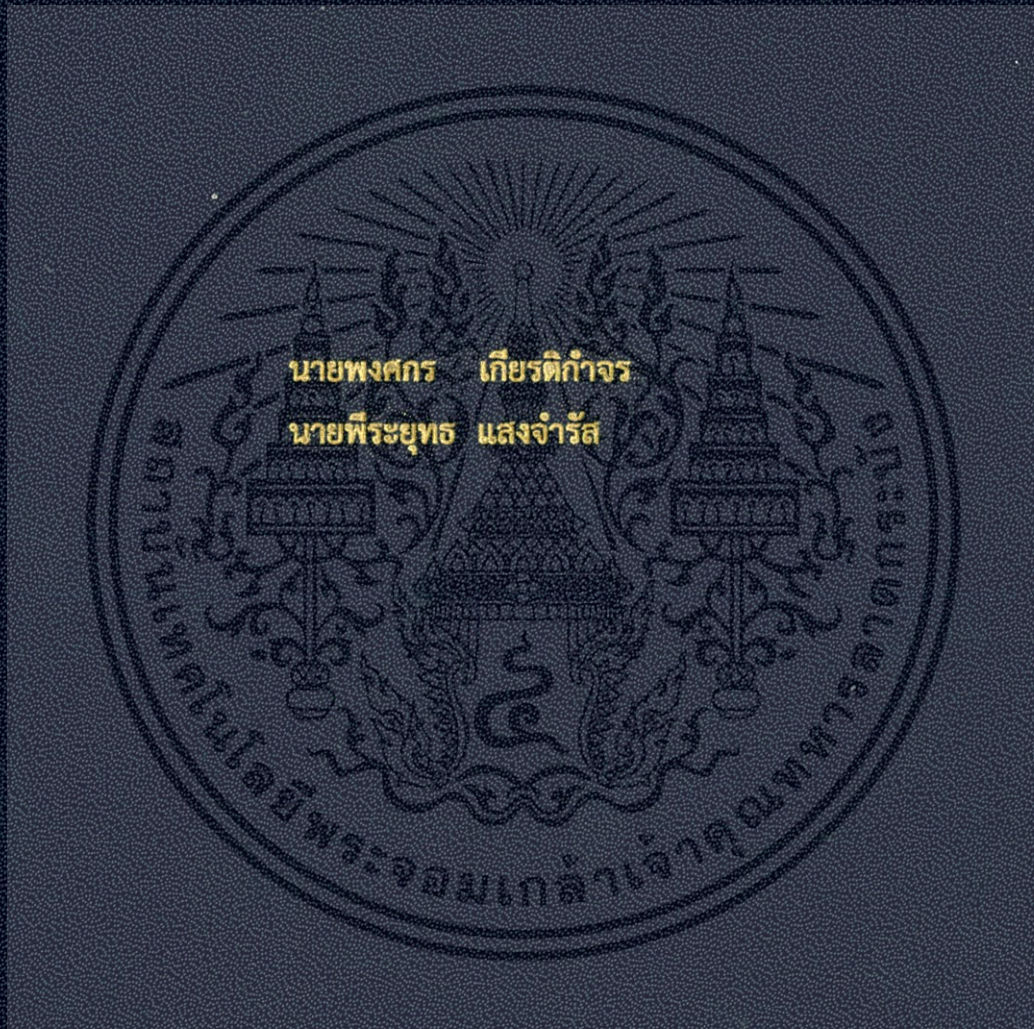


การพัฒนาระบบควบคุมการจับเวลาในการฉายรังสีสำหรับการวิเคราะห์เชิง
ก่อกัมมันตรังสี

DEVELOPMENT OF COUNTDOWN TIMER CONTROLLER SYSTEM
FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การพัฒนาระบบควบคุมการจับเวลาในการฉายรังสีสำหรับการวิเคราะห์เชิง
ก่อกัมมันตรังสี

DEVELOPMENT OF COUNTDOWN TIMER CONTROLLER SYSTEM
FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS



นายพงศกร เกียรติกำจร
นายพีระยุทธ แสงจำรัส

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COUNTDOWN TIMER CONTROLLER SYSTEM
FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS



Mr. PONGSAKORN KAITTIKAMCHORN
Mr. PEERAYUTH SANGJUMLAS

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT 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 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนาระบบควบคุมการจับเวลาในการฉายรังสีสำหรับการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี

DEVELOPMENT OF COUNTDOWN TIMER CONTROLLER SYSTEM FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS

ชื่อนักศึกษา

นายพงศกร เกียรติกำจร รหัสนักศึกษา 54050555

นายพีรยุทธ แสงจำรัส รหัสนักศึกษา 54050564

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2557

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.สาหรัย เล็กชะอุ่ม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.ชนาธิป ทิพยกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. ประธาน บุรณศิริ	
ดร. เจริญฐา รัตนพันธ์	
ดร. ญัฐพร พรหมรส	
รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม	
ดร. ชนาธิป ทิพยกุล	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาระบบควบคุมการจับเวลาในการฉายรังสีสำหรับการวิเคราะห์เชิงกึ่งกัมมันตรังสี
ชื่อนักศึกษา	นายพงศกร เกียรติกำจร รหัสนักศึกษา 54050555 นายพีระยุทธ แสงจำรัส รหัสนักศึกษา 54050564
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชนาธิป ทิพยกุล

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมการจับเวลาในการฉายรังสี ภายในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย (เครื่องปฏิกรณ์ ปบว.-1/1 ที่ใช้งานมานานกว่า 50 ปี โดยทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ใหม่และพัฒนาระบบควบคุมให้มีประสิทธิภาพและการทำงานที่ดีขึ้น โดยผู้จัดทำได้หันมาใช้ บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR (Arduino) ในการประมวลผลในการจับเวลาในการฉายรังสี(ระบบ CCTS) และได้จำลองเส้นทางการถ่ายโอนของวัตถุกับระบบลมโดยใช้ โซลินอยด์วาล์วในการควบคุมทิศทางการลม (ทั้งขาไปและขากลับ) และได้ใช้เซ็นเซอร์แสง ในการตรวจจับวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่มายังพื้นที่ฉายรังสี เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้ในการพัฒนาระบบควบคุมจับเวลาในการฉายรังสี ได้ทำการทดลอง 2 การทดลอง การทดลองแรก ผู้จัดทำได้ทดสอบการทำงานของระบบเซ็นเซอร์ โดยใช้ไฟ LED เป็นแหล่งกำเนิดของแสง และใช้เลเซอร์สีแดง เป็นแหล่งกำเนิดแสงด้วยเช่นกัน และนำค่าจาก LDR ที่รับความเข้มของแสงได้มาเปรียบเทียบกันพบว่า การใช้เลเซอร์สีแดงเป็นแหล่งกำเนิดแสง การตรวจจับวัตถุจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ไฟ LED ถึง 1.5 เท่า ด้วยพลังงานที่สูงกว่าและมีที่ทิศทางที่แม่นยำกว่า การทดลองที่สอง การทดสอบระบบลม พบว่า ยังใช้เวลาในการฉายรังสีมากขึ้น ความดันในบับลมก็จะมีลดลง ตามความสัมพันธ์ของเวลาและแรงดัน เนื่องจากบับลมที่ใช้ในการทำการทดลองเป็นบับขนาดเล็ก จึงทำให้สามารถจับเวลาได้ยังไม่นานเท่าที่ควร

