตาเท่านั้น

#### 2.4.4 Preamplifier

เมื่อรังสีเข้ามาตกกระทบหัววัดรังสีทำให้มีการสร้างสัญญาณไฟฟ้าเกิดขึ้น สัญญาณที่ได้ส่วนมาก จะมีขนาดเล็กและหัววัดรังสีส่วนมากจะมี output impedance ค่อนข้างสูงทำให้จำเป็นต้องหาอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อที่มี impedance ที่สัมพันธ์กันมิฉะนั้นจะเกิดการบิดเบี้ยวของรูปสัญญาณเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของการนับวัดเสียไป ดังรูปที่ 2.19 ดังนั้น preamplifier ที่ต่อกับหัววัดรังสี จึงมีหน้าที่

1. ขยายสัญญาณ (ถ้าจำเป็น) เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากหัววัดรังสีจะเล็กมาก
2. ทำให้ impedance ระหว่างหัววัดรังสีกับ อุปกรณ์ชิ้นอื่นๆ มีความใกล้เคียงกัน
3. ปรับรูปร่างสัญญาณให้เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 2.20 รูปสัญญาณการทำงานของ preamplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

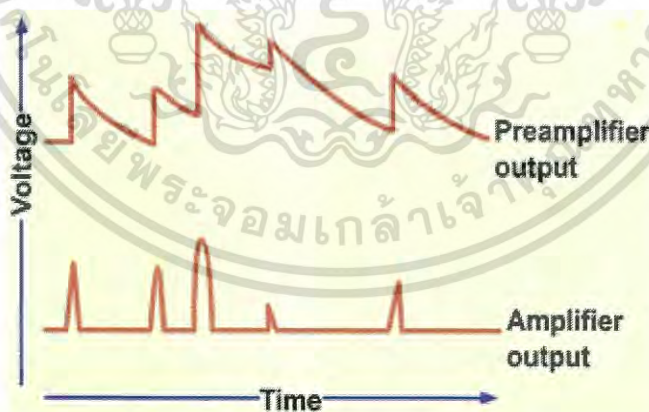
Preamplifier ที่ดีควรทำหน้าที่ขยายสัญญาณโดยความสูงของสัญญาณจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนสัญญาณที่มาจากหัววัดรังสี นั่นคือความสูงของสัญญาณสัมพันธ์โดยตรงกับพลังงานของรังสีที่นับวัดได้นั่นเองเพื่อที่จะให้การขยายสัญญาณได้ผลดีตามที่ต้องการ preamplifier ควรอยู่ใกล้กับหัววัดรังสีมากที่สุดทั้งนี้เพื่อเป็นการทำให้อัตรา ส่วนระหว่างสัญญาณและ noise (signal to noise ratio: S/N) สูงสุด นั่นคือต้องขยายสัญญาณก่อนที่จะมี noise จากสายเคเบิลมารบกวน และถ้าสายเคเบิลยาวมาก จะทำให้เกิด noise รบกวนมากสัญญาณที่ได้จะมีการบิดเบี้ยว ดังนั้นปัจจุบัน preamplifier จึงประกอบรวมเป็นชิ้นเดียวกับหัววัดรังสี สำหรับเครื่องแกมมาคาเมรา หัววัดรังสีและ preamplifier จะอยู่ใกล้กันมากที่สุดเพื่อให้ spatial resolution และ image sharpness ดี

#### 2.4.5 Amplifier

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อจาก preamplifier โดยมีหน้าที่หลักคือ

1. ขยายสัญญาณที่ได้จาก preamplifier ซึ่งยังถือว่าเป็นขนาดเล็ก ให้มีความสูงพอเหมาะสำหรับที่จะส่งไปยังอุปกรณ์ส่วนอื่นเช่น pulse height analyzer เป็นต้น

2. เนื่องจากสัญญาณที่ได้จาก preamplifier จะลดลงอย่างช้าๆ ดังรูปที่ 2.20 ทำให้เกิดมีการซ้อนทับ (pile up) ของสัญญาณในกรณีที่มีสัญญาณถี่มากจากแหล่งกำเนิดรังสีมีค่า high count rate ดังนั้น amplifier จะทำ หน้าที่ปรับเปลี่ยนให้สัญญาณมีรูปร่างแคบลง นั่นคือ เปลี่ยนจากรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม กลายเป็นรูปร่าง แบบ gaussian ทำให้สามารถแยกแต่ละสัญญาณออกจากกันได้ ในการตั้งค่า amplifier จะใช้ค่า gain factor ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีความสูงตามที่ต้องการ โดยความสูงของสัญญาณต้องสัมพันธ์กับพลังงานของรังสีที่ทำการนับวัด



รูปที่ 2.21 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก preamplifier ซึ่งมีช่วงเวลาลดลงของสัญญาณนานเกินไปทำให้เกิดการซ้อนทับของสัญญาณ amplifier จึงช่วยปรับเปลี่ยนสัญญาณมีรูปร่างเหมาะสม สามารถแยกสัญญาณออกจากกันได้ชัดเจน



รูปที่ 2.22 ตัวอย่าง amplifier และ high voltage

#### 2.4.6 ดิสคริมิเนเตอร์ (Discriminator)

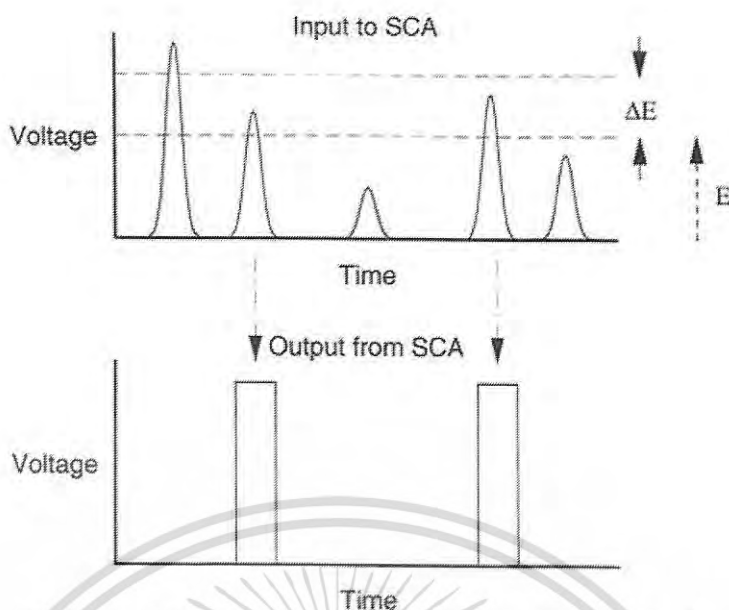
เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ได้ต้องการจากระบบนับ เช่น สัญญาณทางไฟฟ้า (Noise) รือรบกวนจากรังสีพื้นหลังที่มีพลังงานต่ำ หลักการทำงานของดิสคริมิเนเตอร์ใช้วิธีการเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณที่เข้ามากับศักดาไฟฟ้ามาตรฐานหรือระดับดิสทริบิวชัน (Discriminator level) ถ้าสัญญาณไฟฟ้าสูงกว่าระดับที่ตั้งไว้จะเกิดเอาท์พุทแบบลอจิก แต่ถ้าต่ำกว่าจะไม่มีเอาท์พุทเกิดขึ้น

#### 2.4.7 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer หรือ SCA)

เครื่องวิเคราะห์ช่องเดี่ยวประกอบด้วยส่วนสำคัญสองหลักคือ

- Upper Level Discriminator หรือ ULD ในบางครั้งจะแสดงตัวอักษร E
- Lower Level Discriminator หรือ LLD ในบางครั้งจะแทนด้วย  $\Delta E$

วิธีการแยกระดับความสูงของสัญญาณใน SCA อาศัยการเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณกับค่าศักดาไฟฟ้ามาตรฐานที่ถูกจัดเอาไว้ด้วย LLD และ ULD ผลต่างระหว่าง ULD และ LLD เรียกว่าหน้าต่าง (window) ที่จะใช้เลือกช่วงของสัญญาณที่ต้องการวัด ถ้าสัญญาณที่ส่งเข้ามาอินพุทมีความสูงอยู่ระหว่าง LLD และ ULD เครื่อง SCA จะให้ออกมามีลักษณะเป็นสัญญาณลอจิก ดังแสดงไว้ในรูป

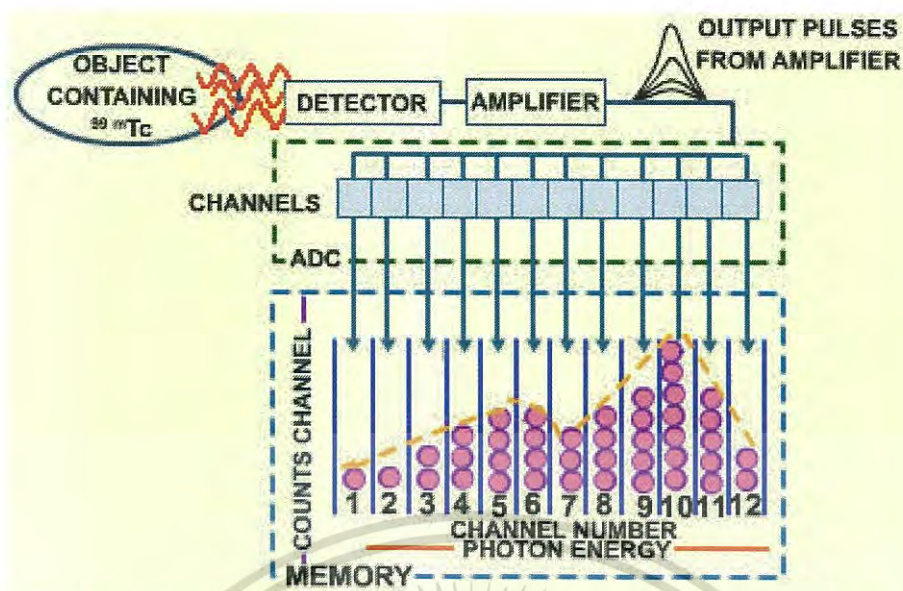


รูปที่ 2.23 อินพุตและเอาต์พุตของเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว

#### 2.4.8 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer)

เมื่อรังสีตกกระทบหัววัดรังสี ความสูงของสัญญาณ (voltage amplitude) ที่ได้จาก amplifier จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของพลังงานที่ถูกดูดกลืนในหัววัดรังสี และจากส่วน amplifier สัญญาณที่ได้ออกมาจะสามารถบอกพลังงานของรังสีได้จากความสูงของสัญญาณ ดังนั้น การคัดเลือกสัญญาณที่จะนับวัดก็คือ ดูจากความสูงของสัญญาณนั่นเอง ซึ่งทำให้แยก background และ scatter ออกจากรังสีที่ต้องการจะวัดค่าได้ เครื่องที่ใช้คัดเลือกสัญญาณนี้เรียก pulse-height analyzer ซึ่งอุปกรณ์ส่วนนี้จะนับวัดเฉพาะ สัญญาณที่ออกจากส่วน amplifier ที่มีความสูงอยู่ใน ช่วงที่กำหนดหรืออยู่ใน “channel” ถ้า PHA นี้ สามารถทำงานวัดสัญญาณได้ที่ละ พลังงานหรือ channel จะเรียกว่า single channel analyzer (SCA) ในขณะที่ PHA ที่สามารถวัดความแตกต่างของความสูงของสัญญาณ หรือวัดได้ครั้งละหลาย channel ในเวลาเดียวกันจะเรียก PHA ชนิดนี้ว่า multichannel analyzer (MCA)

MCA ทำหน้าที่คล้ายกับนำเอา SCA หลายชิ้นมาต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.24 - 2.25 ทำให้เห็นรูปสัญญาณทั้งหมด นั่นคือสามารถเห็น spectrum ของรังสีที่เข้ามาตกกระทบกับหัววัดรังสีได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.24 ภาพแสดงหลักการการทำงานของ multichannel analyzer (MCA)



รูปที่ 2.25 เครื่อง multichannel analyzer

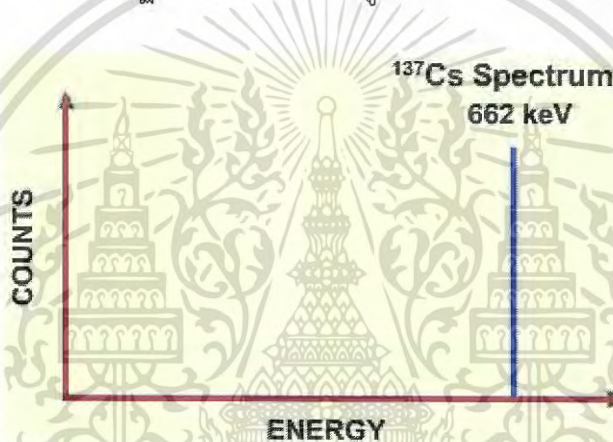
#### 2.4.9 หน่วยแสดงผล

Scaler and Timers สัญญาณที่ผ่านการคัดเลือกจาก SCA จะถูกส่งมาบันทึกค่าเป็นตัวเลขด้วยเครื่อง scaler โดยมี timer เป็นตัวควบคุมเวลาในการนับวัดหรืออาจใช้ Analog ratemeter เป็นเครื่องสำหรับแสดงค่านับวัดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา โดยค่านับวัดที่แสดงบนจอจะแปรตามค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับ High voltage power supplies ทำหน้าที่จ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่หลอด PM เพื่อทำการขยายสัญญาณ ซึ่งส่วน high voltage (HV) จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นกระแสตรง (DC) การเปลี่ยนแปลงของ HV มีผลกระทบต่อความสูงของสัญญาณอย่างมากเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง HV เพียง 1% ทำให้ความสูงของสัญญาณที่ได้จากหลอด PM เปลี่ยนแปลงไป 10% การเปลี่ยนแปลง ของ HV อาจมีผลมาจากอุณหภูมิที่ไม่คงที่ ความ แปรปรวนของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิด ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องนับวัดควรผ่านการปรับกระแสไฟฟ้าให้คงที่มาแล้ว

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าในการคัดเลือกพลังงานของรังสีที่จะนับวัดนั้น PHA จะคัดเลือกจากความสูงของ สัญญาณที่เข้ามาโดยมีปุ่ม discriminator เป็นตัวกำหนดพลังงานที่ต้องการนับวัด ซึ่งความสูงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ สัญญาณจะสอดคล้องกับพลังงานของรังสี ดังนั้นใน การวัดพลังงานจะหมายถึงการหา แลပ်พลังงาน (energy spectrum) ซึ่งจะได้จากรังสีเข้ามาตกกระทบกับหัววัดรังสี

Energy Spectrum จะหมายถึง พลังงานของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ปล่อยออกจาก แหล่งกำเนิดรังสีและเข้ามาทำปฏิกิริยาภายในผลึกเรืองแสง ส่วนใหญ่จะเกิดปฏิกิริยาแบบ photoelectric effect และถูกดูดกลืนไว้ในผลึกจนหมดซึ่งจะเรียกส่วนที่สูงที่สุดใน energy spectrum ว่า photopeak นอกจากนี้ energy spectrum จะประกอบด้วยส่วนที่เกิด จากปฏิกิริยา Compton scattering ที่รังสีถูกดูดกลืน ไว้บางส่วน หรือมีบางส่วนเบี่ยงเบนออกไปและเกิด ปฏิกิริยา photoelectric effect ภายหลัง ในรูปที่ 2.25 จะเป็นกราฟที่สร้างขึ้นโดยแกน X จะเป็นพลังงาน ของรังสีหรือเป็นความสูงของสัญญาณและแกน Y เป็นจำนวนค่านับวัดที่เข้ามาต่อหน่วยเวลา สำหรับ หัววัดรังสีในอุดมคติจะต้องให้ photopeak เป็นเส้นตรงเพียงเส้นเดียวเนื่องจากพลังงานรังสี ถูกดูดกลืนไว้หมดทันทีเมื่อเข้ามาทำปฏิกิริยา) และมีความสูงเท่ากับพลังงานของรังสี



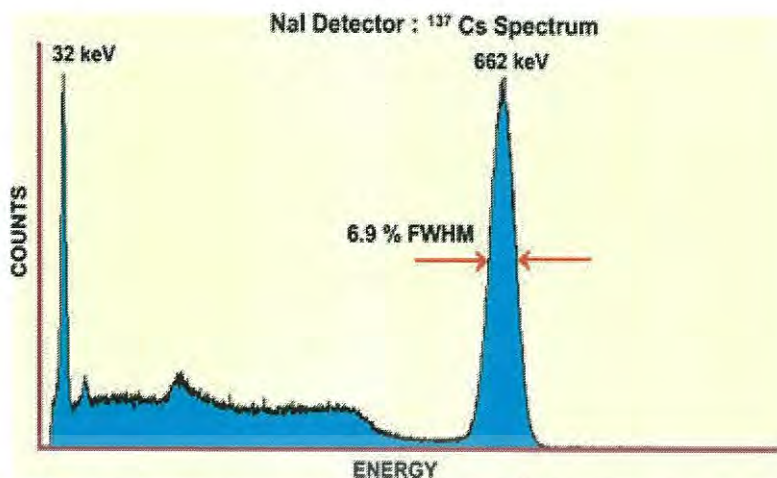
รูปที่ 2.26 Energy spectrum ที่ได้จากหัววัดในอุดมคติโดย photopeak จะเป็นเส้นเดียว Full-Width-at-Half-Maximum (FWHM)