คำสำคัญ : การวิเคราะห์เชิงกึ่งกัมมันตรังสี,Arduino,LDR,ปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย

Title	DEVELOPMENT OF COUNTDOWN TIMER CONTROLLER SYSTEM FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS
Students	Mr. PONGSAKORN KAITTIKAMCHORN Student ID 54050555 Mr. PEERAYUTH SANGJUMLAS Student ID 54050564
Degree	Bachelor of Science Applied Physics
Department	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Assoc. Prof. SARAI LEKCHAUM
Co-advisor	Dr. CHANATIP TIPPAYAKUL

ABSTRACT

This study aims to perform the development of countdown timer controller system for neutron activation analysis in Thai Reactor – 1/Modification 1 (TRR-1/M1). And also to change electronic devices and development control system to be high efficiency and applications better. The author's adopted microcontroller type AVR (Arduino). To process the timer in the radiation system (CTCS). And simulate the transfer of an object with pneumatic transfer system. And use Solenoid valves to control the direction of the wind band (Arrival and departure). And use the light sensor by light dependent resistor to detect when an object moves in the space radiation. To increase the accuracy and safety of the worker. In developing of countdown timer system to radiation has two experiments. In The first experiment. The author can test the functionality of the sensor system and using LED as the light source. And using a red laser as a light source as well. And bring The value of LDR on the light intensity comparison. The experimant found. Using a red laser as a light source. The Detection is better than standard LED lights up to 1.5 times With higher energy and direction more precisely. The second experiment's pneumatic testing. In pneumatic testing if we use the time in radiation more and more. According to the relativity of time and pressure. Because the pump is a small size. As a result, the countdown timer can not use a long enough.

keywords : neutron activation analysis,Arduino,LDR,(TRR-1/M1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้ช่วยศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทั้งด้านขั้นตอนการทำงานและวิชาการที่ดีตลอดมา และยังเสนอแนะสิ่งที่คณะผู้จัดทำทำงานผิดพลาดและตอบข้อสงสัยต่างๆทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจ มีแนวทางที่ถูกต้องในการนำประยุกต์ใช้กับโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ชนาธิป ทิพยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาวิธีการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งช่วยเปิดโลกทัศน์ของข้าพเจ้าในเทคโนโลยีนิวเคลียร์แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ ที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะ และเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้โครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่เสียสละเวลาในการอบรมให้ความรู้ต่างๆด้วยวิธีการที่ถูกต้องเกี่ยวกับการทำงานด้านรังสี เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆสาขาฟิสิกส์ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ บิดา มารดา น้องสาว และบุคคลในครอบครัวของข้าพเจ้า ตลอดจนเพื่อนสนิทของข้าพเจ้า ที่คอยเป็นกำลังใจ แรงผลักดัน ให้ข้าพเจ้าทำงานโครงการพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

นายพงศกร เกียรติกำจร
นายพีระยุทธ แสงจรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และคัดลอกอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์	4
2.1.1 แกนเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor core)	5
2.1.2 สะพานยึดเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor bridge)	5
2.1.3 สะพานเครื่องมือการทดลอง (Auxiliary bridge)	5
2.1.4 สระน้ำเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor pool)	5
2.1.5 ท่อนำนิวตรอน (Beam port)	6
2.2 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน	6
2.2.1 แหล่งกำเนิดนิวตรอน	7
2.2.2 การจำแนกชนิดของนิวตรอน	8
2.3 การวิเคราะห์ธาตุโดยการอาบรังสีนิวตรอน (Neutron Activation Analysis, NAA)	9
2.3.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)	10
2.3.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)	10
2.4 ท่ออาบรังสีระบบนิวเมตริก (Pneumatic sample transfer system)	12
2.5 ระบบถ่ายโอนตัวอย่างด้วยลม (Pneumatic Transfer System)	15
2.5.1 ข้อดีของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม	15
2.5.2 ส่วนประกอบของระบบ	15
2.5.3 ตัวต้นกำเนิดลม	16
2.5.4 ตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อลำเลียง	16
2.5.5 ท่อลำเลียงวัสดุ	16
2.6 ระบบปิด	16
2.7 Arduino	16
2.7.1 Arduino Uno 3	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 เซนเซอร์ (Sensor)19	
2.8.1 (LDR : Light Dependent Resistor)	19
2.9 วาล์วและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม	20
2.9.1 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด	21
2.9.2 โซลินอยด์วาล์ว(Solenoid)	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 การศึกษาตำแหน่งของท่ออาบรังสีในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย	27
3.2 การศึกษาระบบถ่ายโอนตัวอย่างด้วยลม	28
3.3 การออกแบบโครงสร้างของระบบ Pneumatic Transfer System (PTS) สำหรับ	29
3.3.1 การออกแบบและการประกอบของท่อด้วยวัสดุยางโปร่งใส	29
3.4 ระบบตรวจจับวัตถุด้วยเซ็นเซอร์แสง	30
3.4.1 การทำงานของ LDR : Light Dependent Resistor	31
3.5 ระบบตรวจจับวัตถุอุณหภูมิด้วยโมดูลนาฬิกา DS3231	32
3.6 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานสำหรับการนับเวลาในการฉายรังสี	36
3.6.1 การแสดงผล	41
3.6.2 การออกคำสั่งในการจับเวลา	42
3.7 ระบบขนถ่ายลม	43
3.8 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์การทำงาน	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	45
4.1 การทดสอบการทำงานระบบจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์แสง	45
4.1.1 การทดสอบระบบเซ็นเซอร์โดยใช้ LED 5V	45
4.1.2 การทดสอบระบบเซ็นเซอร์โดยใช้ Laser 5V	48
4.2 การทดสอบการทำงานของระบบลม	51
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการทดลองจากการทดสอบการทำงานระบบการจับเวลาในการฉายรังสี	54
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	54
5.3 ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย	4
2.2 แกนเครื่องปฏิกรณ์	5
2.3 สะพานยึดเครื่องปฏิกรณ์และสะพานเครื่องมือการทดลอง	5
2.4 สระน้ำเครื่องปฏิกรณ์	6
2.5 เครื่องปฏิกรณ์วิจัย ปปว.-1/1	6
2.6 แสดงตำแหน่งท่ออาบรังสีภายนอกแกนเครื่องปปว.-1/1	13
2.7 ระบบอาบรังสีด้วยลมภายในเครื่องปฏิกรณ์ปปว.-1/1	13
2.8 ทิศทางของท่ออาบรังสีด้วยลม	14
2.9 แผนผังการทำงานระบบอาบรังสีด้วยลมของเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.-1/1	14
2.10 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ Arduino	17
2.11 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ Arduino รุ่น Uno 3	18
2.12 ตารางเปรียบเทียบความสามารถของบอร์ด Arduino ในแต่ละรุ่น	18
2.13 รูปแสดงการทำงานของ LDR ตอนมืดและตอนสว่าง	19
2.14 ความต้านทานไวแสง LDR	20
2.15 สัญลักษณ์ โซลินอยด์วาล์ว 3/2	25
2.16 โซลินอยด์วาล์ว 2/3	26
3.1 ตำแหน่งต่างๆของท่ออาบรังสีนิวเมตริกในเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.1/1	27
3.2 ภาพการทำงานระบบการจับเวลาสำหรับการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี	28
3.3 โครงสร้างท่อในระบบ และเส้นทางการถ่ายโอนตัวอย่าง	29
3.4 LDR : Light Dependent Resistor และโครงสร้างภายใน	30
3.5 วงจรตรวจจับแสง	31
3.6 วิธีต่อ DS3231 module เข้ากับ Arduino	32
3.7 บอร์ด Arduino R3	36
3.8 ภาพแสดงการต่อวงจรร่วมกันระหว่าง บอร์ด Arduino R3 และ จอแสดงผล LCD	42
3.9 วิธีต่อ Keypad เข้ากับ Arduino	42
3.10 การทำงานของ Solenoid Valve 3/2 และสัญลักษณ์	43
3.11 ไตอะแกรมของการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการทำงาน	44
3.12 วงจรรวมของระบบ	44
4.1 วงจรของการทดลอง	46
4.2 ไตอะแกรมของการทำงานของระบบ	46
4.3 กราฟความสัมพันธ์ของ V_{in} และ ค่าลอจิก ของ LED	48
4.4 วงจรของการทดลอง	49
4.5 กราฟความสัมพันธ์ของ V_{in} และค่าลอจิก ของเลเซอร์	50
4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ V_{in} และ ค่าลอจิก ของ LED และ laser	51
4.7 กราฟความสัมพันธ์ความดันคงเหลือ (kPa) และเวลา (s)	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔP และ เวลา (s)	53
4.9 การจัดวางระบบการจับเวลาในการฉายรังสี	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ขั้นตอนวิจัยและการดำเนินงาน	2
2.3 การแยกแยะแหล่งกำเนิดนิวตรอนของแอลฟา – เบริลเลียม	8
2.4 สัญลักษณ์และความหมายของวาล์ว	21
2.5 รหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุม	22
2.6 เส้นและหัวลูกศรที่เขียนเป็นสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง	22
4.1 ค่าแรงดันและสถานะลอจิก ของ ไฟ LED	47
4.2 ค่าแรงดันและสถานะลอจิก ของ แสงเลเซอร์	49
4.3 ระยะเวลามากสุดในการฉายรังสี	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เป็นเวลามากกว่า 50 ปีแล้ว ที่ประเทศไทยเริ่มมีการใช้เทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์ นับตั้งแต่เมื่อวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2505 ในปัจจุบันเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยเดิมได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเรียกชื่อรุ่นว่า “เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย 1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 : บปว.-1/1” โดยลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์วิจัยเป็นรูปทรงกระบอกยาวติดตั้งอยู่ภายในสระน้ำขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำเป็นสารระบายความร้อน และสารหน่วงนิวตรอน (เพื่อลดปฏิกิริยาฟิชชัน) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันภายในเครื่องปฏิกรณ์เกิดจากนิวตรอนเร็วจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน (เบริลเลียม) ทำปฏิกิริยาฟิชชันกับเนื้อเชื้อเพลิงชนิดยูเรเนียมเซอร์ไฮโดรด์ (UZrH) ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งหากต้องการทราบจำนวนนิวตรอนฟลักซ์ที่เกิดขึ้นภายในบริเวณต่างๆของแกนเครื่องปฏิกรณ์ต้องกระทำโดยการทดลองวัดนิวตรอนฟลักซ์ ซึ่งขั้นตอนในปัจจุบันใช้วิธีการวิเคราะห์แผ่นวัสดุ (Foil Activation) ในการหาจำนวนนิวตรอนฟลักซ์ที่เกิดขึ้นภายในบริเวณต่างๆของแกนเครื่องปฏิกรณ์ และนำมา โดยใช้แผ่นทองคำ (Au) และแผ่นอะลูมิเนียม (Al) อาบรังสีนิวตรอนภายในท่ออาบรังสีตำแหน่งต่างๆในแกนเครื่องปฏิกรณ์ โดยที่แต่ละตำแหน่งภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์มีความเหมาะสมในการอาบนิวตรอนที่แตกต่างกันไป ซึ่งผลที่ได้จากการวัดนิวตรอนฟลักซ์ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ จะนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี (Neutron Activation Analysis) เพื่อวิเคราะห์หาชนิดของธาตุที่ต้องการทราบ รวมทั้งการอาบรังสีนิวตรอนเพื่อผลิตสารไอโซโทปทางการแพทย์ นอกจากนี้ยังใช้ในการอาบอัญมณีเพื่อเพิ่มมูลค่าซึ่งอาศัยการอาบนิวตรอนที่ระยะเวลาสั้น เพื่อเปลี่ยนสมบัติบางประการให้อัญมณีมีสีสรรสวยงามมากขึ้น

จากวิธีการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี (Neutron Activation Analysis) ที่กล่าวมา สามารถทดลองได้โดยนำสารตัวอย่าง ที่ต้องการอาบรังสี ใส่ลงไปในแคปซูลและส่งสารตัวอย่างเดินทางผ่านไปในท่ออาบรังสีด้วย ซึ่งท่ออาบรังสีนี้จะใช้ระบบ (Pneumatic transfer system) ในการส่งสารตัวอย่างเพื่ออาบรังสีภายในเครื่องปฏิกรณ์ (อาจเรียกท่ออาบรังสีระบบนิวเมตริก สั้นๆว่า ท่อ ‘rabbit’ ซึ่งทำการเชื่อมต่อระหว่างห้องทดลองกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้ระบบลมในการเคลื่อนย้ายสารตัวอย่าง มีเส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งประมาณ 6 cm. และเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดทดลองไม่เกิน 3 cm. อยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากเครื่องปฏิกรณ์ 13 cm. ในการอาบรังสีแต่ละครั้ง จะอาบไม่เกิน 10 นาที) ท่อ rabbit จะวางท่ออยู่ในแนวตั้ง ซึ่งขนานกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อหลอดทดลองเคลื่อนที่ตามท่อจะส่งผ่านผนังสระน้ำและต่อไปยังแกนเครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำการอาบรังสี

ซึ่งโครงการพิเศษนี้จะเป็นการศึกษาระบบควบคุมการจับเวลา (Countdown Timer Controller System) และอธิบายถึงวิธีการสร้างและการทำงานของระบบ โดยจะมีการจำลองระบบ (Pneumatic Transfer System) ขึ้นมาใหม่ โดยใช้ โดยใช้ Microcontroller : Arduino R3 รุ่นใหม่ในปัจจุบัน และเซ็นเซอร์แสงเพื่อทำการจับเวลาในการอาบรังสี ซึ่งระบบที่กล่าวมานี้จะเป็นระบบที่มีการออกแบบขึ้นใหม่และใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รุ่นใหม่ทั้งระบบ (เนื่องจากระบบเดิมนั้นมีการใช้งานมากกว่า 50 กว่าปีแล้ว) เพื่อให้มีความเหมาะสม กับการศึกษาการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี (Neutron Activation Analysis) ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้าง การจัดการ และการทำงานของท่ออาบรังสี ภายในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1
2. เพื่อศึกษาและออกแบบการทำงานของระบบการจับเวลาในการฉายรังสี (Countdown Timer Controller System)
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี (Neutron Activation Analysis)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของท่ออาบรังสีและระบบการจับเวลา และศึกษาลักษณะคุณสมบัติของตำแหน่งท่ออาบรังสี
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรม Microcontroller : Arduino และ ภาษาซี
3. ศึกษาการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี (Neutron Activation Analysis) ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.-1/1
4. ทำการทดสอบการทำงานของระบบ และศึกษาผลการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
5. สรุปผลการทดลอง

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนวิจัยและการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
มิถุนายน - กรกฎาคม พ.ศ. 2557	- ค้นคว้า รวบรวมข้อมูล และหาหลักการทำงานของระบบ Countdown Timer Controller System (CTCS)
สิงหาคม - กันยายน พ.ศ. 2557	- ค้นคว้าและศึกษาโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม Countdown Timer Controller System (CTCS)
ตุลาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2557	- ทำการสร้างและทดลองการทำงานของ Countdown Timer Controller System (CTCS) - เก็บรวบรวมข้อมูลและทดสอบหาประสิทธิภาพจากชิ้นงานกับโปรแกรมจำลองเหตุการณ์ด้านรังสี
มกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2558	- นำข้อมูลที่ได้มาสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบต่างๆ ภายในเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.-1/1 และมีความรู้ความเข้าใจการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ และสามารถอธิบายขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.-1/1 ได้

2. สามารถเขียนโปรแกรม Arduino และ ภาษาซีได้ และสามารถถ่ายทอดขั้นตอนการเขียนโปรแกรม Arduino อย่างง่าย ๆ ให้แก่ผู้ที่สนใจได้

3. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการทำงานของระบบ Countdown Timer Controller System (CTCS) กับ การวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี (Neutron Activation Analysis) ได้

4. สามารถมีความรู้และความเข้าใจถึงความปลอดภัยที่จะนำเทคโนโลยีนิวเคลียร์จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไปใช้ประโยชน์ในด้านการศึกษา งานวิจัย และอุตสาหกรรม ได้อย่างเหมาะสม