แต่ในความเป็นจริง photopeak จะมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ (gaussian) ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ทั้งนี้ ขึ้นกับ

1. การแปรปรวนของจำนวนโฟตอนแสงที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสี
2. ความแปรปรวนจากจำนวนโฟตอนและที่นับวัดได้ ที่ photocathode ของหลอด PM
3. ความแปรปรวนของจำนวน photoelectron ที่ออกจาก photocathode
4. ความไม่คงที่ของ HV ที่จ่ายให้กับ หลอด PM

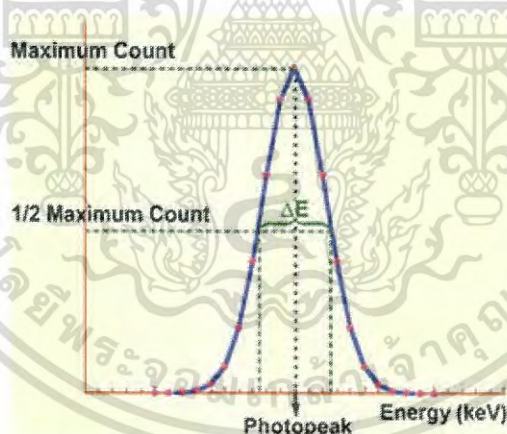
นอกจากนี้ที่บริเวณพลังงานต่ำจะมีการเกิด scattering ในผลึก และหรือ scattered photon ไม่ถูกดูดกลืนในผลึก หรือ โฟตอนดูดกลืนบางส่วนในผลึก (incomplete absorption )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 Energy spectrum ของ  $^{137}\text{Cs}$  ที่ได้จากหัววัด NaI(Tl) จะเห็นได้ว่า photopeak จะมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ

ดังนั้น energy resolution จึงเป็นปัจจัยที่บอกถึงความสามารถของระบบนับวัดในการแยก รายละเอียด ของพลังงานต่างๆออกจากกันได้ โดยแยกตามพลังงานหรือระยะห่างของพลังงาน photopeak ยิ่งกว้างจะบ่งบอกถึงความสามารถในการแยกพลังงานได้ไม่ดี energy resolution สามารถหาได้จากการคำนวณ Full Width at Half Maximum (FWHM) ของ photopeak ดังรูป ที่ 2.26



รูปที่ 2.28 การหาค่า energy resolution จาก Full-Width-at-Half-Maximum (FWHM)  
Energy Resolution

การหา FWHM ทำได้โดยวัดค่านับวัดสูงสุดที่ยอดของ photopeak และอ่านค่าพลังงาน ณ ตำแหน่งนี้ จากนั้นหาตำแหน่งของพลังงานที่มีค่านับวัดเป็นครึ่งหนึ่งของค่านับวัดของ photopeak ซึ่งค่าพลังงานที่ได้จะมี 2 ค่าคือค่าที่อยู่ด้านซ้ายและด้านขวาของ photopeak และจะได้ค่าความแตกต่างของพลังงานที่มีค่านับวัดเป็นครึ่งหนึ่งของค่านับวัด  $\Delta E$  เพราะฉะนั้น คำนวณหาค่า FWHM ได้ดังสมการที่

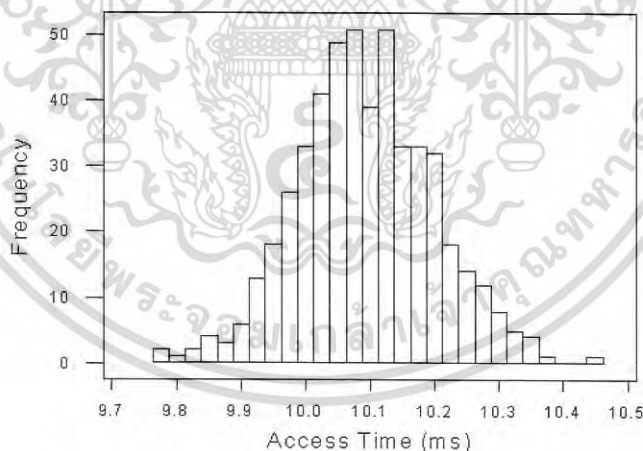
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{Energy resolution (FWHM)} = \frac{\Delta E \text{ at FWHM}}{\text{energy at photopeak}} \times 100 \quad \dots\dots(2.1)$$

ค่า % FWHM ยิ่งน้อยแสดงว่า energy resolution ยิ่งดีขึ้น ส่วนมาก resolution ของหัววัดรังสีชนิด NaI(Tl) จะอ้างอิงกับ Cs-137 ซึ่งโดยทั่วไปจะมี resolution ระหว่าง 6-7% ของ Cs-137 และประมาณ 12-14% ของ  $^{99m}\text{Tc}$  แต่ถ้าหัววัดรังสีที่มีขนาดใหญ่เช่นในเครื่องแกมมาคาเมราในปัจจุบัน energy resolution จะอยู่ประมาณ 10-12% ของ  $^{99m}\text{Tc}$  ซึ่งขึ้นกับเทคนิคการประกอบหลอด PM ติดกับผลึก NaI(Tl) และประสิทธิภาพของหลอด PM ถ้า energy resolution ลดลงมาก อาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับหลอด PM หรือผลึก NaI(Tl) มีรอยร้าวทำให้เกิดการสะท้อนแสงภายใน ดังนั้นถ้าหัววัดรังสีที่มี energy resolution ดีคือ FWHM น้อยจะทำให้สามารถแยกพลังงานออกจากกันได้ นั่นคือสามารถแยก scatter ออกจาก photopeak ได้ ทำให้การนับวัดถูกต้องมากขึ้น เช่นหัววัดรังสีชนิดหนึ่งมี energy resolution ของ  $^{99m}\text{Tc}$  ที่ 6% หมายถึงถ้ามีรังสี สองพลังงานที่ต่างกันน้อยกว่า 6% หัววัดนี้จะแยกไม่ได้ นั่นคือจะวัดได้เป็นรังสีชนิดเดียวกัน หรือใช้แยกรังสีที่เป็น photopeak ออกจาก scatter ที่มีพลังงานต่างกันมากกว่า 6%

## 2.5 Histogram graph

เป็นกราฟที่ใช้แสดงการกระจายของข้อมูล ความถี่ในการเกิดเหตุการณ์ที่เราสนใจ โดยแนวแกน X คือค่าหรือสิ่งที่เราสนใจ โดยจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ ส่วนแกน Y คือความถี่ในการเกิดค่านั้นๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 2.29 Histogram ที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การสร้าง Histogram จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาจำนวนแท่งกราฟที่จะได้โดยประมาณจากสมการ

$$\text{bin} = \sqrt{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $n$  คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยที่ Bin หรือแท่งกราฟ ล่างสุดต้องครอบคลุมค่าต่ำสุด และ แท่งบนสุดจะต้องครอบคลุมค่าสูงสุดได้ด้วย เช่น ถ้ามีข้อมูลทั้งหมด 80 ข้อมูล กราฟที่ได้ควรจะมี จำนวนแท่ง 8 หรือ 9 แท่ง

2. หาว่า ย่านของค่าในหนึ่งแท่งจะเป็นเท่าไร โดยสมการต่อไปนี้ โดยประมาณ

$$\text{Range} = \frac{(\text{max} - \text{min})}{\text{bin}}$$

โดยที่            max คือ            ค่าสูงสุดของข้อมูล  
                      min คือ            ค่าต่ำสุด  
                      bin คือ            จำนวนแท่ง ที่เราหาได้ตามข้อ 1

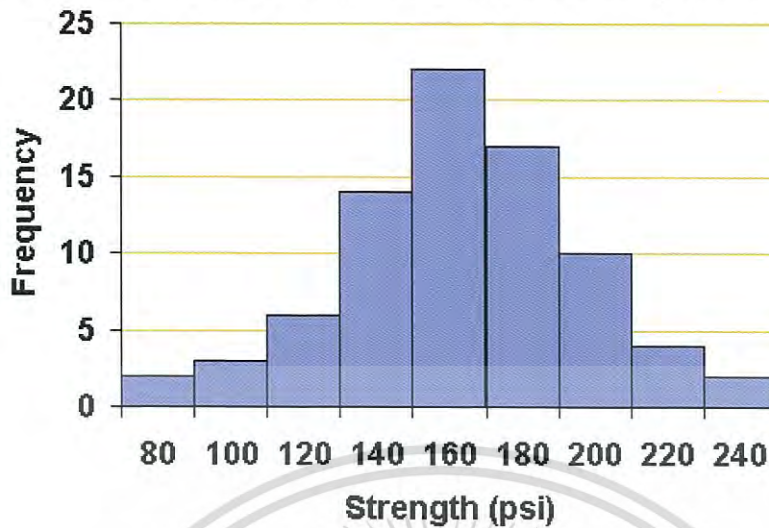
ตัวอย่าง ค่าสูงสุดของข้อมูลคือ 245 ค่าต่ำสุดคือ 76 ผลต่างคือ  $245 - 76 = 169$  หน่วยเรากำหนด ว่ากราฟจะมี 9 แท่ง ดังนั้น  $\text{range} = 169/9 = 18.77$  เราเลือกที่ 20 หน่วย โดยที่ค่าต่ำสุดของแท่ง แรกจะต้องเปลี่ยนมาเป็น 70 และค่าบนสุดของแท่งสุดท้ายจะเป็น 250

3. นับจำนวนข้อมูลที่มีค่าตกอยู่ในแต่ละย่าน ( bin ) โดยสามารถทำเป็นตารางความถี่ได้ดังนี้ ตารางที่ 2.3 แสดงความถี่ของข้อมูล

Range	Tolly	Frequency
70 <--> 89		2
90 <--> 109		3
110 <--> 129		6
130 <--> 149		14
150 <--> 169		22
170 <--> 189		17
190 <--> 209		10
210 <--> 229		4
230 <--> 249		2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

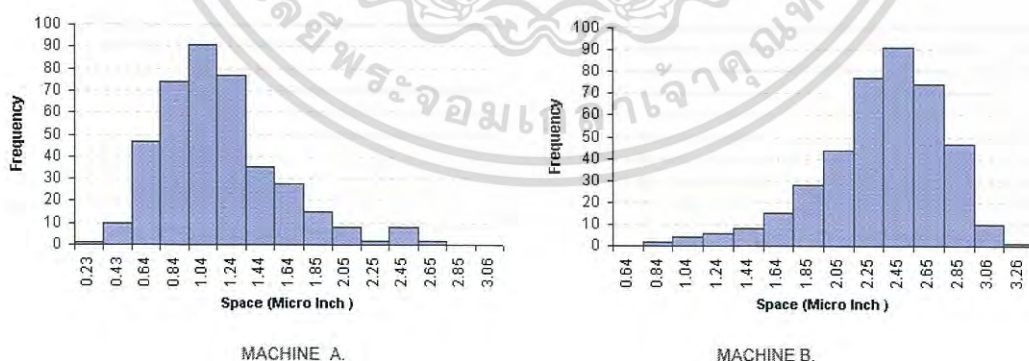
4. นำค่าความถี่ ( Frequency ) ไปทำ Histogram plot จะได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.30 Histogram Plot

โดยที่ในแกน X ค่าที่ปรากฏจะเป็นค่ากลางของแต่ละแท่งกราฟ นั้นเอง แต่สามารถบอกค่าแรกของกลุ่มก็ได้

เมื่อเราใช้ Histogram แสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลก็เป็นไปได้ว่า Histogram จะมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกันเสมอไปขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวของข้อมูลนั้นดังตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นลักษณะของ Histogram ที่อาจจะเป็นไปได้โดยสมมุติว่าข้อมูลที่นำมาทำ Histogram ทั้งสองมาจาก สายการผลิตเดียวกัน เป็นการประกบชิ้นงานสองชิ้นงานเข้าด้วยกันแล้วหาช่องว่างที่เกิดขึ้น จากเครื่องที่ทำหน้าที่ประกบสองเครื่องโดยหน่วยที่ใช้วัดเป็นหนึ่งส่วนล้านนิ้ว (Micro Inch) โดยค่ายังต่ำยิ่งดี



รูปที่ 2.31 Histogram ระหว่างเครื่องจักร 2 เครื่อง

จากรูป Histogram รูปด้านซ้ายมือจะลาดลงไปทางค่าสูงมากกว่าปกติ ซึ่งเรียกว่ากราฟเบ้ขวา ในขณะที่กราฟด้านขวามือจะลาดลงทางค่าต่ำมากกว่าเรียกว่ากราฟเบ้ซ้ายเมื่อเราดู Histogram แล้วก็บอกได้ว่า Process การประกบชิ้นงานของสองเครื่องจักรนี้แตกต่างกันอย่างชัดเจน MACHINE B. จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบว่าเพราะเหตุใดการประกบสองชิ้นงานเข้าด้วยกันจึงเกิดช่องว่างระหว่างชิ้นงานมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 Energy Calibration

อ้างอิงจากการทดลองของ Herman Cember & Wei-Hsung Wang Purdue University, School of Health Sciences, 1338 Civil Engineering Building, West Lafayette, IN 47907-1338, USA พบว่าที่พลังงานของโฟตอนของไอโอดีนเท่ากับ 364 keV จะถูกนำมาเลือกในการ Calibrate โดยความกว้าง (window) ของแต่ละช่องจะขึ้นอยู่กับตัวคัดกรอง หรือ discriminators ซึ่งความกว้างนี้ต้องกว้างพอที่จะให้สัญญาณพลัสที่ได้จากรังสีผ่านเข้าไปได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องไม่มากเกินไปจนทำให้การ Calibrate ไม่แม่นยำ โดยกำหนดให้ความกว้างนี้ประมาณ 5-10% ความสูงของพลังงานทั้งหมดที่ยอมให้ผ่านไปได้ โดยจุดเริ่มต้นของ discriminators เริ่มที่ 354 keV และสิ้นสุดที่ 374 keV โดยกำหนดให้ตรงกลางคือ 364 keV ซึ่งที่ตำแหน่งนี้นั้นได้มาจากการพลังงานของไอโอดีน 131 ที่เลือกใช้ ซึ่งนั่นหมายความว่าเป็นการกำหนด Channel ในการวัดตั้งแต่ 354 – 374 keV เป็นการ Calibrate ด้วยไอโอดีน

Base	Gross	BKG	Net	Base	Gross	BKG	Net
14	18857	25	18832	414	2898	1	2897
34	11537	11	11526	434	1412	1	1411
54	8568	5	8563	454	775	4	771
74	13818	12	13806	474	503	1	502
94	8486	18	8468	494	308	2	306
114	6212	6	6206	514	186	3	183
134	7251	6	7245	534	142	2	140
154	8853	6	8847	554	138	1	137
174	8415	5	8410	574	286	0	286
194	6410	10	6400	594	511	2	509
214	4184	2	4182	614	660	2	658
234	2948	6	2942	634	581	0	581
254	3642	6	3636	654	404	0	404
274	4694	3	4691	674	263	3	260
294	4399	2	4397	694	213	2	211
314	6859	3	6856	714	163	0	163
334	16727	4	16723	734	112	0	112
354	24660	2	24658	754	79	1	78
374	17493	3	17490	774	47	0	47
394	7664	2	7662	794	36	1	35

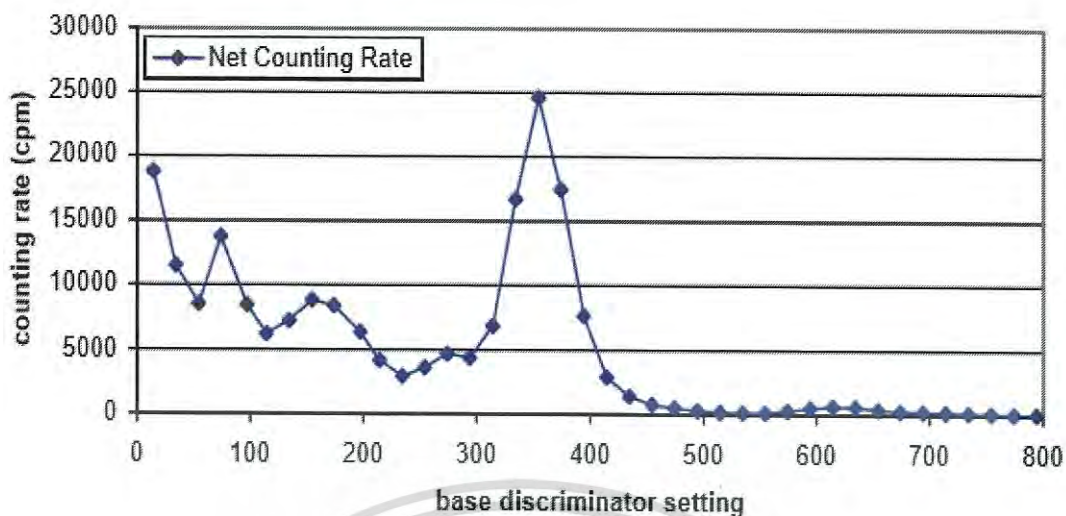
\* Base: base discriminator setting

\*\* All counting rate measurements are in counts per minute

\*\*\* Instrument settings: high voltage = 925 volts; coarse gain = 1K; fine gain = 1.24

รูปที่ 2.32 การกำหนดสเปกตรัมของไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 สเปกตรัมของไอโอดีน 131

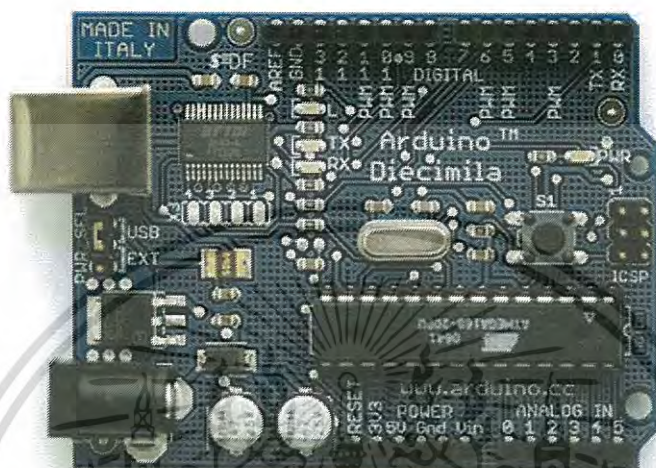
## 2.7 Arduino

Arduino เป็นภาษา อิตาลี ซึ่งใช้เป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Open Source ที่ได้รับการปรับปรุงมาจากโครงการพัฒนา Open Source ของ AVR อีกโครงการหนึ่งที่ชื่อว่า “Wiring” แต่เนื่องจากโครงการของ “Wiring” เลือกใช้ AVR เบอร์ ATmega128 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีจำนวนของหน่วยความจำ และ I/O ค่อนข้างมาก และที่สำคัญ ATmega128 เป็นชิพที่มีตัวถังแบบ SMD จึงทำให้เป็นอุปสรรคสำหรับผู้เริ่มต้นในการสร้างบอร์ดและต่อวงจรขึ้นมาใช้งานกันเอง และบอร์ดจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งอาจดูว่าเกินความจำเป็นสำหรับผู้เริ่มต้น จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร แต่หลังจากที่ทางทีมงาน Arduino นำ Source Code ของ “Wiring” มาพัฒนาปรับปรุงใหม่โดยให้สามารถใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็ก อย่าง Mega8 และ Mega168 ได้ จึงทำให้ระบบวงจรของบอร์ดมีขนาดเล็กลงกว่า “Wiring” มากและยังใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น ทำให้ง่ายต่อการต่อวงจรใช้งานกันเอง และยังประหยัดต้นทุนในการสร้างบอร์ดไปได้มาก ด้วยเหตุนี้เองที่ทำให้ “Arduino” ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานทั่วโลกเป็นอย่างมาก ในระยะเวลาอันรวดเร็ว

Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของ ความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่างๆมาสนับสนุนและการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งถึงแม้ว่า Arduino เองจะมีรูปแบบการใช้งาน คล้ายๆกับกันไมโครคอนโทรลเลอร์อย่าง Basic Stamp ของ Parallax, BX-24 ของ Netmedias และ Handy Board ของ MIT แต่ก็มีจุดเด่นกว่ารายอื่นๆหลายอย่าง เป็นต้นว่า

- ราคาไม่แพง เนื่องจากมี Source code และวงจร แจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้งานได้เอง
- โปรแกรมที่ใช้พัฒนา Arduino รองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OSX

- มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้งานจริงๆที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ และยังสามารถสร้างคำสั่ง และ Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้เองได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้นแล้ว
- มีการเปิดเผยวงจรและ Source code ทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้ตามความต้องการทั้ง Hardware และ Software



รูปที่ 2.34 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ Arduino

ที่มา : [www.myarduino.net/](http://www.myarduino.net/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงาน

การดำเนินงานศึกษาวิจัยเรื่อง งานพัฒนาแนวคิดระบบนับวัดสำหรับการเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสีภายในพื้นที่กักอากาศ โดยระบบจะประกอบไปด้วย หัววัดรังสีแบบสารเรืองแสง แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง ภาคขยายส่วนหน้า ภาคขยายหลัก และชุดประมวลผลและแสดงผล อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาและออกแบบเฉพาะส่วนประมวลผลและแสดงผลเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบนั้นต้องคำนึงถึงสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์เป็นหลัก สัญญาณดังกล่าวที่จะเข้ามาในระบบนั้นเป็นสัญญาณที่ออกมาจากหลังภาคขยายหลักซึ่งมีค่าแรงดันอยู่ที่ 0-10 โวลต์ และความถี่ของสัญญาณที่ค่อนข้างสูงหรือประมาณ 14 ไมโครวินาทีซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแรงของรังสีที่ต้องการวัดด้วยอีกเช่นกัน และรูปสัญญาณดังกล่าวนี้มีลักษณะสัญญาณรูปคลื่น Gaussian ซึ่งหมายความว่าระบบที่ต้องการออกแบบนั้นต้องสามารถหาจุดสูงสุดของรูปคลื่นสัญญาณได้แม้ว่าสัญญาณนั้นจะมีความถี่สูงก็ตาม

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ออกแบบจึงออกแบบระบบโดยคำนึงถึงข้อกำหนดดังกล่าวและสามารถแบ่งการออกแบบหลักๆ ได้ดังนี้ คือ

1. การรับคำสั่งและการแสดงผล
2. การทำ peak detection
3. การทำงานจรแบ่งแรงดัน
4. การประมวลผลและสั่งงานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
5. การกำหนดช่วงพลังงานของรังสีที่สนใจนับวัด (Region of interest)

การออกแบบและการทำงานของงานพัฒนาแนวคิดระบบนับวัดสำหรับการเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสีภายในพื้นที่กักอากาศมี ดังนี้

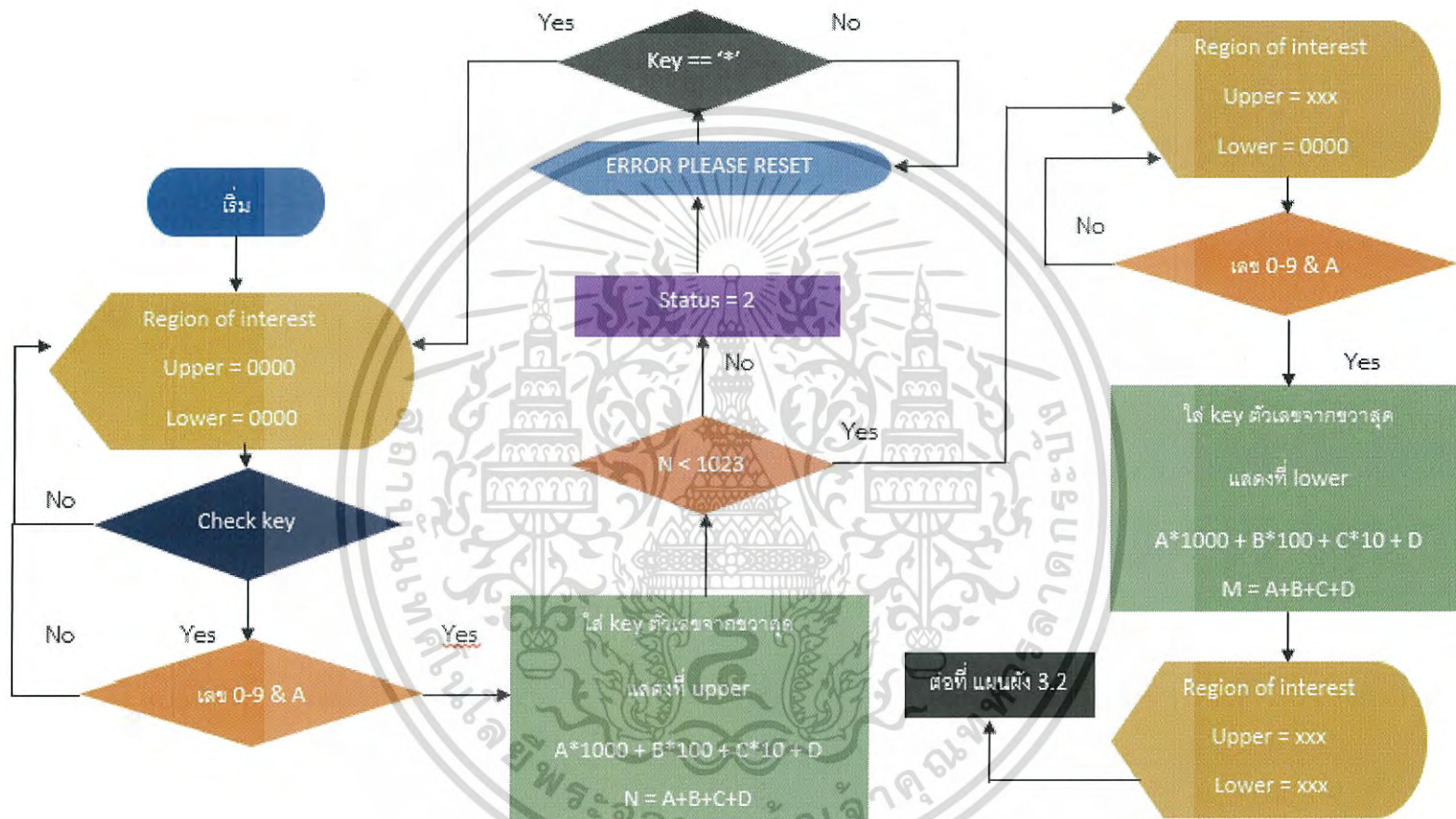
### 3.1 การออกแบบอัลกอริทึม (Algorithm) การทำงานของระบบนับวัดไอโอดีนรังสี

#### อธิบายการทำงาน

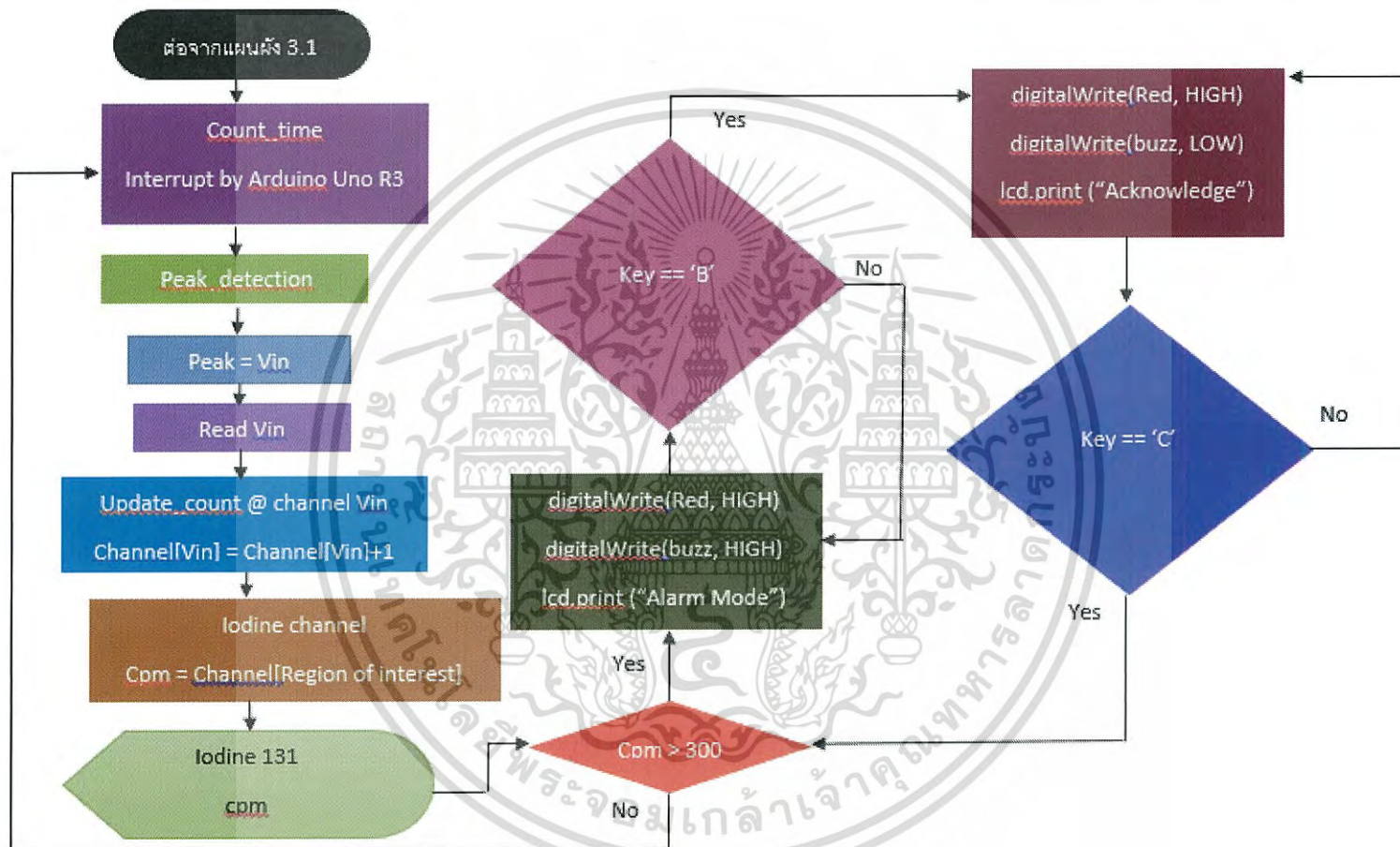
การทำงานของระบบนับวัดรังสีนั้นเริ่มต้นด้วยการใช้ผู้ปฏิบัติงานเลือก Region of interest ซึ่งจะให้เริ่มต้นเลือกที่ Upper ก่อน โดยในการเลือก Upper นั้นระบบจะทำการตรวจสอบกล่าวคือ เอกสารนั้นเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ระบบนี้ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งที่ส่งผ่านมาทาง key pad ต้องเป็นตัวเลขเท่านั้นและค่าของ Upper ต้องไม่เกิน 1023 มิเช่นนั้นระบบจะแสดงผล ERROR และจะไม่สามารถทำการนับวัดใดๆได้และหากต้องการรีเซ็ตระบบเพื่อกลับไปเลือก Upper ใหม่เพื่อให้อยู่ในเงื่อนไขของระบบนั้น ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการกด “\*” เพื่อเป็นการรีเซ็ต จากนั้นระบบจะย้อนกลับไปหน้าหลักเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเลือก Upper ใหม่อีกครั้ง อย่างไรก็ตามเมื่อผู้ปฏิบัติงานทำงานเลือก Upper และ Lower ที่เป็นไปตามเงื่อนไขและทำการกดยืนยันด้วย “A” ระบบจะเริ่มนับวัดรังสีทันที โดยระบบจะจับเวลา (Timer) เป็น 60 วินาทีทุกครั้ง ก่อนแสดงผลนับวัดในเวลา 60 วินาทีนั้นๆ และในกรณีที่ค่านับวัด (cpm) มากกว่า 300 cpm/60s ระบบจะเข้าโหมดเตือนทันที กล่าวคือ buzzer จะร้องและ LED สีแดงจะสว่าง ระบบจะอยู่ในโหมดนี้จนกว่าผู้ปฏิบัติงานจะกด “B” ในทางกลับกันหากผู้ปฏิบัติงานทำการกด “B” ระบบจะส่งคำสั่งให้ Buzzer หยุดร้องแต่ LED สีแดงยังคงสว่างอยู่และจะแสดงค่านับวัดล่าสุดที่เกินขีดจำกัดแก่ผู้ปฏิบัติงาน จากนั้นผู้ปฏิบัติงานมีหน้าที่ที่จะค้นหาค่าการรั่วไหลของรังสีและตรวจสอบความปลอดภัยบริเวณโดยรอบพื้นที่ปฏิบัติงานหรือหาทางรับมือกับสารรังสีที่รั่วไหล เมื่อผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบเสร็จสิ้นแล้วผู้ปฏิบัติงานต้องทำการกด “C” อีกครั้งเพื่อให้ระบบได้ทำการตรวจเช็คขีดจำกัดและหากยังมีค่านับวัดเกินขีดจำกัดที่กำหนด ระบบจะวนไปที่โหมดเตือน แต่ถ้าค่านับวัดน้อยกว่าเงื่อนไขที่กำหนดระบบจะกลับมาทำการนับวัดต่อไปอย่างปกติ โดยการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

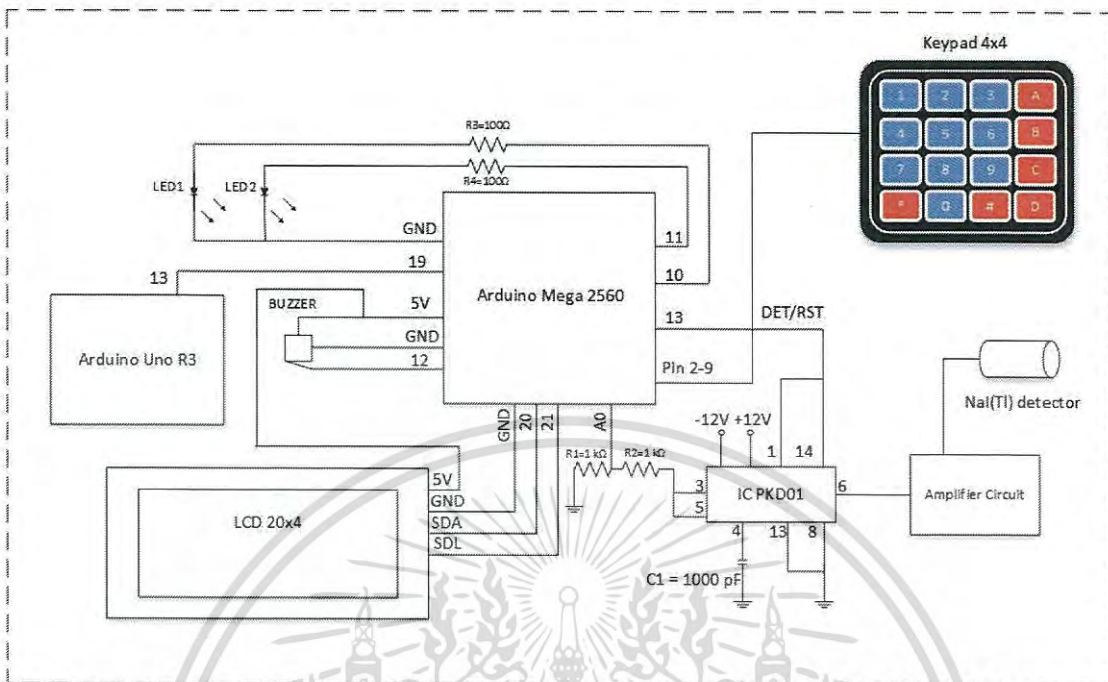


รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบตรวจสอบไอโอที



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบตรวจสอบไอโอดีน (ต่อ)