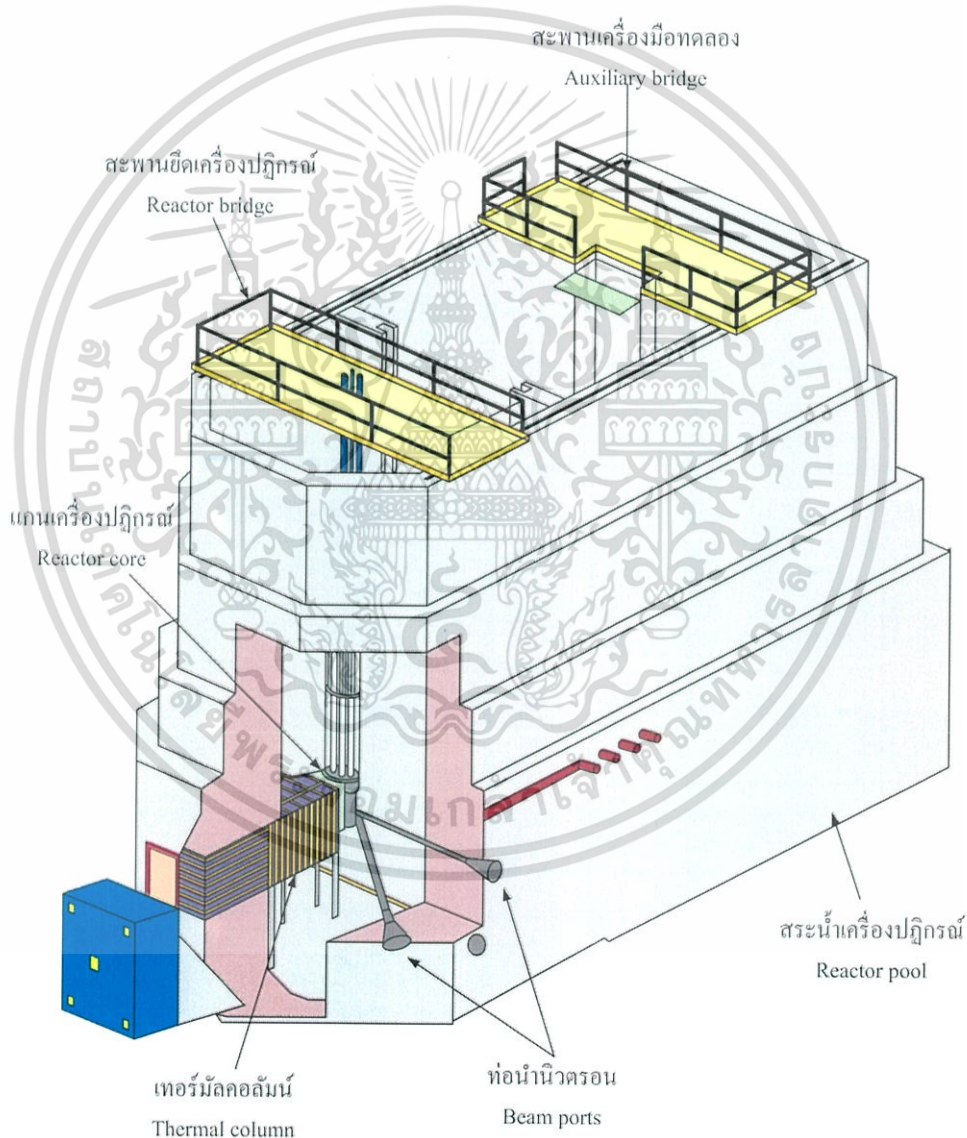


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์

โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ถูกออกแบบเพื่อตอบสนองการใช้งานกลไกภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ ทางเทอร์มัลไฮโดรริก และนิวเทอร์นิกภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ หากสังเกตโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์จะมีบางส่วนที่ใช้ประโยชน์ในการศึกษานิวตรอนที่เกิดขึ้นภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นโครงสร้างโดยรอบของเครื่องปฏิกรณ์ โดยจะอธิบายให้หัวข้อต่อไป

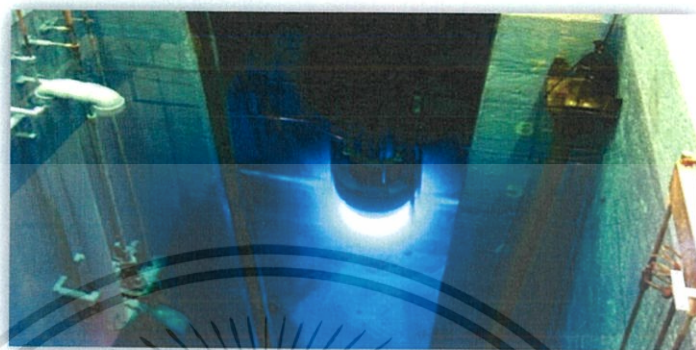


รูปที่ 2.1 โครงสร้างเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 แกนเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor core)

แกนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์, บริเวณส่วนกลางเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ประกอบด้วย เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ แท่งควบคุม สารหน่วงนิวตรอน และโครงสร้างที่รองรับอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้จะเป็น ยูเรเนียมเซอร์ไฮไดร UZrH



รูปที่ 2.2 แกนเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor core)

2.1.2 สะพานยึดเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor bridge)

มีหน้าที่ในการยึดแกนของเครื่องปฏิกรณ์ไม่ให้เคลื่อนที่ไปไหน

2.1.3 สะพานเครื่องมือการทดลอง (Auxiliary bridge)

เป็นสะพานที่ใช้เป็นพื้นที่ในการทดลองต่างๆเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์ เช่น การอบรังสีด้วยนิวตรอน เป็นต้น

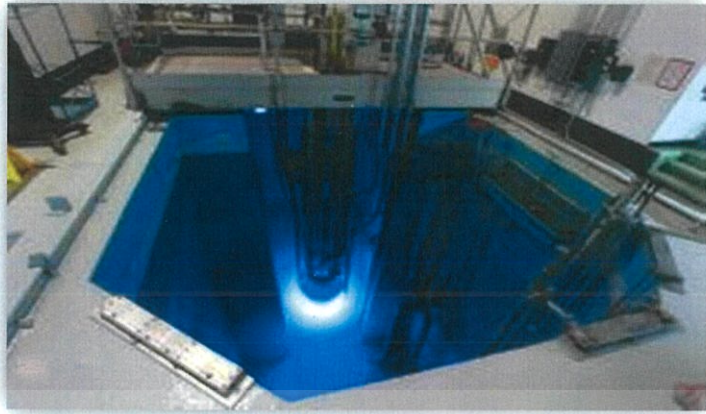


รูปที่ 2.3 สะพานยึดเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor bridge) และ สะพานเครื่องมือการทดลอง (Auxiliary bridge)

2.1.4 สระน้ำเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor pool)

สระน้ำจะเป็นสิ่งที่ป้องกันการแผ่รังสีของเครื่องปฏิกรณ์ เนื่องจากน้ำนั้นมีความหนาแน่นสูง เป็นสิ่งก้ำบังระหว่างแกนปฏิกรณ์กับสิ่งแวดล้อมภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



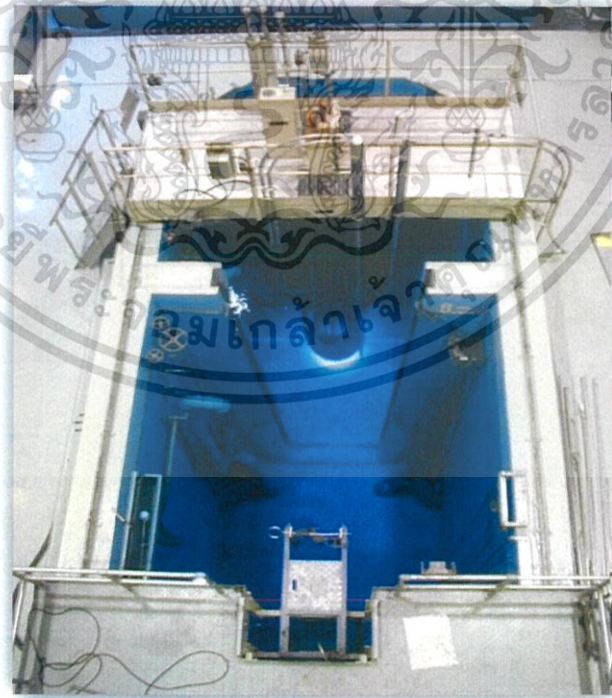
รูปที่ 2.4 สระน้ำเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor pool)