IODINE MONITER



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของแบบจำลองระบบนับวัดไอโอดีนรังสี

3.2 การออกแบบหน้าจอแสดงผลด้วย LCD และ keypad

ในการแสดงผลต่างๆของอุปกรณ์ติดตามไอโอดีนรังสีนั้น ผู้จัดทำเลือกใช้ Liquid Crystal Display หรือเรียกสั้นๆว่า LCD เป็นอุปกรณ์แสดงผล

หน้า 1

R	E	G	I	O	N	O	F	I	N	T	E	R	E	S	T
	U	p	p	e	r	=		0	0	0	0				
	L	o	w	e	r	=		0	0	0	0				



หน้า 2

R	E	G	I	O	N	O	F	I	N	T	E	R	E	S	T
	U	p	p	e	r	=		x	x	x	x				
	L	o	w	e	r	=		0	0	0	0				

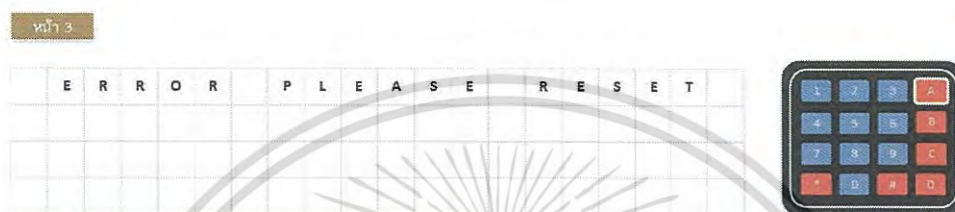


รูปที่ 3.4 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แพคหน้าที่ 1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า 1 : แสดงหน้าจอเริ่มต้นของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับติดตามไอโอดีนรังสี โดยที่หน้านี้จะสามารถเลือก Region of interest ได้ตามต้องการ โดยแบ่งเป็น Upper และ Lower ตั้งแต่ 1-1023 ช่อง

หน้า 2: เมื่อเลือก Region of interest (ROI) ที่ Upper ได้แล้วและกด “A” เพื่อยืนยันช่วง Channel bin ที่ต้องการ หน้าจอจะแสดงดังหน้าที่ 2 โดยที่ xxxx คือ Upper ที่ผู้ใช้กำหนด



รูปที่ 3.5 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แพ็คหน้าที่ 3-4

หน้า 3: หน้านี้จะแสดงเมื่อการเลือก Upper มีมากกว่า 1023

หน้าที่ 4: เมื่อกด “\*” จะแสดงเหมือนหน้าที่ 1 แต่เป็นการรีเซ็ตโปรแกรมใหม่ทั้งหมดหรือเป็นการหยุดฉุกเฉินทันที

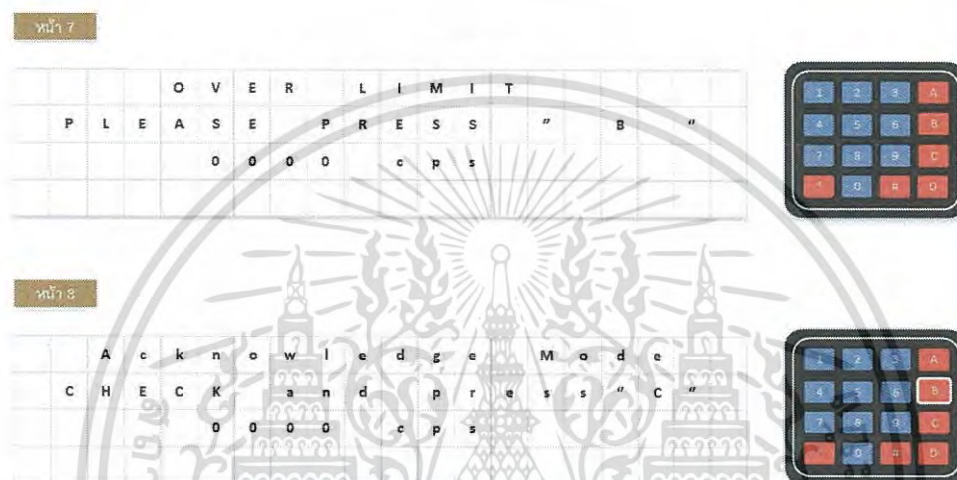


รูปที่ 3.6 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แพ็คหน้าที่ 5-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมการรังสีวิทยา กระทรวงสาธารณสุข เมื่อผู้ดูแลหน้าใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า 5: เป็นหน้าที่ต่อจากหน้าที่ 2 กล่าวคือ เป็นการแสดงให้เห็นเลือก Lower อีกครั้งโดยผู้ใช้สามารถกดตัวเลขเพื่อกำหนดช่วง Lower ได้ตามต้องการและจากนั้นจะต้องกด “A” อีกครั้งเพื่อยืนยัน

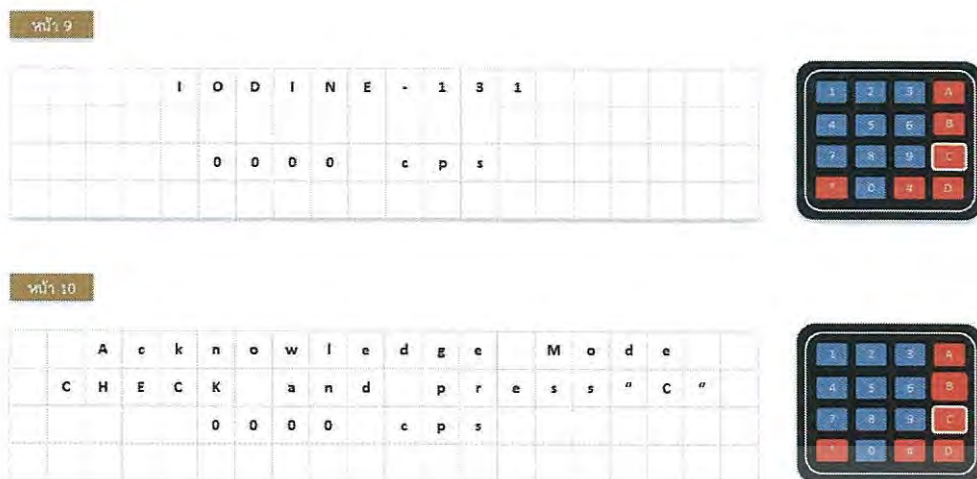
หน้าที่ 6: เป็นหน้าแสดงการนับวัดรังสีตามปกติ ในกรณีหากไม่มีการเกินขีดจำกัดที่ตั้งไว้ (ผู้ใช้ไม่สามารถกำหนดขีดจำกัดได้)



รูปที่ 3.7 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แพ็คหน้าที่ 7-8

หน้า 7: เมื่อค่านับวัดที่ได้นั้นเกินค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้หน้าจอ LCD จะแสดงดังรูปทันทีโดยไม่จำเป็นต้องมีคำสั่งใดๆจากคีย์แพ็ค โดยในส่วนนี้ไฟ LED สีแดงจะสว่างและ Buzzer จะร้องเตือนทันทีจนกว่าจะมีการกด “B”

หน้าที่ 8: เมื่อมีการกด “B” หลังจากการเตือนเกินขีดจำกัดแล้วหน้าจอ LCD จะแสดงดังรูป โดยที่เสียงจาก Buzzer จะดับแต่ไฟสีแดงยังคงสว่างอยู่ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานตรวจเช็คจุดรั่วไหลให้เรียบร้อยเสียก่อน



รูปที่ 3.8 แบบจำลองจอ LCD เมื่อรับคำสั่งจากคีย์แพคหน้าที 9-10

หน้าที่ 9: เมื่อมีการตรวจสอบความเรียบร้อยเสร็จสิ้นแล้วผู้ปฏิบัติงานกด “C” โปรแกรมทำการตรวจสอบลิมิตอีกครั้งเพื่อความปลอดภัย

หน้า 10: หลังจากตรวจสอบลิมิตแล้วค่านับวัดยังเกินลิมิตอยู่แม้ว่าจะกด “C” อีกก็ครั้งก็จะแสดงหน้าจอตั้งรูปและไฟสีแดงก็ยังคงสว่างอยู่ แต่ถ้าหากเช็คลิมิตแล้วไม่เกินหน้าจอจะแสดงกลับไปดังหน้าที่ 5

#### อธิบายการทำงาน

ในการออกแบบการทำงานของระบบนับวัดไอโอดีนนั้นมีความพยายามที่จะออกแบบให้สามารถนำไปใช้ตรวจสอบได้เหมาะสมกับการติดตามหรือนับวัดไอโอดีนรังสีจริง โดยคำนึงถึงการใช้งานที่สะดวกและมีรูปแบบเรียบง่าย โดยการทำงานส่วนใหญ่ของระบบจะแสดงที่หน้าจอ LCD และจะรอรับคำสั่งด้วย keypad นั้นเอง

### 3.3 การศึกษาวงจรแบ่งแรงดัน Voltage divider

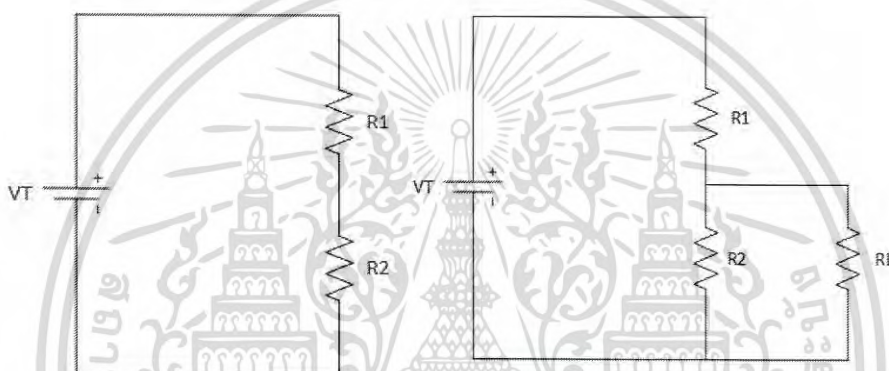
ทั้งนี้เนื่องจาก Microcontroller: Arduino Mega 2560 สามารถอ่านค่าแรงดันได้ตั้งแต่ 0-5 โวลต์แต่แรงดันมาจากภาคขยายหลักนั้นมีค่าตั้งแต่ 0-10 โวลต์ ดังนั้นเพื่อการรักษา microcontroller ที่ใช้จึงมีความจำเป็นต้องทำวงจรแบ่งแรงดันขึ้นเพื่อลดแรงดันที่มาจากส่วนของ amplifier ให้เหลือแค่ 0-5 โวลต์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit)

หมายถึง วงจรที่ประกอบด้วยความต้านทาน 2 ตัวขึ้นไปต่ออนุกรม (Series) อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) ซึ่งค่าความต้านทานในวงจร จะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจรโดยทั่ว ๆ ไปแล้ววงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าพัฒนามาจากกฎของโอห์มเพียงแต่การคิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวใช้วิธีของวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าจะรวดเร็วและสะดวกกว่ากฎของโอห์ม วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

1. วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)
2. วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด (Load Voltage Divider)



ก.)

ข.)

รูปที่ 3.9

ก.) วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด

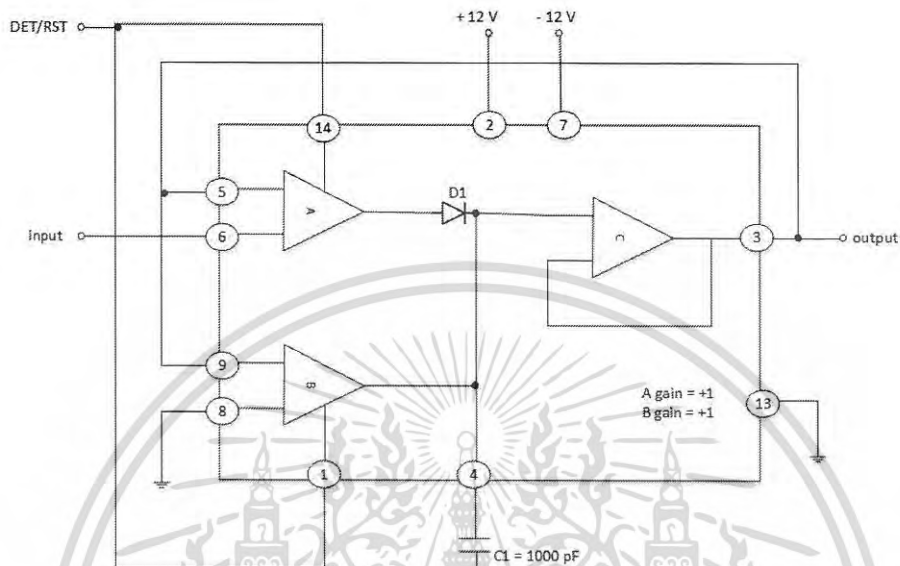
ข.) วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด

- หาก  $R_2$  มีค่าน้อยกว่า  $R_1$  มาก,  $V_o$  จะน้อย (ต่ำมากใกล้  $0V$ ) (เพราะแรงดันส่วนใหญ่อยู่ที่คร่อม  $R_1$ )
- หาก  $R_2$  มีค่าเท่ากับ  $R_1$ ,  $V_o$  จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของ  $V_s$  (เพราะแรงดันจะถูกแบ่งเท่าๆกันระหว่าง  $R_1$  และ  $R_2$ )
- หาก  $R_2$  มีค่ามากกว่า  $R_1$  มาก,  $V_o$  จะมาก (สูงมากใกล้  $V_s$ ) (เพราะแรงดันส่วนใหญ่อยู่ที่คร่อม  $R_2$ )

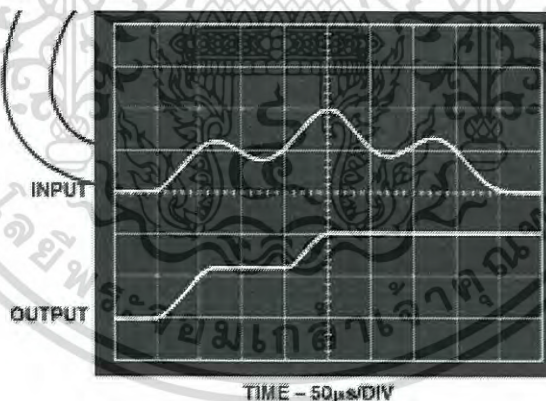
### 3.4 การทำ Peak detection

การทำ Peak detection คือส่วนที่สำคัญมากที่สุดส่วนหนึ่งในอุปกรณ์ติดตามและตรวจสอบสารรังสีไอโอดีนนี้เพราะสัญญาณที่ออกมาจาก amplifier มีรูปสัญญาณที่ลักษณะคล้ายสัญญาณรูปไซน์ ดังนั้นหากการทำ peak detection ไม่ดีพอจะทำให้การตรวจวัดรังสีมีความผิดพลาดได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการออกแบบทางจร peak detection ผู้ออกแบบได้นำ IC เบอร์ PKD01 ซึ่งสามารถทำ peak detection ได้ โดยผู้ออกแบบได้ทำการต่อวงจร Unity gain positive peak detector ดังรูปที่ 3.22 เพื่อทำการหา peak



รูปที่ 3.10 Unity gain positive peak detector



รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณ input และ output จากวงจร Unity gain positive peak detector

อธิบายการทำงาน

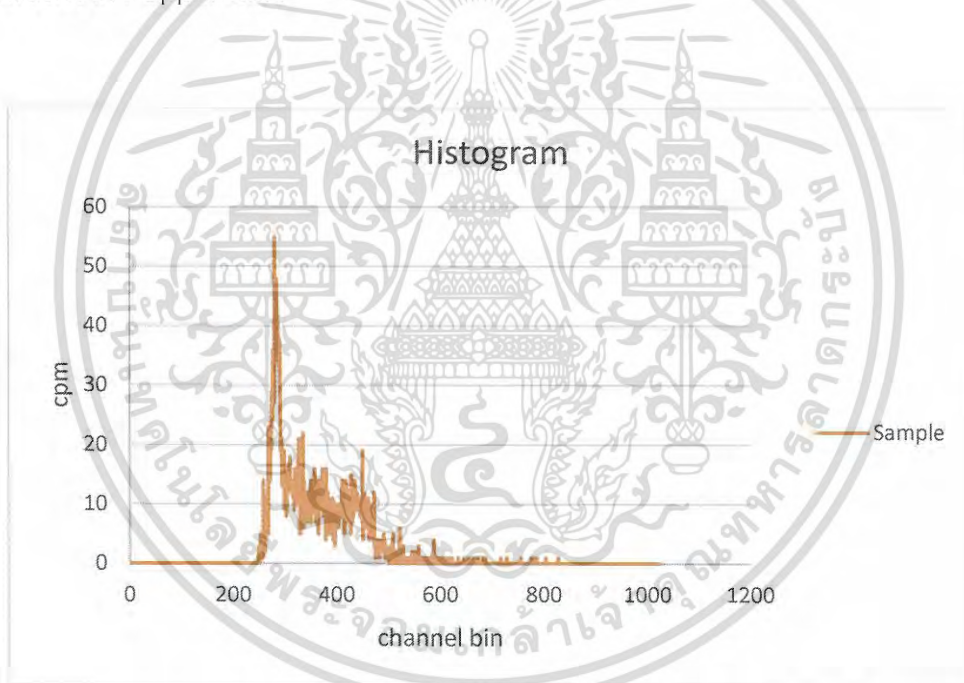
การทำ peak detection ด้วย IC เบอร์ PKD01 สัญญาณที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 3.23 กล่าวคือเมื่อมีสัญญาณ Input ผ่านเข้าไอซีที่ขา 6 ไอซีดังกล่าวจะทำการตรวจวัดสัญญาณและให้สัญญาณออกมาที่ขา 3 เมื่อไอซีตรวจสอบเจอจุดสูงสุดของกราฟไอซีจะให้สัญญาณเท่ากับจุดสูงสุดของสัญญาณที่เข้ามาเป็นแบบนี้จนกว่าจะมีสัญญาณที่มีจุดสูงสุดมากกว่าสัญญาณคลื่นลูกแรก ในทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับกันถ้าสัญญาณใดๆที่เข้ามามีค่าจุดสูงสุดของกราฟต่ำกว่ารูปก่อนหน้า สัญญาณที่ขาออกจากไอซี จะไม่ทำการตรวจวัดสัญญาณรูปคลื่นที่มีค่าต่ำกว่าสัญญาณก่อนหน้าและจะทำงานแบบนี้เรื่อยไป

### 3.5 การทำ Region of interest

การทำ Region of interest เป็นส่วนสำคัญอย่างมากในระบบการนับวัดไอโอตินรังสี เนื่องจากว่าเป็นการกำหนดช่วงพลังงานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องการนับวัด ซึ่งนำไปสู่การนับวัดสารรังสี เฉพาะย่านพลังงานที่สนใจเท่านั้นและสารรังสีอื่นที่ผู้ปฏิบัติงานไม่สนใจจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

Region of interest นั้นจะถูกกำหนดด้วยค่าต่ำสุดที่ผู้ปฏิบัติงานสนใจ (Lower) และค่าสูงสุดที่ผู้ปฏิบัติงานสนใจ (Upper) โดยจากระบบผู้ออกแบบกำหนดให้ค่า Upper มีได้ตั้งแต่ 1-1023 หากผู้ปฏิบัติงานเลือกค่า Upper แตกต่างจากเงื่อนไขนี้ระบบจะไม่ทำงาน ส่วนค่า Lower นั้นต้องมีค่าน้อยกว่าค่า Upper เสมอ



รูปที่ 3.13 แสดงสเปกตรัมของสารรังสีตัวอย่าง(unknown)ชนิดหนึ่ง

จากรูปที่ 3.13 สามารถนำมากำหนด Region of interest ได้โดยหากผู้ปฏิบัติงานต้องการนับวัดเพียงแค่อ่านพลังงานของสารรังสีตัวอย่าง Unknown นี้เท่านั้น ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานควรเลือก Lower = 245 และ Upper = 334 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์ผลของระบบนับวัดสำหรับการเฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ตอน ได้แก่

1. การทดสอบหาความสามารถในการทำ Peak detection ด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์
2. การทดสอบหาความแม่นยำในการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ
3. การทำ Energy calibration
4. การทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียง

#### 4.1 การทดสอบหาความสามารถในการทำ Peak detection ด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการแยกแยะระดับแรงดันของระบบที่ออกแบบโดยเทียบระดับแรงดันสูงสุดของสัญญาณรูปไซน์กับช่องสัญญาณ (Channel bin) ที่ระบบอ่านได้

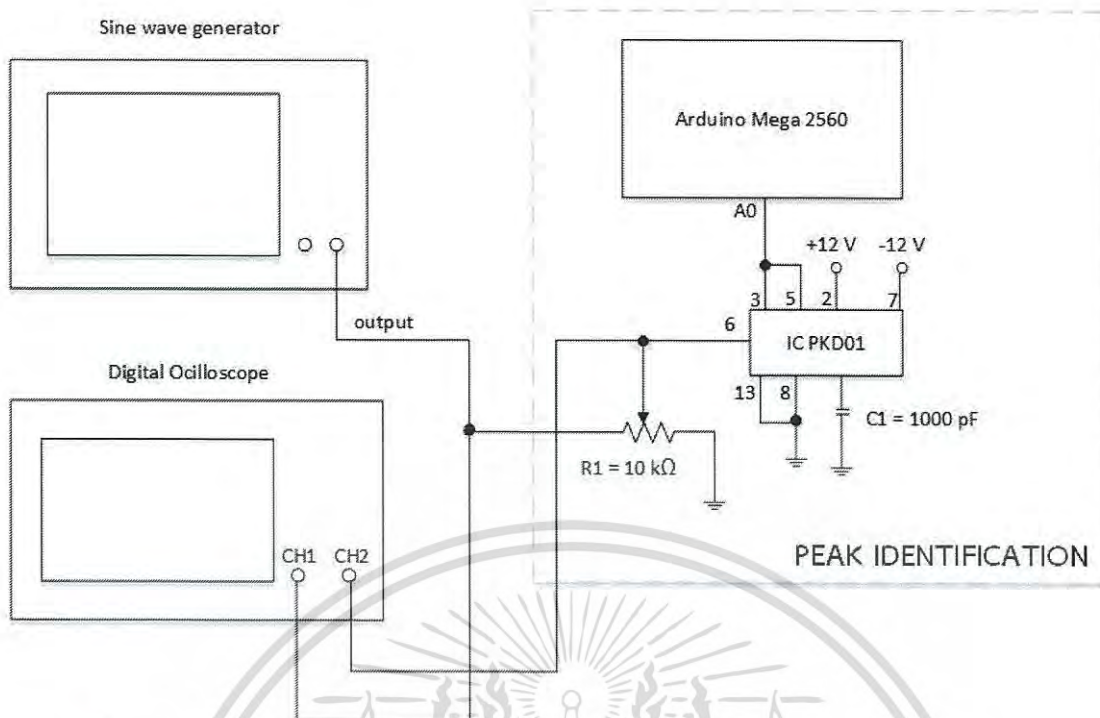
อุปกรณ์การทดลอง

1. Peak Identification
2. Sine wave generator
3. Digital oscilloscope
4. ตัวต้านทานปรับค่าได้  $R1 = 10 \text{ k}\Omega$

วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อ Peak Identifier และตัวต้านทานปรับค่าได้เข้ากับ Sin wave generator และ Digital oscilloscope ตามรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การต่อ Peak identifier (IC PDK01) เข้ากับ Sine wave generator และ Digital oscilloscope

2. ปรับ DC Offset ของ sine wave generator โดยให้รูปสัญญาณมี Voltage peak to peak เป็นบวกเสมอและความสูงของสัญญาณต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 Volt เท่านั้น (ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เสียหาย) และความถี่ของสัญญาณรูปไซน์เท่ากับ 5 kHz
3. จากนั้นทำการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อให้ได้ค่าแรงดันตามความต้องการและทำการบันทึกค่าแรงดัน Peak ที่ Peak identifier แยกแยะได้
4. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า Peak ที่อ่านได้จากทฤษฎี (จากตารางที่ 4.1) และจากการทดลองหาด้วย Peak identifier
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าเปรียบเทียบระหว่าง Channel bin ที่ A/D ของ Arduino แปลงค่าจากแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของสัญญาณรูปไซน์ ตามทฤษฎี

Voltage (V)	analog to digital
5	1023
4	818.4
3	613.8
2	409.2
1	204.6

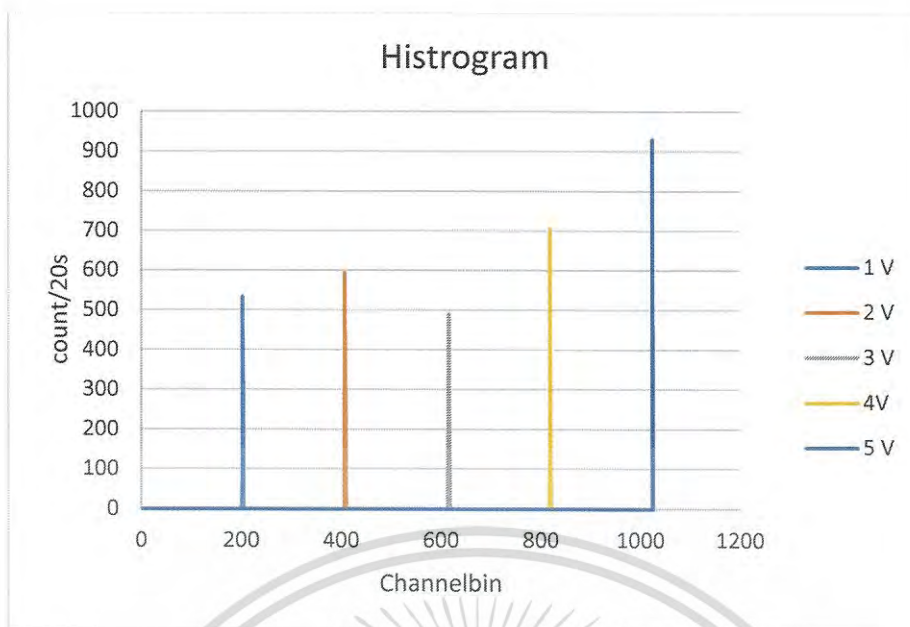
ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลอง

Peak จาก sine wave generator (V)	Peak ที่อ่านได้จากการทดลอง				เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
	Channel bins	Peak channel	แปลงเป็นแรงดัน (V)	Count per 20 sec	
1	201-204	202	0.98	934	1.27
2	405-409	406	1.98	933	0.78
3	613-619	615	3.00	934	0.19
4	815-821	817	3.99	931	0.12
5	1023	1023	5	931	0

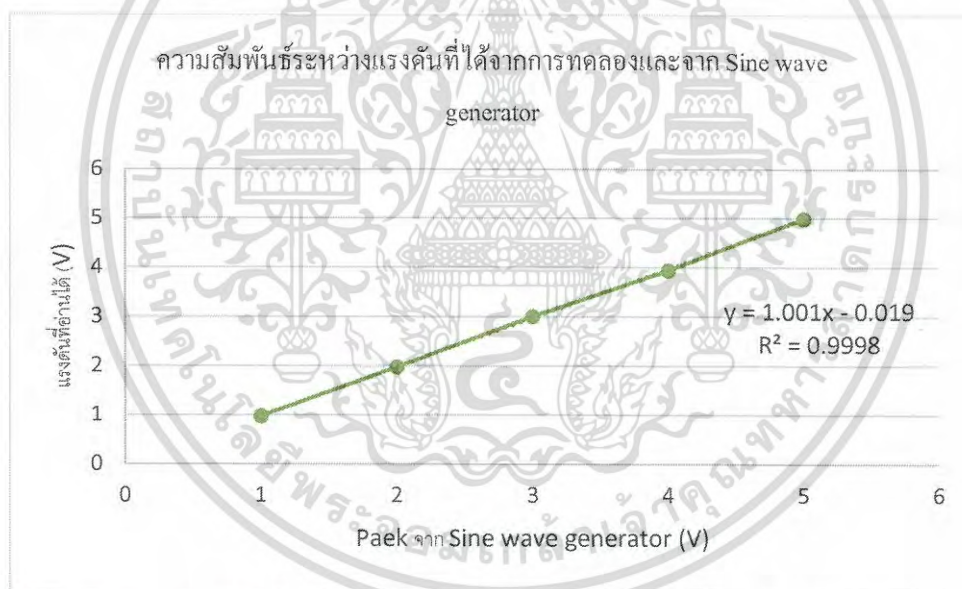
การคำนวณ

$$\% \text{ความแตกต่าง} = \frac{\text{ค่าจากทฤษฎี} - \text{ค่าจากการทดลอง}}{\text{ค่าจากทฤษฎี}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Channel bins และ count / 20 s



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการทดลองและจาก Sine wave generator

#### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาความสามารถในการทำ peak detection ของระบบกับคลื่นสัญญาณรูปไซน์นั้นพบว่า ในกรณีที่สัญญาณมีความถี่เท่ากันและแบ่งความสูงของสัญญาณรูปไซน์ออกเป็น 5 ช่วง คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 โวลต์ โดยค่า Channel bin ของระบบหมายถึงค่า Peak detection ที่ระบบสามารถตรวจวัดได้ เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับทฤษฎีพบว่าระบบมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากทฤษฎีเท่ากับ 1.27, 0.78, 0.19, 0.12 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้ทราบว่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสามารถทำ peak detection ได้ดีขึ้นตามแรงดันอินพุตที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำค่า peak detection ที่ได้จากการทดลองและสัญญาณที่ได้จากจาก sine wave generator มาแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.3 พบว่ากราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีค่าที่ยอมรับได้จากกราฟ (R – Square) เท่ากับ 0.9998 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น่าพอใจ ในรูปที่ 4.2 นั้นแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Channel bins และ count / 20 s ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าจุดสูงสุดของกราฟในแต่ละเส้นไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าสูงสุดของการนับวัดในแต่ละช่อง Channel bins ที่ระบบทำการตรวจสอบได้นั้นไม่เท่ากัน หากความสูงของกราฟยิ่งสูงมากจะแสดงให้เห็นว่าค่านับวัดส่วนใหญ่อยู่ใน Channel bins เดียวกันทั้งหมดและมีความถูกต้องมากที่สุด แต่หากกราฟมีความสูงต่ำกว่าเส้นอื่นแสดงถึงความสามารถในการทำ peak detection ที่น้อยลง (เกิดความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยเมื่อพิจารณาในเชิงสถิติ) ซึ่งการทำ peak detection ที่ดีที่สุดในการทดลองนี้คือที่ Channel bin = 1023 หรือ peak detection = 5 V และนับวัดได้ทั้งหมด 931 count/20s จาก 931 count/20s ในทางตรงกันข้ามการทำ peak detection ที่แย่ที่สุดในการทดลองนี้คือ Channel bin = 615 ซึ่งนับวัดได้ 489 count/20s จาก 934 count/20s

อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า สัญญาณที่เข้ามาจากเครื่องกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณมีความถี่เท่ากับ 5 kHz ซึ่งหมายความว่า ใน 1 วินาที ควรจะ detect ได้ทั้งหมด 5000 peak แต่ระบบที่ออกแบบตรวจสอบพบ peak เฉลี่ยที่ 933 peak / 20 วินาที ซึ่งหมายถึงสามารถ detect peak ได้ 46.65 peak ต่อวินาที สามารถหาประสิทธิภาพการวัดของระบบจากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพในการทำ peak detection} = \frac{\text{ค่าที่วัดได้}}{\text{ค่าจากต้นกำเนิด}} \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพในการทำ peak detection} = \frac{933}{500} \times 100 = 18.66 \%$$

## 4.2 การทดสอบหาความแม่นยำในการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟในช่วง Channel bin ที่สนใจ (Region of interest)

### วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากระบบและจากการคำนวณ

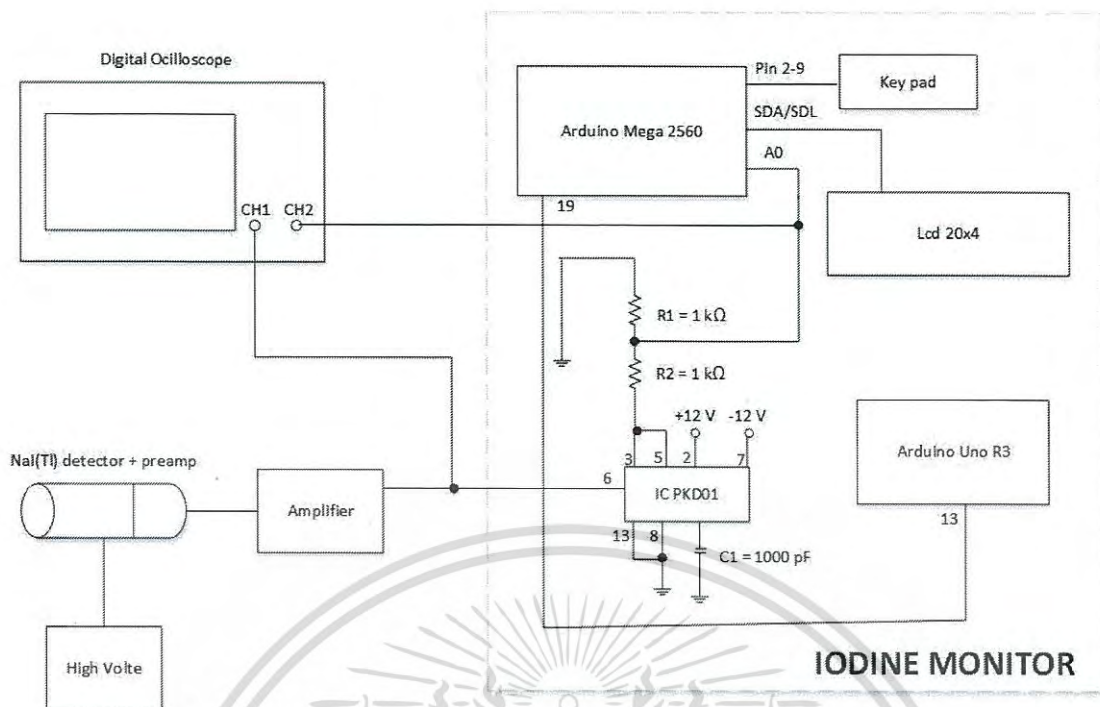
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### อุปกรณ์การทดลอง