2.1.5 ท่อนำนิวตรอน (Beam port)

เป็นท่อนำนิวตรอนจากแกนเครื่องปฏิกรณ์โดยตรงซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนซึ่งจะใช้ท่อนำนี้ในการรับนิวตรอน

2.2 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน

เครื่องปฏิกรณ์แบบวิจัย (Research reactor) ให้ความเข้มนิวตรอน $10^{13-15} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$



รูปที่ 2.5 เครื่องปฏิกรณ์วิจัย ปปว.-1/1 ขนาด 1.2 MW ความเข้มนิวตรอน $10^{11-13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แหล่งกำเนิดนิวตรอน

นิวตรอนจะถูกผลิตได้ 2 กระบวนการ คือ 1. การระดมยิงนิวเคลียร์ 2. การแบ่งแยกปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ โดยส่วนใหญ่ภายในห้องปฏิบัติการขนาดเล็กจะใช้แหล่งกำเนิดนิวตรอนมากกว่าเครื่องปฏิกรณ์ แต่ในทางกลับกันจำนวนนิวตรอนภายในเครื่องปฏิกรณ์จะเพิ่มจำนวนขึ้นมาก แหล่งกำเนิดนิวตรอนที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้หลักการระดมยิงนิวเคลียร์นั้นมี 2 แบบ คือ

1. โดยอาศัยแหล่งกำเนิดสารกัมมันตรังสี
2. โดยอาศัยเครื่องเร่งอนุภาคที่มีประจุโดยอาศัยความต่างศักย์สูง

อุปกรณ์ที่ใช้แหล่งกำเนิดกัมมันตรังสีนั้นจะเรียกทั่วไปว่า “ปืนใหญ่นิวตรอน” (howitzer) หรือ ถ้านำก้อนยูเรเนียมมาหุ้มรอบแหล่งกำเนิดนิวตรอนซึ่งเป็นทวีคูณจำนวนนิวตรอนที่เกิดขึ้นโดยผ่านการแบ่งแยกนิวเคลียส อุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่า “เครื่องปฏิกรณ์ไต้วิฤต” แหล่งกำเนิดนิวตรอนมีส่วนประกอบของผงเบริลเลียมผสมกับตัวปลดปล่อยรังสีแอลฟาในรูปคล้ายเม็ดยา นิวตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยปฏิกิริยา (α, n) ของเบริลเลียมเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ปฏิกิริยาที่ผลิตนิวตรอนอื่นๆ คือ



ในแต่ละปฏิกิริยานี้จำเป็นต้องอาศัยแหล่งกำเนิดกัมมันตรังสีของอนุภาคที่ใช้ระดมยิง หรือ โฟตอนธาตุอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องก็มีโบรอนและลิเทียม ซึ่งจะปลดปล่อยนิวตรอนออกมาเมื่อถูกระดมยิงด้วยอนุภาคแอลฟา แหล่งกำเนิดแอลฟาเพื่อใช้ในวัตถุประสงค์นี้ประกอบด้วย Ra-226, Ra-DEF, Po-210, Th-228, Pu-239 และ Ac-227 ซึ่งสามารถแยกแยะแหล่งกำเนิดนิวตรอนได้ดังตารางที่ 2.3

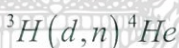
แหล่งกำเนิดนิวตรอนพลูโทเนียม - เบริลเลียมนั้นเป็นแหล่งกำเนิดที่มีครึ่งชีวิตยาวนานสามารถผลิตนิวตรอนได้สูง ฟลักซ์แกมมาต่ำ และราคาไม่สูงมากนัก แฮตซ์ (Hertz) ได้รายงานวว่าแหล่งกำเนิดนิวตรอนเหล่านี้ผลิตภายในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ลอสอลามอส โดยวิธีของเทต (Tate) และคอฟฟินเบอร์รี่ (Coffinberry) ได้นำเอาพลูโทเนียมและเบริลเลียมมาเผาด้วยกันในเบ้าของเบริลเลียมออกไซด์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบให้ความร้อนออกมาผลลัพธ์ที่ได้จากการเกิดของผสมคือ PuBe_{13} ส่วนวิธีของริชมอนด์ (Richmond) และ เวลล์ (Well) ได้พัฒนาขึ้นภายในห้องปฏิบัติการโมลต์ เมืองไมอามิสเฟอริก มลรัฐโอไฮโอ โดยใช้วิธีจนถึงปี ค.ศ.1960 ได้นำเม็ดพลูโทเนียมเข้ามาแทนที่มวลของเบริลเลียมและหุ้มด้วยภาชนะแทนทาลัมและนำเอาภาชนะโลหะไร้สนิมหุ้มอีกชั้นหนึ่ง

ตารางที่ 2.3 การแยกแยะแหล่งกำเนิดนิวตรอนของแอลฟา – เปริลเลียม [8,p144]

แหล่งกำเนิด	ครึ่งชีวิต	ผลิตผล (n/s/Ci)	ฟลักซ์นิวตรอน ที่ 1 เมตร (n/cm ² /s)	รังสีแกมมาที่ให้ (mr-h-m/Ci)
²²⁶ Ra:Be	1620 y	1.2×10 ⁷	95	850
Ra – DEF:Be	21 y	2.6×10 ⁶	20.7	22
²¹⁰ Po:Be	138 d	2.6×10 ⁶	20.7	0.1
²²⁸ Th:Be	1.9 y	1.8×10 ⁷	143	575
²³⁹ Pu:Be	24360 y	2.2×10 ⁶	17.5	3.7
²²⁷ Ac:Be	22 y	1.8×10 ⁷	143	146

ป็นใหญ่นิวตรอนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดนิวตรอนที่หุ้มด้วยพาราฟินหรือน้ำภายในภาชนะพลาสติก อะลูมิเนียม หรือ โลหะไร้สนิม จะมีปล่องหรือช่องที่เจาะทะลุถึงแหล่งกำเนิดนิวตรอน รวมทั้งจะมีการเตรียมพื้นที่และตำแหน่งใช้สำหรับวางสารตัวอย่างเพื่ออาบรังสีนิวตรอน หรือจะทำได้เพื่อเป็นตัวผลิตลำนิวตรอน พาราฟินและน้ำนั้นอุดมไปด้วยโปรตอนดังนั้นใช้เป็นตัวลดระดับพลังงานของนิวตรอนได้ดีเป็นอย่างยิ่ง โดยการที่นิวตรอนเร็วจะชนกับโปรตอนพร้อมกับสูญเสียพลังงานจนลจลงไปอย่างรวดเร็วท้ายที่สุดก็จะวิ่งช้ากลายเป็นเทอร์มัลนิวตรอน

ตัวกำเนิดนิวตรอนซึ่งใช้เพื่อการผลิตนิวตรอนนั้นราคายังไม่สูงมาก โดยเครื่องชนิดนี้จะเป็นเครื่องเร่งอนุภาคที่จะให้อนุภาคดิวเทรอนพลังงานสูงออกมา เมื่อให้อนุภาคเหล่านี้ชนกับเป้าของ ³H – เซอร์โคเรเนียมไฮไดรด์ (Zr³H₄) จะให้นิวตรอนออกมาตามปฏิกิริยา



ซึ่งลักษณะของแหล่งกำเนิดนิวตรอนสามารถผลิตนิวตรอนได้ถึง 10⁸ ตัวต่อวินาทีนิวตรอนฟลักซ์ที่ได้จะสูงกว่าเครื่องป็นใหญ่นิวตรอนประมาณ 10 ถึง 50 เท่า

2.2.2 การจำแนกชนิดของนิวตรอน

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ มวล 1.008665 amu เป็นองค์ประกอบของนิวเคลียส ยกเว้นอะตอมของไฮโดรเจน เมื่ออยู่ในนิวเคลียส นิวตรอนจะเป็นอนุภาคที่อยู่ตัว แต่เมื่ออยู่เป็นอิสระ จะสลายตัวให้อนุภาคบีตาและโปรตอน ด้วยครึ่งชีวิต 12.8 วินาที ดังสมการ



จำแนกนิวตรอนนั้นอาศัยพลังงานและความเร็วของนิวตรอนเป็นหลัก

1.นิวตรอนช้า (slow neutron) หมายถึง อนุภาคนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำ 1 keV อาจจำแนกได้เป็น

- เทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) มีพลังงานเฉลี่ย 0.025 eV ที่ 20 °ซ.
- เรโซแนนซ์นิวตรอน (resonance neutron) หรือ อีพิลเทอร์มัลนิวตรอน (epithermal neutron) มีพลังงานอยู่ในช่วง 0.025-100 eV

2.นิวตรอนเร็ว (fast neutron) หมายถึง อนุภาคนิวตรอนที่มีพลังงานสูงกว่า 1 keV อาจจำแนกได้เป็น

- นิวตรอนปานกลาง (intermediate neutron) มีพลังงานอยู่ในช่วง 1-500 keV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นิวตรอนพลังงานสูง (high energy neutron) มีพลังงานอยู่ในช่วง 0.5-20 MeV
- นิวตรอนสัมพัทธภาพ (relativistic neutron) มีพลังงานสูงกว่า 20 MeV

การจำแนกเทอร์มัลนิวตรอนถูกจำแนกจากค่าพลังงานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับค่าพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลอากาศ ณ อุณหภูมิห้อง พลังงานของนิวตรอนเหล่านี้จะกระจายแบบแมกซ์เวลล์ซึ่งจะไปตามทฤษฎีจลน์ เทอร์มัลนิวตรอนเป็นนิวตรอนที่เคลื่อนที่ช้าเกิดจากนิวตรอนเร็วถูกทำให้ช้าลงด้วยกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการชนหลายครั้งกับนิวเคลียส

อันตรกิริยาของนิวตรอนเกิดจากนิวตรอนมีคุณสมบัติเป็นตัวกลางทางไฟฟ้าจึงไม่มีกำแพงที่จะป้องกันไม่ให้ทั้งเทอร์มัลนิวตรอนและนิวตรอนเร็ววิ่งเข้าชนกับนิวเคลียสของอะตอมซึ่งนิวตรอนอาจจะทำอันตรกิริยากับนิวเคลียสแบบยึดหยุ่นหรือไม่ยึดหยุ่นก็ได้ หรือจะถูกจับด้วยนิวเคลียสก็ได้

การกระเจิงแบบยึดหยุ่น เป็นการกระเจิงเบื้องต้นของการทำให้นิวตรอนลดความเร็วลง ในการชนแบบยึดหยุ่นนี้ค่าพลังงานทั้งหมดและโมเมนตัมรวมทั้งหลายของนิวตรอนและนิวเคลียสจะมีค่าคงที่ นั่นคือไม่มีการสูญเสียพลังงานในรูปของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเลย ธาตุที่ใช้ทำเป็นตัวลดระดับพลังงานนิวตรอนนี้ส่วนใหญ่จะใช้คาร์บอนและไฮโดรเจน การชนของนิวตรอนกับไฮโดรเจนนั้นจะเป็นการชนแบบยึดหยุ่น การที่ไฮโดรเจนมีประสิทธิภาพสูงในการใช้เป็นการลดระดับพลังงานเนื่องจากมวลของไฮโดรเจนมีความใกล้เคียงกับนิวตรอนมาก และพาราฟิน น้ำ รวมทั้งสารที่มีไฮโดรเจนเข้มข้นก็เหมาะที่จะใช้เป็นตัวลดพลังงานนิวตรอน

2.3 การวิเคราะห์ธาตุโดยการอาบรังสีนิวตรอน(Neutron Activation Analysis, NAA)

การวิเคราะห์โดยการอาบนิวตรอน เป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์ในการหาชนิดและปริมาณของ ธาตุในสารตัวอย่าง หลักการของวิธีนี้ก็คือ การนำไอโซโทปเสถียรของธาตุไปทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับ นิวตรอน จะเกิดเป็นไอโซโทปรังสี ตัวอย่างเช่น



ไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ อายุครึ่งชีวิต (Half Life) ชนิดของรังสีและพลังงานของรังสีที่แผ่ออกมา ดังนั้น ถ้าทำการวัดรังสีที่แผ่ออกมา เช่น รังสีแกมมา เป็นต้น จากพลังงานของ รังสีแกมมาที่วัดได้ จะทำให้สามารถระบุถึงชนิดของไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้น จำนวนอะตอมของไอโซโทป รังสีที่เกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยา หรือการอาบ (N(t_i)) หาได้จาก

$$N(t_i) = \frac{N_0 \sigma \phi}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad \dots (1.2)$$

หรือ
$$N(t_i) = N_0 \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad \dots (1.3)$$