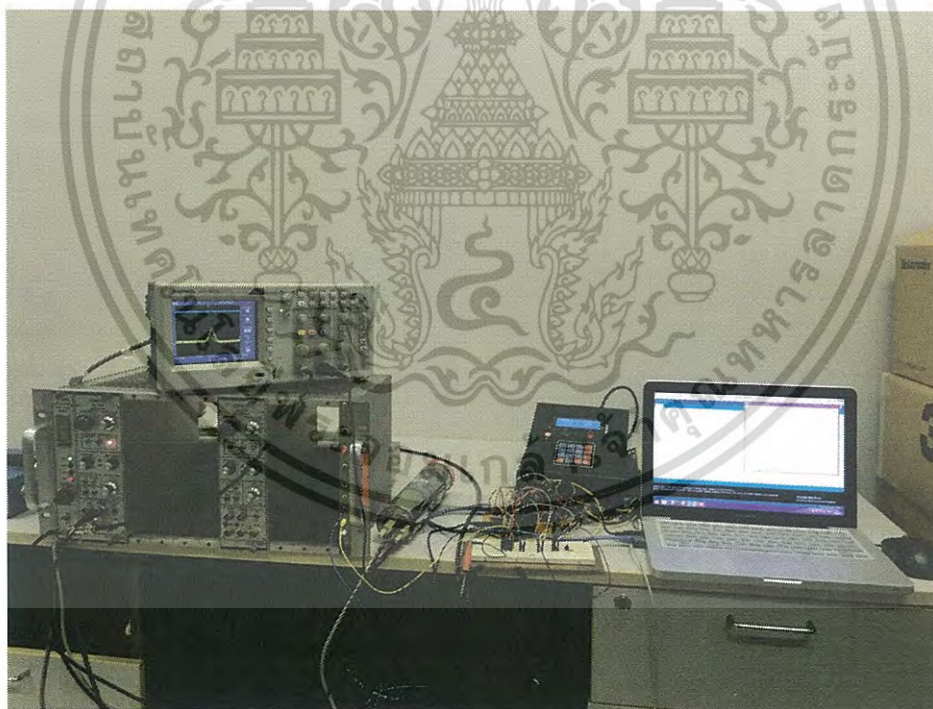
1. อุปกรณ์เฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี (Iodine Monitor)
2. หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน NaI(Tl)
3. NIM bin
  - 3.1 preamplifier
  - 3.2 amplifier
  - 3.3 High voltage
4. Digital oscilloscope
5. Gamma Spectroscopy Reference Source (Cs-137)

### วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.4 จากนั้นนำ Cs-137 มาทำการทดสอบโดยการวาง Cs-137 ไว้ให้ชิดกับหัววัด
2. ทำการกำหนด Channel bins โดยให้เริ่มจาก 0-1023 แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำกราฟ histogram กำหนดให้เวลาในการวัดเท่ากับ 60 วินาที (1 นาที)
3. สังเกตกราฟที่ได้จากข้อที่ 2 แล้วกำหนดช่วง Channel bins โดยดูจากขอบขาขึ้นและขอบขาลงของสัญญาณจากสารรังสี Cs-137
4. นำข้อมูลที่ได้มาทำกราฟ histogram แล้วคำนวณหาผลรวมในช่อง Channel bins ที่กำหนดไว้ในข้อ 3 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาผลเฉลี่ยจากการทดลอง
5. นำค่าที่ได้จากการเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับค่า cpm ที่อุปกรณ์วิเคราะห์ที่ได้และหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

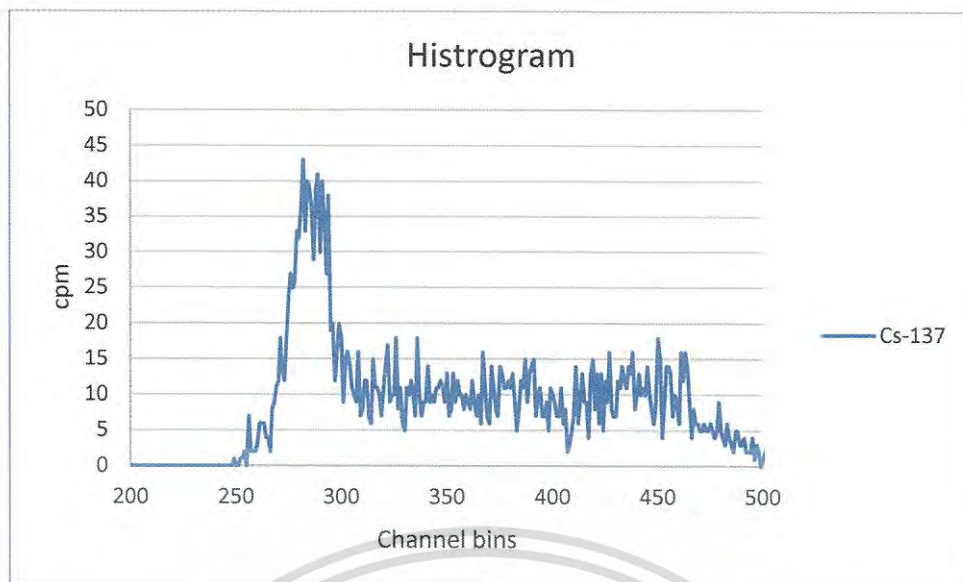


รูปที่ 4.4 การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ



รูปที่ 4.5 ภาพการจัดอุปกรณ์ในการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟสเปกตรัมของ Cs-137

ตารางที่ 4.3 การทดสอบหาความแม่นยำในการหาค่าพื้นที่ใต้กราฟ

Channel bins	Cpm จากอุปกรณ์			การการคำนวณ		
	1	2	3	1	2	3
265 - 300	951	952	780	951	952	780
เฉลี่ย	894.33			894.33		
% ความแตกต่าง	0					

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาความแม่นยำในการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่านับวัด (cpm) ที่แสดงบนหน้าจอของอุปกรณ์ที่ออกแบบและค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยข้อมูลทั้งหมดโดยตรงพบว่า ในขั้นตอนแรกสุดนั้นเป็นการหาช่วงพลังงานของสารกัมมันตรังสีตัวอย่าง (Cs-137) ซึ่งทำให้ทราบว่าช่วงพลังงานส่วนใหญ่ของ Cs-137 นั้นอยู่ที่ Channel bins ตั้งแต่ 265-300 จากนั้นจึงทำการกำหนดช่วง window (Region of interest) ในอุปกรณ์ที่ออกแบบแล้วทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบ โดยจากการทดสอบค่านับวัดที่ได้จากการทดลองและการคำนวณมีค่าเท่ากันและมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบที่ออกแบบมีความสามารถในการแสดงค่าพื้นที่ใต้กราฟอย่างถูกต้องตามความกว้างของ Channel bin ที่กำหนด

### 4.3 การทำ Energy Calibration

#### วัตถุประสงค์

เพื่อปรับเทียบช่วงพลังงานให้กับระบบที่ออกแบบเพื่อให้สามารถวัดย่านพลังงานของรังสีแกมมาได้ครอบคลุมพลังงานของไอโอดีนรังสี 131

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. อุปกรณ์เฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี (Iodine Monitor)
2. หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน NaI (TI)
3. NIM bin
4. preamplifier
5. amplifier
6. High voltage
7. Digital oscilloscope
8. Gamma Spectroscopy Reference Source (Cs-137, Co-60, Cd-109)

#### วิธีการทดลอง

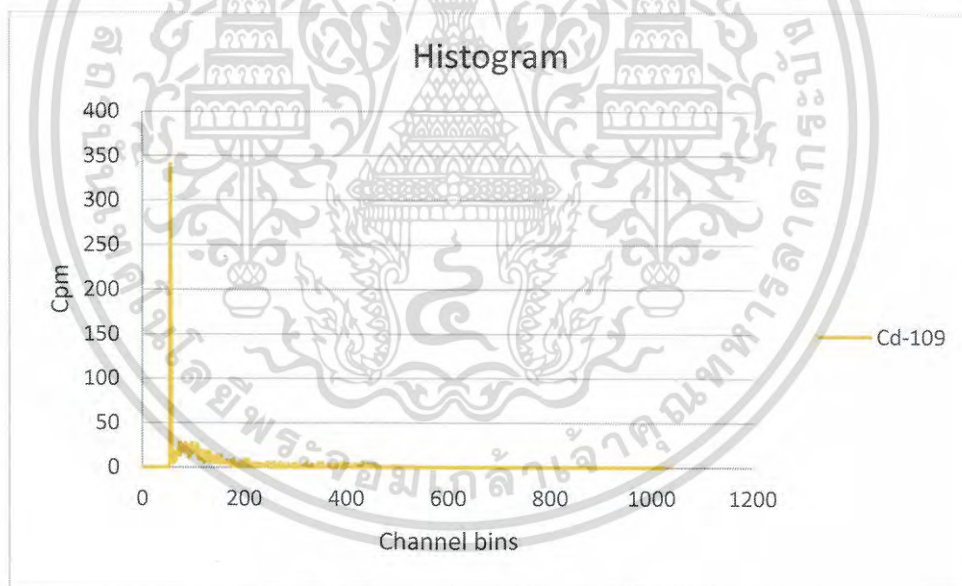
1. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.4
2. นำค่าที่ได้มาทำกราฟ histogram ของ Cs-137 และระบุค่าสูงสุดที่นับวัดได้ว่าอยู่ในช่อง Channel bins ไต
3. ทำการเปลี่ยนสารรังสีเป็น Co-60 และ Cd-109 จากนั้นทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำค่า Channel bins ของแต่ละสารรังสีมาทำกราฟเส้นตรงเพื่อหาช่วงพลังงานของไอโอดีนรังสี
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

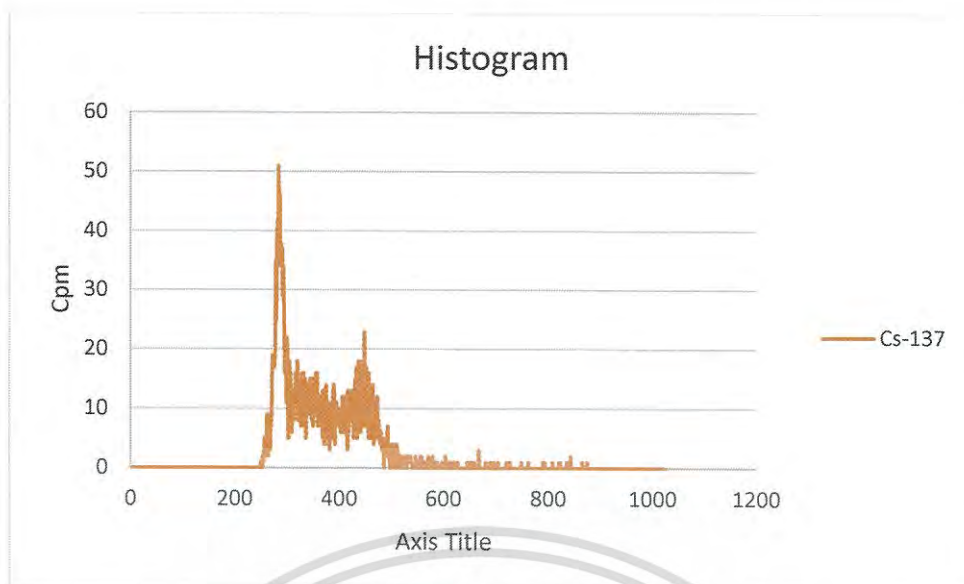
ตารางที่ 4.4 การหา Channel bins ของสารรังสี

สารรังสี	พลังงาน (keV)	Channel bins		Voltage (V)
		Peak 1	Peak 2	
Co - 60	1173, 1332	482	673	2.35, 3.28
Cs - 137	662	283	-	1.38
Cd - 109	88	54	-	0.26



รูปที่ 4.7 กราฟสเปกตรัมของ Cd-109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟสเปกตรัมของ Cs -137

หา Peak ของ Co-60 จาก  
สมการเส้นตรง

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

กำหนด  $y_1 = 54, y_2 = 283$  (แกน y คือ Channel bins)  
 $x_1 = 88, x_2 = 662$  (แกน x คือ Energy)

จะได้

$$\frac{y - 54}{x - 88} = \frac{283 - 54}{662 - 88}$$

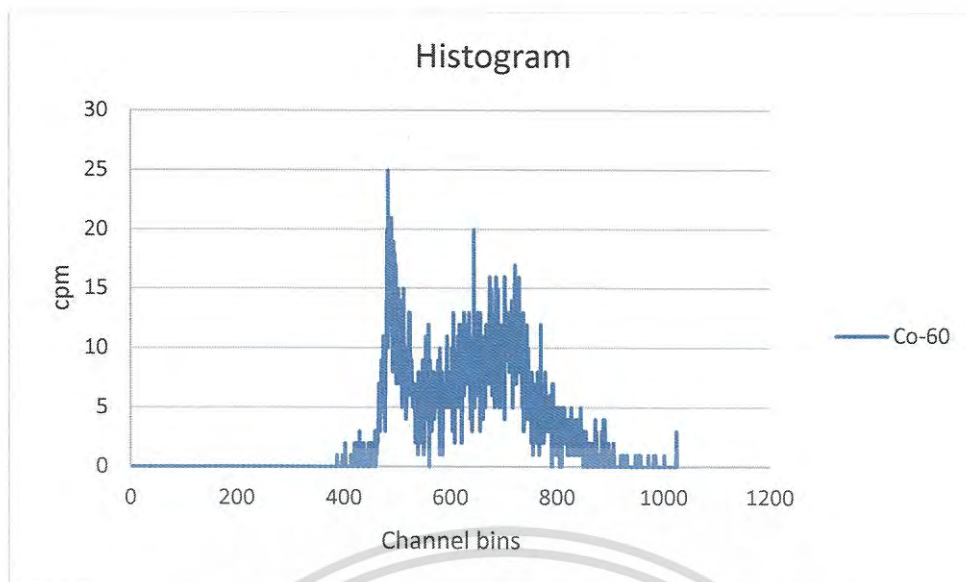
$$Y = 0.93x + 18.89 \quad \dots\dots\dots\text{สมการที่ 4.1}$$

แทนค่า  $x = 1173, 1332$  ในสมการที่ 4.1

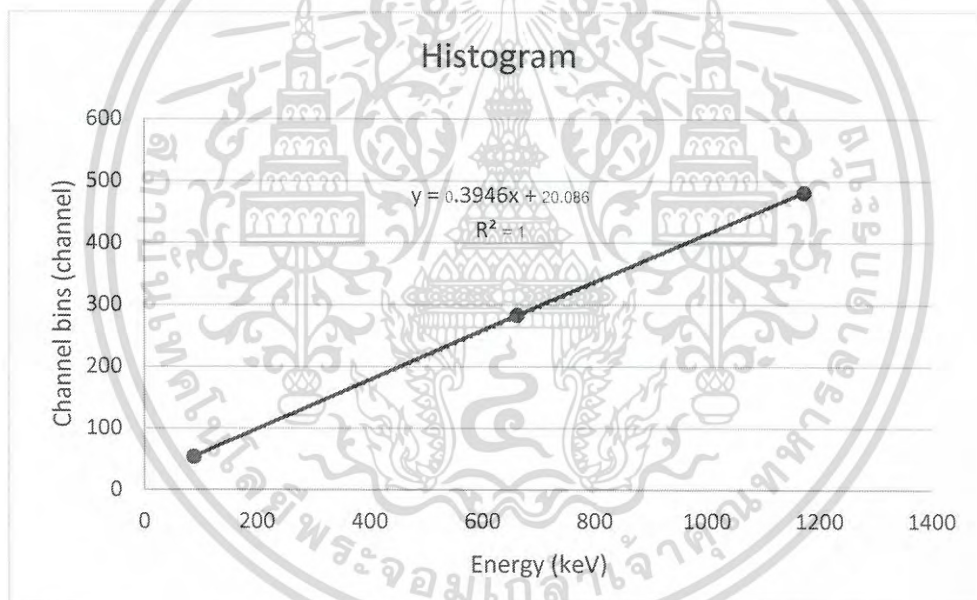
จะได้  $y = 476.36, 525.05$  ตามลำดับ

ดังนั้น นำค่า y ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟ histogram ของ Co-60  
ค่า Peak ของ Co-60 เท่ากับ 482, 673 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟสเปกตรัมของ Co-60



รูปที่ 4.10 Energy calibration

จากรูปที่ 4.9 จะได้สมการจาก Energy calibration คือ

$$Y = 0.3946x + 20.086$$

.....สมการที่ 4.2

จากสมการที่ 4.2 สามารถหา Channel bin ของ I-131 โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $x = 364$  (พลังงานของ I-131) ใน สมการที่ 4.2

จะได้  $Y_{I-131} = 163.72$

ดังนั้น Channel bins ของ I-131 ที่จากการทำ energy calibration ด้วย Cd -109, Cs -137 และ Co-60 เท่ากับ 143 – 183

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองในการทำ energy calibration เพื่อหาช่วงพลังงานของสารรังสีไอโอดีนหรือ I-131 ที่มีพลังงานเท่ากับ 364 keV พบว่าเมื่อนำสารรังสี Cd-109, Cs137 และ Co-60 มาทำการตรวจวัดเพื่อทำกราฟสเปกตรัมเพื่อให้ได้ทราบถึงช่วง Channel bins ของแต่ละสารรังสี และนำมาทำกราฟเส้นตรงเพื่อหาสมการของ energy calibration โดย Cs-137 ที่พลังงานเท่ากับ 662 keV จะมี peak เท่ากับ 283 ส่วน Cd-109 ที่พลังงานเท่ากับ 88 keV จะมี peak เท่ากับ 54 และสุดท้ายคือ Co-60 ที่พลังงานเท่ากับ 1173 และ 1332 keV จะมี peak เท่ากับ 482 และ 673 ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้มาแสดงในรูปกราฟ โดยให้แกน x เป็นพลังงานของสารรังสีและแกน y คือ Channel bin ที่แต่ละสารรังสีได้ จากนั้นทำการหาสมการโดยใช้เส้นเฉลี่ยแบบ polynomial order เท่า 3 ซึ่งทำให้มีค่าความน่าเชื่อถือ  $R^2$  เท่า 1 โดยจะได้สมการที่ 4.2 ซึ่งเป็นสมการของ Energy calibration ที่สามารถระบุ Channel bin ของสารรังสีใดๆที่สนใจได้เพียงแต่ต้องทราบค่าพลังงานของสารรังสีนั้นๆ และจึงทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่า I-131 ที่พลังงานเท่ากับ 364 keV จะมีค่า peak = 164 และมีช่วง Region of interest เท่ากับ 143 - 183 ซึ่งเป็นค่าที่นำไปเป็นเกณฑ์ไว้สำหรับตรวจสอบสารรังสีไอโอดีนที่ฟุ้งกระจายในพื้นที่กักอากาศต่อไป

#### 4.4 การทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียง

##### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียงและสารรังสีอื่นๆ

##### อุปกรณ์

1. อุปกรณ์เฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี (Iodine Monitor)
2. หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน NaI (TI)
3. NIM bin
4. preamplifier
5. amplifier
6. High voltage
7. Digital oscilloscope
8. Gamma Spectroscopy Reference Source (Ba-133, Co-60, Cd-109, Cs-137)

##### หมายเหตุ

ในการทดลองนี้นั้นจะใช้สารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียงกับไอโอดีนรังสีเพราะไอโอดีนรังสีนั้นสามารถระเหยได้ง่ายในอุณหภูมิห้องจึงอาจเป็นอันตรายแก่ผู้ทำการทดลอง

##### วิธีการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ดังรูป 4.4
2. นำสารรังสีตัวอย่างมาวางให้ชิดกับหัววัด จากนั้นทำการกำหนดช่วง Upper และ Lower ให้อยู่ในช่วงพลังงานของสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีที่มีพลังงานใกล้เคียงที่คำนวณมาได้จากการทำ Energy calibration
3. สังเกตค่า cpm และการรบกวนเตอนของอุปกรณ์
4. สรุปและวิจารณ์การทดลอง

หมายเหตุ ผู้ออกแบบได้ออกแบบลิมิตของ cpm เท่ากับ 300 cpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา Channel bin ของ Ba-133

จากสมการที่ 4.2 แทนค่า  $x = 356$  จะได้

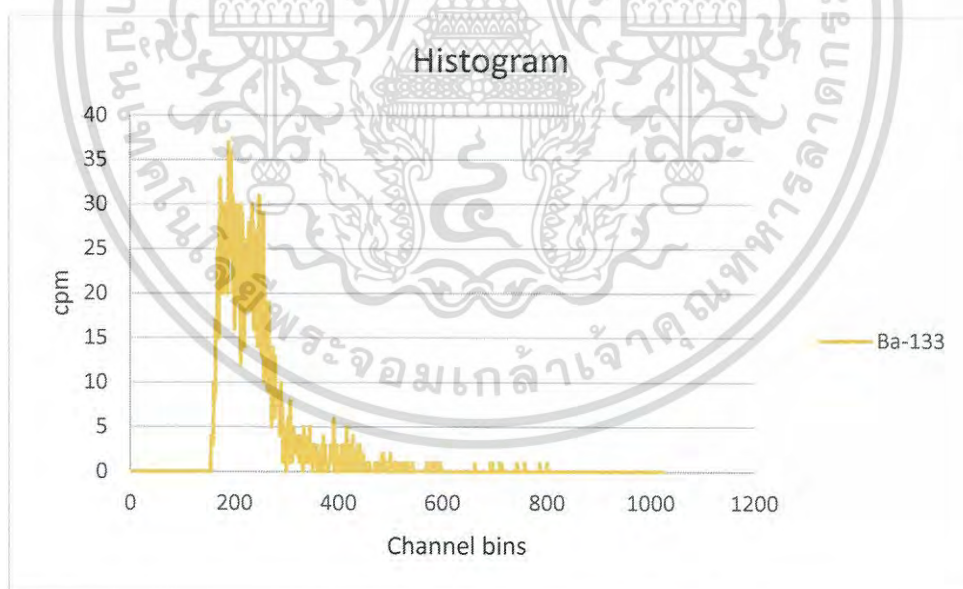
$$Y_{Ba-133} = 160.56$$

ดังนั้น

ช่วง Channel bins ของ Ba-133 เท่ากับ 140 – 180

ตารางที่ 4.5 การทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีที่มีพลังงานใกล้เคียง

สารรังสี	Region of Interest	cpm				การเตือน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Co-60	140-180	0	0	0	0	ไม่มี
Cs-137		0	0	0	0	ไม่มี
Cd-109		32	49	55	45.33	ไม่มี
Ba-133		422	440	404	422	มี



รูปที่ 4.11 กราฟสเปกตรัมของ Ba-133

จากรูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมของ Ba-133 พบว่า Peak ของ Ba-133 จากการทดลองอยู่ที่ 188 ซึ่งสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากสเปกตรัมและค่าที่คำนวณจากการทำ energy calibration จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ ความแตกต่าง} = \frac{\text{ค่าจากทฤษฎี} - \text{ค่าจากการทดลอง}}{\text{ค่าจากทฤษฎี}} \times 100$$

แทนค่า

$$\% \text{ ความแตกต่าง} = \frac{188 - 160}{188} \times 100$$

$$= 14.89 \%$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากสเปกตรัมและค่าที่คำนวณจากการทำ energy calibration เท่ากับ 14.89 เปอร์เซ็นต์

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีที่มีช่วงพลังงานใกล้เคียงกับเมื่อเรานำ Ba-133 ที่มีพลังงาน 356 keV ซึ่งใกล้เคียงกับสารรังสีไอโอดีนเป็นอย่างมากมาทดสอบแทนสารรังสีไอโอดีนที่สามารถระเหยได้ง่ายแม้ในอุณหภูมิต่ำซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงสูงสำหรับผู้ทำการทดลองที่จะได้รับการสูดดมสารรังสีไอโอดีนเข้าภายในร่างกาย ในการทดสอบนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าค่านับวัดที่ได้จากการวัด Ba-133 เป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือระบบสามารถทำงานได้ดีและแยกแยะการตรวจวัดสารรังสีได้ แต่อย่างไรก็ตาม จากการเปรียบเทียบค่า channel bin ที่ได้จากการคำนวณและค่าที่อ่านได้จากสเปกตรัมยังมีความคลาดเคลื่อนกันอันเนื่องมาจากการกระบวนกรทำ peak detection ยังไม่แม่นยำพอ อย่างไรก็ตาม การทำงานของอุปกรณ์เฝ้าระวังการรั่วไหลของรังสีไอโอดีนหรือ Iodine monitor ก็สามารถเป็นไอดียวนำไปพัฒนาใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลองการทดสอบระบบการเฝ้าระวังการรั่วไหลของรังสีไอโอดีนภายในพื้นที่กักอากาศ (Iodine monitor)

ในการทดสอบระบบการเฝ้าระวังการรั่วไหลของรังสีไอโอดีนภายในพื้นที่กักอากาศ (Iodine Monitor) แบ่งการทดสอบทั้งหมด 4 การทดสอบ คือ การทดสอบหาความสามารถในการทำ peak detection ด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์ การทดสอบหาความแม่นยำในการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ การทำ energy calibration และการทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียง โดยการทดสอบหาความสามารถในการทำ peak detection ด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาความสามารถในการแยกแยะระดับแรงดันของระบบที่ออกแบบโดยเทียบระดับแรงดันสูงสุดของสัญญาณรูปไซน์กับช่องสัญญาณ (Channel bin) ที่ระบบอ่านได้และจากการทดลองโดยนำสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากเครื่องกำเนิดรูปไซน์ที่มี Voltage peak to peak ใน DC offset เป็นบวก โดยมีแรงดันสูงสุดเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1-5 โวลต์มาทำการทดสอบด้วยวงจร peak detection โดย IC เบอร์ PKD01 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ peak detection อ่านได้และค่า voltage peak to peak จากเครื่องกำเนิดรูปไซน์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกันมากที่สุดเท่ากับ 1.27 เปอร์เซ็นต์ คือที่ voltage peak to peak เท่ากับ 1 โวลต์ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยสุดเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ คือที่ voltage peak to peak เท่ากับ 5 โวลต์ และจากการทดสอบทำให้ทราบว่าที่ค่าแรงดันมากที่สุด ณ ที่นี้คือ voltage peak to peak เท่ากับ 5 โวลต์ หรือค่า A/D เท่ากับ 1023 เกิดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงสถิติน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ voltage peak to peak เท่ากับ 3 โวลต์ ที่เกิดค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงสถิติมากที่สุด ดังนั้นการทดลองนี้ทำให้พบว่าการทำ peak detection จะดีขึ้นตามแรงดันของสัญญาณที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากการทดสอบหาความสามารถในการทำ peak detection ด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทำให้ทราบประสิทธิภาพในการทำ peak detection ของระบบ คือ มีค่าเท่ากับ 18.66 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการทดสอบหาความแม่นยำในการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟโดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากระบบและจากการคำนวณ เมื่อเลือกช่วงที่สนใจ (Region of interest) เป็นช่วงพลังงานของ Cs-137 ที่มี channel bins ตั้งแต่ 265-300 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่านับวัดที่แสดงจากอุปกรณ์และค่านับวัดที่คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่ากัน ซึ่งหมายความว่าค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้นคว้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการตรวจวัดเฉพาะช่วงพลังงานที่ต้องการ

นอกจากนี้ในการทำ energy calibration โดยมีประสงค์เพื่อปรับเทียบช่วงพลังงานให้กับระบบที่ออกแบบเพื่อให้สามารถวัดย่านพลังงานของรังสีแกมมาได้ครอบคลุมพลังงานของไอโอดีนรังสี 131 โดยการหาสเปกตรัมของสารรังสีตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่างคือ Co-60, Cs-137 และ Cd-109 เพื่อนำมาทำสมการ energy calibration โดยสมการที่ได้จากการทดลองนี้คือ  $Y = 0.3946x + 20.086$  ซึ่งสมการที่ได้นี้สามารถนำมาหาพลังงานของ I-131 ได้ด้วยการแทนค่า  $x = 364$  ซึ่งเป็นพลังงานของ I-131 และจะได้ค่า Y เท่ากับ 163 ที่ซึ่งเป็นค่า channel bin ของ I-133 จากนั้นจึงทำการกำหนดช่วงพลังงานเพื่อให้ peak ของ I-131 อยู่ตรงกลาง จะได้ช่วงพลังงานของ I-131 เท่ากับ 143-183

และสุดท้ายคือการทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียงโดยมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียงและสารรังสีอื่นๆ จากนั้นทำการกำหนด region of interest ของไอโอดีนและนำสารรังสีตัวอย่างใดๆ มาทำการตรวจวัดซึ่งจากการทดลองสารรังสีที่มีพลังงานใกล้เคียงกับสารรังสีไอโอดีนค่านับวัด จะเพิ่มขึ้นและเมื่อเกินลิมิตอุปกรณ์จะมีการร้องเตือน ซึ่งสารรังสีที่มีย่านพลังงานใกล้เคียงกับไอโอดีนรังสีคือ Ba-133 ซึ่งมีพลังงานเท่ากับ 356 keV และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่า peak ที่คำนวณได้จากสมการ energy calibration กับค่า peak ที่ได้จากการทดลอง (สเปกตรัมของ Ba-133) มีค่าเท่ากับ 14.89 % ซึ่งโดยการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าระบบการการแยกแยะพลังงานของอุปกรณ์ติดตามรังสีไอโอดีนสามารถทำงานได้ในระดับที่น่าพอใจแต่มีความผิดพลาดในการทำ peak detection บ้างเล็กน้อย

## 5.2 วิจัยณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบการทำงานของระบบพบว่าการทำงาน peak detection ยังมีความผิดพลาดบ้างเล็กน้อยโดยจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนในภาคทดสอบระบบกับสารรังสีไอโอดีนหรือสารรังสีอื่นที่มีพลังงานใกล้เคียง ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่า channel bin ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ energy calibration และค่าที่อ่านได้จากสเปกตรัมยังมีความคลาดเคลื่อนกันอันเนื่องมาจากการกระบวนการทำ peak detection ยังไม่แม่นยำพอ

อย่างไรก็ตาม แม้ความสามารถในการวัดของระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อผิดพลาดอยู่บ้างแต่การวิจัยนี้ทำให้ได้แนวความคิดที่เหมาะสมและเป็นรูปธรรมซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบระบบเฟิร์มแวร์การรับข้อมูลของไอโอดีนรังสีภายในพื้นที่กักอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคตและรวมถึงหากต้องการประยุกต์ระบบต้นแบบที่ต้องการพัฒนานี้กับสารรังสีก็สามารถทำได้เพียงแค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด region of interest ให้เหมาะสมกับพลังงานของสารรังสีนั้นก็จะสามารถนำระบบที่พัฒนาไปใช้ในการเฝ้าระวังการรั่วไหลของสารรังสีอื่นได้เช่นกัน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงการทำ peak detection ให้มีความแม่นยำมากขึ้นและสามารถแยกแยะช่องพลังงานให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น
2. ออกแบบระบบให้มีภาค High voltage, preamplifier และ amplifier รวมอยู่ในระบบ
3. จากระบบที่พัฒนาควรใช้ IC ฐานเวลาจริงแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Arduino Uno R3 เนื่องจากเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยความไม่จำเป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- ธวัช ชิตตะการ. 2541. การตรวจและการวัดรังสี. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์ กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุชิน อุดมสมพร. หัววัดและการตรวจวัดทางรังสี. กรุงเทพฯ : สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ.
- Ajith Kumar B. P. A Method to improve Experimental Facilities for Teaching Nuclear Physics at the Universities Indian : Inter University Accelerator Centre
- David Prutchi, Ph.D. 2007. A PIC-Based Handheld Multi-Channel Analyzer (MCA)
- S.Fukuda, M.Naritomi, S.Izawa and Y.Izumi. Airborne Iodine monitoring at the radio-isotope test production plant Japan: Division of health physic and safety
- Suzanne Frigen. 1998. Radiation Detection 97
- Herman Cember and Wei-Hsung Wang. A user-friendly thyroid monitor USA : Purdue University, School of Health Science
- [Online]. Available : [www.myarduino.net/](http://www.myarduino.net/)
- [Online]. Available : [www.nst.or.th/article/article54/article54-005.html](http://www.nst.or.th/article/article54/article54-005.html)
- [Online]. Available : <http://icelectronic.com/beginner/study/vdivider.htm>
- [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/mystatistics01/chapter2>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## คำสั่งที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO MEGA 2560

```

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <Keypad.h>

//define the Keypad

const byte rows = 4;

const byte cols = 4;

char keys[rows][cols] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};

byte rowPins[rows] = {9, 8, 7, 6};

byte colPins[cols] = {5, 4, 3, 2};

char MaxValue[4];

char MinValue[4];

Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, rows, cols);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

int channelbin[1024]; // ประกาศ array ของช่องนับวัด (ช่องสูงสุด
                      // เท่ากับ 1024)

int Status = 0;

int threshold = 100; // set minimum ground voltage

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int Peak; // peak detection

int cps;

char green = 10;

char red = 11;

char buzz = 12;

char DET_RST = 13;

boolean gate_on = false;

int gate_counter = 0;

int upper;

int lower;

int a;

void setup() {
  pinMode(green, OUTPUT);
  pinMode(red, OUTPUT);
  pinMode(buzz, OUTPUT);
  pinMode(DET_RST, OUTPUT);
  digitalWrite(green, HIGH);

  Serial.begin(9600);

  lcd.begin();

  lcd.backlight();

  MaxValue[0] = '0';

  MaxValue[1] = '0';

  MaxValue[2] = '0';

  MaxValue[3] = '0';

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MinValue[0] = '0';
MinValue[1] = '0';
MinValue[2] = '0';
MinValue[3] = '0';
showEntered();
displayScreen();
for (a = 0; a <= 1023; a++) {
    channelbin[a] = 0;
}
}

void loop() {
    Main_Channel();
    if ((Status == 2) && (gate_on == true)) {
        while (gate_on == true) {
            digitalWrite(DET_RST, HIGH);
            delay(10);
            digitalWrite(DET_RST, LOW);
            delay(10);

            Peak = analogRead(A1);
            channelbin[Peak] = channelbin[Peak] + 1;
            Serial.println(Peak);
        }

        cps = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for ( int i = lower ; i <= upper ; i ++ ) {
    cps = cps + channelbin[i];
}

Serial.print("upper =");
Serial.println(upper);

Serial.print("lower =");
Serial.println(lower);

lcd.clear();

lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Iodine-131");
lcd.setCursor(5, 2);
lcd.print(cps);
lcd.setCursor(11, 2);
lcd.print("cpm");
Serial.print("cps= ");
Serial.println( cps , DEC);
for ( a = 0; a <= 1023; a++ ) {
    channelbin[a] = 0;
}

if ( cps > 300 ) {
    digitalWrite(red, HIGH);
    digitalWrite(buzz, HIGH);
    lcd.setCursor(4, 0);
    lcd.print("Alarm Mode");
    lcd.setCursor(1, 1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd.print("PLEASE PRESS 'B' ");

    Status = 3;
}
}

attachInterrupt(4, test_count, FALLING);
}

```

```

void test_count() {

    gate_counter = gate_counter + 1;

    if (gate_counter == 1) {

        gate_on = true;

    } else if (gate_counter == 60) {

        gate_on = false;

        gate_counter = 0;

        detachInterrupt(4);

        Serial.println("= OK = ");

    }

}
}

```

```

void Main_Channel() { // keypad function

    char key = keypad.getKey();

    if ( key != NO_KEY) {

        switch (key) {

            case 'A':

                if (Status == 0) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.clear();

int A = (MaxValue[0] - 48) * 1000;

int B = (MaxValue[1] - 48) * 100;

int C = (MaxValue[2] - 48) * 10;

int D = (MaxValue[3] - 48) * 1;

upper = A + B + C + D;

if (upper <= 1023) {           // ถ้าเลือกขานน้อยกว่าเท่ากับ 1023 --> ระบบทำงานได้

    displayScreen();

    lcd.setCursor(13, 1);

    lcd.print(upper);

    Status = 1;

} else { // -> Status = 1

    lcd.print("ERROR PLEASE RESET");

    Status = 0;

} // -> Status = 2

} // -> ('A' + Status == 0)

else if (Status == 1) {

    int E = (MinValue[0] - 48) * 1000;

    int F = (MinValue[1] - 48) * 100;

    int G = (MinValue[2] - 48) * 10;

    int H = (MinValue[3] - 48) * 1;

    lower = E + F + G + H;

    Status = 2;

} // -> 'A' Status 2

else if ( Status == 2) { // counting start

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

attachInterrupt(4, test_count, FALLING);

} // -> ('A' + Status == 1)

break; // case A

case 'B':

if (Status == 3) {

digitalWrite(red, HIGH);

digitalWrite(buzz, LOW);

lcd.setCursor(2, 0);

lcd.print("Acknowledge Mode");

lcd.setCursor(1, 1);

lcd.print("CHECK and press'C");

Status = 4;

} // Status 1-> 2

break; // case B

case 'C':

if (Status == 4) {

for (a = 0; a <= 1023; a++) {

channelbin[a] = 0;

}

Status = 2;

} // Status 2-> 1

break; // case C

case 'D':

//lcd.print(key);

break; // case d

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case '*':

    ClearScreen();

    MaxValue[0] = '0';

    MaxValue[1] = '0';

    MaxValue[2] = '0';

    MaxValue[3] = '0';

    MinValue[0] = '0';

    MinValue[1] = '0';

    MinValue[2] = '0';

    MinValue[3] = '0';

    showEntered();

    displayScreen();

    Status = 0;

    for (a = 0; a <= 1023; a++) {

        channelbin[a] = 0;

    }

    digitalWrite(red, LOW);

    digitalWrite(buzz, LOW);

    break; // case *

case '#':

    //lcd.print(key);

    break; // case #

default:

    if (Status == 0) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    MaxValue[0] = MaxValue[1];

    MaxValue[1] = MaxValue[2];

    MaxValue[2] = MaxValue[3];

    MaxValue[3] = key;

    showEntered();

} // Status == 0 keypad is allowed

else if (Status == 1) {

    MinValue[0] = MinValue[1];

    MinValue[1] = MinValue[2];

    MinValue[2] = MinValue[3];

    MinValue[3] = key;

    showEntered();

}

break; // 0-9

} // -> switch key

} // -> key != no_key

}

void showEntered() // การกด Upper & Lower

{

    lcd.setCursor(13, 1);

    lcd.print(MaxValue[0]);

    lcd.print(MaxValue[1]);

    lcd.print(MaxValue[2]);

    lcd.print(MaxValue[3]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.setCursor(13, 2);

lcd.print(MinValue[0]);

lcd.print(MinValue[1]);

lcd.print(MinValue[2]);

lcd.print(MinValue[3]);

}

```

```

void displayScreen() // แสดงการเลือก ROI

```

```

{
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("REGION OF INTEREST");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print("Upper =");
  lcd.setCursor(3, 2);
  lcd.print("Lower =");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### คำสั่งที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO UNO R3

```
void setup() {
  pinMode(13,OUTPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(13,HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(13,LOW);
  delay(500);
}
```



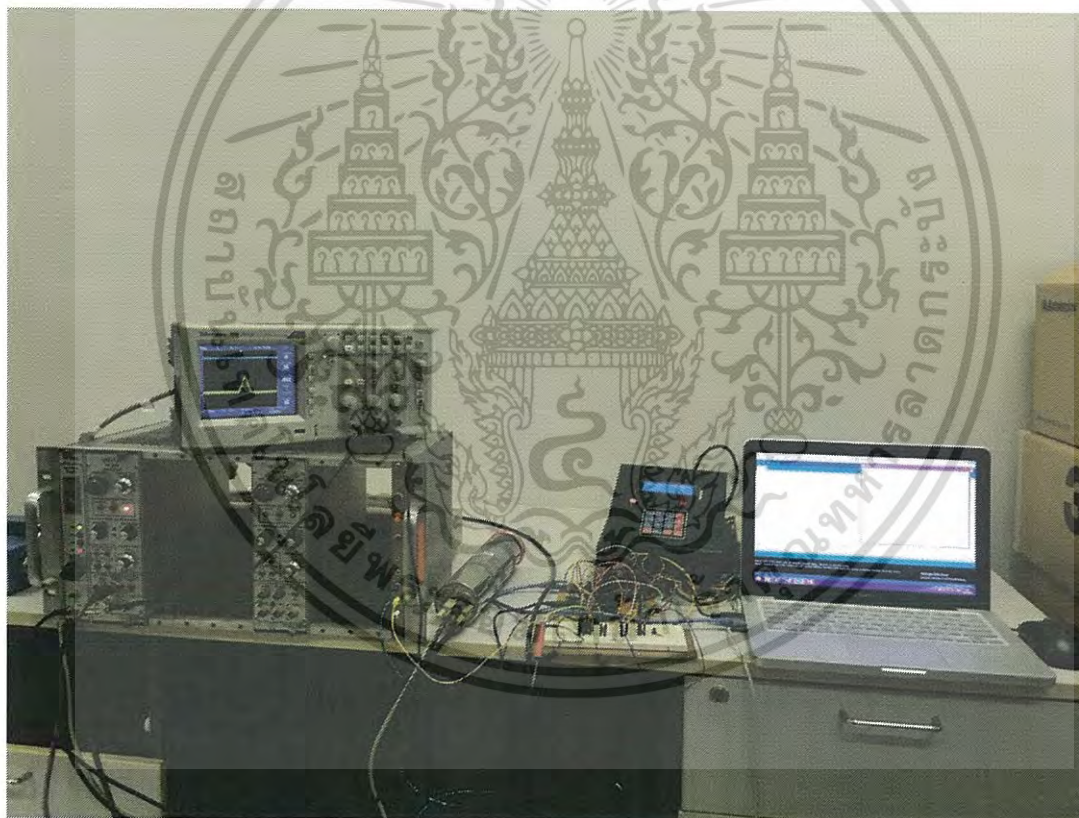
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### คู่มือการใช้งาน

#### 1. บทนำ

เป็นการพัฒนาแนวคิดระบบนับวัดสำหรับการแผ่รังสีไอโอดีนในบริเวณที่กักอากาศ โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแนวคิดและระบบต้นแบบในการวัดรังสีสำหรับการนับวัดสารกัมมันตรังสีไอโอดีนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูกลงเพื่อใช้ในการแผ่รังสีไอโอดีนและฟุ้งกระจายของไอโอดีนในบริเวณกักอากาศ การทำงานของระบบนั้นจะต้องกำหนดช่วงพลังงานของต้นกำเนิดรังสีที่จะให้ระบบวัด (ระบบสามารถวัดได้ทุกย่านพลังงานขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานกำหนด) และหากปริมาณรังสีมีค่าเกินขีดจำกัดที่กำหนดระบบจะทำการแจ้งเตือนเพื่อให้รู้ว่ามีปริมาณรังสีสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้



รูปที่ 6.1 อุปกรณ์แผ่รังสีไอโอดีนของไอโอดีนรังสี (Iodine Monitor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ข้อมูลจำเพาะ

- Arduino mega 2560 ( 5VDC USB , Adapter 200 VAC to 9 VDC)
- Arduino Uno 3 ( 5VDC USB , Adapter 200 VAC to 9 VDC)
- NaI(Tl) detector + preamplifier (800-1200 VDC)
- Amplifier
- Channel 0 to 1023 (10 bit)
- Show cpm on lcd display
- Plot histogram by Microsoft Excel
- Region of interest (ROI) of I-131 is between 143 – 183
- User can set up ROI

## 3. วิธีการทำงาน

### STEP 1.

แสดงหน้าจอเริ่มต้นของอุปกรณ์ต้นแบบอุปกรณ์เฝ้าระวังการรั่วไหลของไอโอดีนรังสี (Iodine Monitor) โดยที่หน้าจอนี้จะสามารถเลือก Region of interest ได้ตามต้องการ โดยแบ่งเป็น Upper และ Lower ตั้งแต่ 1-1023 ช่อง

Upper = ช่วงพลังงานที่มากที่สุดของรังสีที่ต้องการวัด

Lower = ช่วงพลังงานที่น้อยที่สุดของรังสีที่ต้องการวัด

Green LED = สถานะการทำงานปกติ

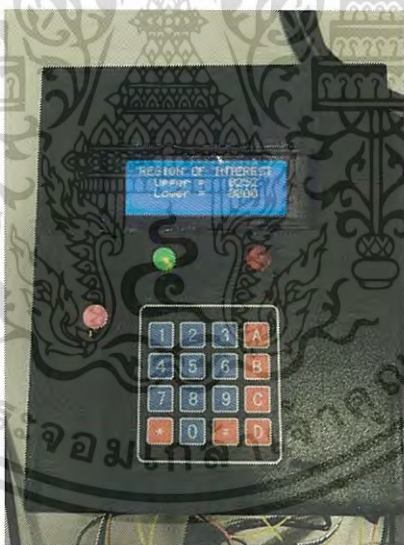
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงหน้าการกำหนดช่วงพลังงาน (Region of interest)

#### STEP 2.

เมื่อเลือก Region of interest ที่ Upper ได้แล้ว จากนั้น กด “A” เพื่อยืนยันช่วงพลังงานที่ต้องการ หน้าจอจะแสดงค่า Upper ที่ผู้ใช้กำหนด ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการเลือก Upper

#### STEP 3.

จากนั้นผู้ใช้จะกำหนด Lower อีกครั้ง โดยให้ค่า Lower น้อยกว่าค่า Upper เสมอ และเมื่อผู้ใช้กด “A” เพื่อยืนยัน อุปกรณ์จะเริ่มนับวัดรังสีทันที และแสดงค่า ROI ที่หน้าจอ Lcd ดังรูปที่ 6.4 เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาทีระบบจึงจะแสดงค่านับวัดดังรูป 6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงการเลือก Upper และ Lower รูปที่ 6.5 แสดงค่านับวัดในทุกๆ 1 นาที

#### STEP 4.

เมื่อค่านับวัด (cpm) เกินขีดจำกัดที่ตั้งไว้คือ 300 count/minute อุปกรณ์จะทำการเตือน และหน้าจอLCD จะแสดงดังรูปที่ 6.6

RED LED = ทำงาน แสดงค่านับวัดเกินขีดจำกัด

BUZZER = ทำงาน แสดงค่านับวัดเกินขีดจำกัด

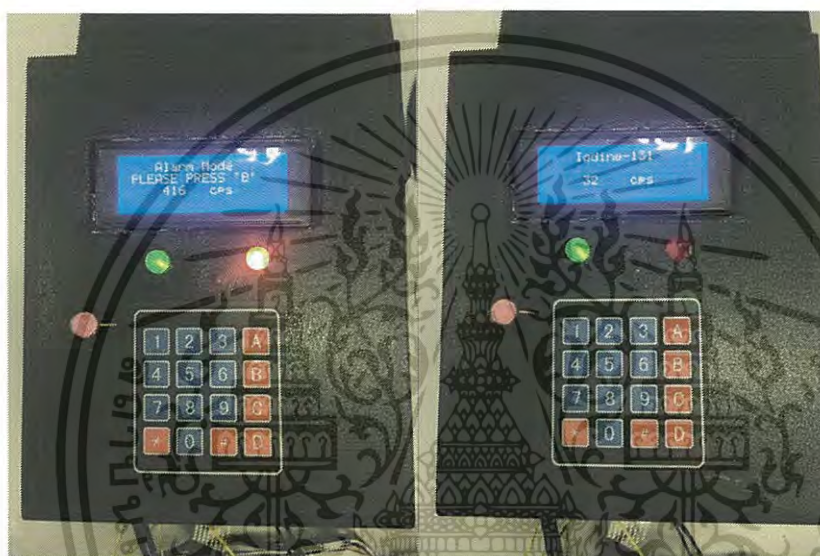


รูปที่ 6.6 แสดงสถานะฉุกเฉิน (Alarm mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## STEP 5.

เมื่อเครื่อง IDM เข้าสู่ สถานะฉุกเฉิน ให้กดปุ่ม B ระบบจะเข้าสู่ Acknowledge Mode เสียง Buzzer ถูกปิด หมายถึง ผู้ใช้งานรับรู้ถึงความผิดปกติที่วัดจากรังสีได้แล้ว จากนั้นผู้ใช้งานควรตรวจสอบพื้นที่และบริเวณโดยรอบเพื่อค้นหาและตรวจสอบต้นเหตุที่ของค่านับวัดที่เกินขีดจำกัด เมื่อผู้ใช้งานตรวจสอบบริเวณปฏิบัติงานโดยแน่ใจแล้วให้ทำการกด “C” เพื่อให้ระบบได้ตรวจวัดรังสีอีกครั้ง หากความแรงรังสียังคงสูงอยู่ (cpm > 300 count/minute) ระบบจะกลับไปสู่สถานะฉุกเฉินอีกครั้ง หากความแรงรังสีอยู่ในเงื่อนไข (cpm < 300 count/minute) ระบบจะกลับไปนับวัดรังสีปกติ



รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบสถานะฉุกเฉินและสถานะปกติ

ตาราง 6.1 การตั้งค่าสั่งด้วย keypad

คีย์	อธิบาย
0 - 9	กำหนด Lower และ Upper
A	ยืนยันค่า Lower/Upper และเริ่มนับวัด
B	ปิดเสียงร้องเตือน (Acknowledge mode)
C	ตรวจสอบขีดจำกัดของค่านับวัด (ในกรณี cpm > 300 จะเข้าโหมดฉุกเฉิน)
D	-
*	รีเซ็ต
#	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การดูแลรักษา

1. อุณหภูมิในการทำงานของเครื่องไม่ควรอยู่ในที่ที่เย็นไปหรือมีความชื้นมากเกินไป เนื่องจาก Keypad ที่ใช้งานกับเครื่องในรุ่นนี้เป็นแบบ Surface plastic เมื่อมีความชื้นเกิดขึ้นมากๆ จะส่งผลต่อการรับค่าจากปุ่มกดทำให้รับค่าได้บ้างและไม่ได้บ้าง ดังนั้นควรรักษาอุณหภูมิไว้อยู่ในอุณหภูมิห้องปกติ
2. หากจะนำสัญญาณรูปไซน์มาจำลองแทนสัญญาณจากหัววัดควรวัด DC OFFSET ของสัญญาณรูปไซน์ให้มีค่า Voltage peak to peak เป็นบวกเสมอ เพราะ Arduino ไม่สามารถใช้งานกับค่าแรงดันที่เป็นลบได้ จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์พัง
3. ไฟเลี้ยงที่ใช้กับ Arduino ใช้ได้ที่ 0 - 9 V หรือห้ามเกิน 9 V เนื่องจาก IC Regulator แรงดันไฟของบอร์ด เมื่อมีการรับไฟเกิน 9 V เป็นต้นไป จะเกิดความร้อนสะสมมากขึ้นอาจส่งผลให้ Arduino Uno เสียให้ได้ (ไม่แนะนำให้ใช้ แหล่งจ่าย 12 VDC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้