เมื่อ $A(t_i) =$ ค่ากัมมันตภาพของไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการอาบ มีหน่วยเป็น dps

$$= \lambda N(t_i)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N_0 = จำนวนอะตอมของไอโซโทปเสถียรในสารตัวอย่าง

ϕ = นิวตรอนฟลักซ์ มีหน่วยเป็น $n/cm^2 \cdot sec$

σ = ค่าภาคตัดขวาง (cross section) ในการจับนิวตรอน มีหน่วยเป็น barn (b) โดยที่
 $1 b = 10^{-24} cm^2$

λ = ค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) = $\frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$

t_i = เวลาที่ใช้อบนิวตรอน (Irradiation time)

$T_{\frac{1}{2}}$ = อายุครึ่งชีวิต (Half-life)

ค่ากัมมันตภาพของไอโซโทปรังสีที่เวลา t_d ใดๆ เริ่มนับตั้งแต่สิ้นสุดการอบ ($A(t_d)$) จะมีการลดลง เนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสี และค่าดังกล่าว จะหาได้จาก

$$A(t_d) = A(t_i)e^{-\lambda t_d} \dots (1.4)$$

$$At_d = N\sigma\phi(1 - e^{-\lambda t_i})e^{-\lambda t_d} \dots (1.5)$$

2.3.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาว่าในสารตัวอย่างประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง โดยการนำสารตัวอย่างที่อบนิวตรอนแล้ว มาวัดพลังงานของรังสีแกมมาที่ให้ออกมา ในบางกรณีอาจจะมีการวัดหาค่าอายุครึ่งชีวิตด้วย จากข้อมูลพลังงานของรังสีแกมมา และอายุครึ่งชีวิต เมื่อนำมาเทียบกับข้อมูลอ้างอิง เช่น Gamma-Ray Catalogue เป็นต้น ก็จะสามารถระบุชนิดของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

2.3.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของธาตุที่สนใจในสารตัวอย่าง การวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีนิยมใช้ได้แก่วิธีเปรียบเทียบ (Comparative method) การใช้วิธีนี้สิ่งที่จำเป็นจะต้องมีก็คือ สารมาตรฐานซึ่งรู้ปริมาณที่แน่นอนของธาตุต่างๆ ที่ประกอบอยู่ สารมาตรฐานอาจจะใช้สารเคมีบริสุทธิ์ หรือเตรียมขึ้นเองโดยการผสมสารเคมีของธาตุต่างๆ เข้าด้วยกัน หรือการใช้สารมาตรฐานอ้างอิง (Standard reference material) ซึ่งเตรียมขึ้นโดยสถาบันมาตรฐานในแต่ละประเทศ

ในการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุ มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ คือ

ก. เตรียมสารตัวอย่าง และสารมาตรฐาน

ข. นำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานไปอบรังสีนิวตรอน โดยใช้ตำแหน่งที่อบที่เดียวกัน ใช้เวลาในการอบเท่ากัน ทั้งนี้ก็เพื่อให้สารตัวอย่างและสารมาตรฐานได้รับนิวตรอนฟลักซ์เท่ากัน

ค. นำสารตัวอย่าง และสารมาตรฐานไปวัดรังสีแกมมา โดยใช้เวลาในการวัดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. คำนวณหาพื้นที่สุทธิใต้พีคของพลังงานรังสีแกมมาที่ให้ออกมาจากไอโซโทปรังสีที่ต้องการหาปริมาณ

จ. คำนวณหาปริมาณของธาตุ

วิธีการคำนวณหาปริมาณ

สมมติว่าทำการวัดรังสีของสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน หลังจากที่ยสลายตัวเป็นเวลา At_{d1} และ At_{d2} ตามลำดับ ดังนั้นจากสมการที่ (1.5) จะเขียนได้ว่า

$$\text{สารตัวอย่าง } A_X(t_{d1}) = N_X \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_{d1}} \quad \dots (1.6)$$

$$\text{สารมาตรฐาน } A_S(t_{d2}) = N_S \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_{d2}} \quad \dots (1.7)$$

โดยที่ x และ s แทนสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ตามลำดับ เหาสมการที่ (1.6) ทหารสมการที่ (1.7) ได้

$$\frac{A_X(t_{d1})}{A_S(t_{d2})} = \frac{N_X e^{-\lambda t_{d1}}}{N_S e^{-\lambda t_{d2}}} \quad \dots (1.8)$$

ถ้ากำหนดให้ M_X และ M_S คือ น้ำหนักของสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ตามลำดับ C_X และ C_S คือความเข้มข้นของธาตุที่สนใจมีหน่วยเป็นร้อยละหรือ ppm (part per million) ในสาร

ตัวอย่างและสารมาตรฐาน ตามลำดับ W_X และ W_S คือ น้ำหนักของธาตุที่สนใจในสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ตามลำดับ และสามารถคำนวณได้จาก ในกรณีที่ความเข้มข้นมีหน่วยเป็นร้อยละ สำหรับจำนวนอะตอมของธาตุจะหาได้จาก

$$N = \frac{W \times \text{Avogadro Number}}{\text{Atomic Mass}}$$

แทนค่าในสมการที่ (1.8) จะได้

$$\frac{N_X}{N_S} = \frac{W_X}{W_S} \quad \dots (1.9)$$

จากปฏิบัติการที่ 7 ค่าประสิทธิภาพสัมบูรณ์ของหัววัดรังสีหาได้จาก

$$\varepsilon = \frac{R}{A(t) \times I \times t_c}$$

เมื่อ R คือ จำนวนนับหรือพื้นที่สุทธิใต้พีคที่พลังงานของรังสีแกมมาของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

$$\text{ดังนั้น } \frac{A_X(t_{d1})}{A_S(t_{d2})} = \frac{R_X}{R_S} \quad \dots (1.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า สมการที่ (1.9) และ (1.10) ลงใน (1.8) จะได้

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{W_x e^{-\lambda t_{d1}}}{W_s e^{-\lambda t_{d2}}}$$

$$W_x = \frac{W_s R_x e^{-\lambda(t_{d1}-t_{d2})}}{R_s} \quad \dots (1.11)$$

ในกรณีที่ใช้ไอโซโทปครึ่งชีวิตมีอายุครึ่งชีวิตยาว $e^{-\lambda(t_{d2}-t_{d1})}$ จะมีค่าประมาณ 1 ดังนั้นสมการที่ (1.11) จะเขียนได้ใหม่เป็น

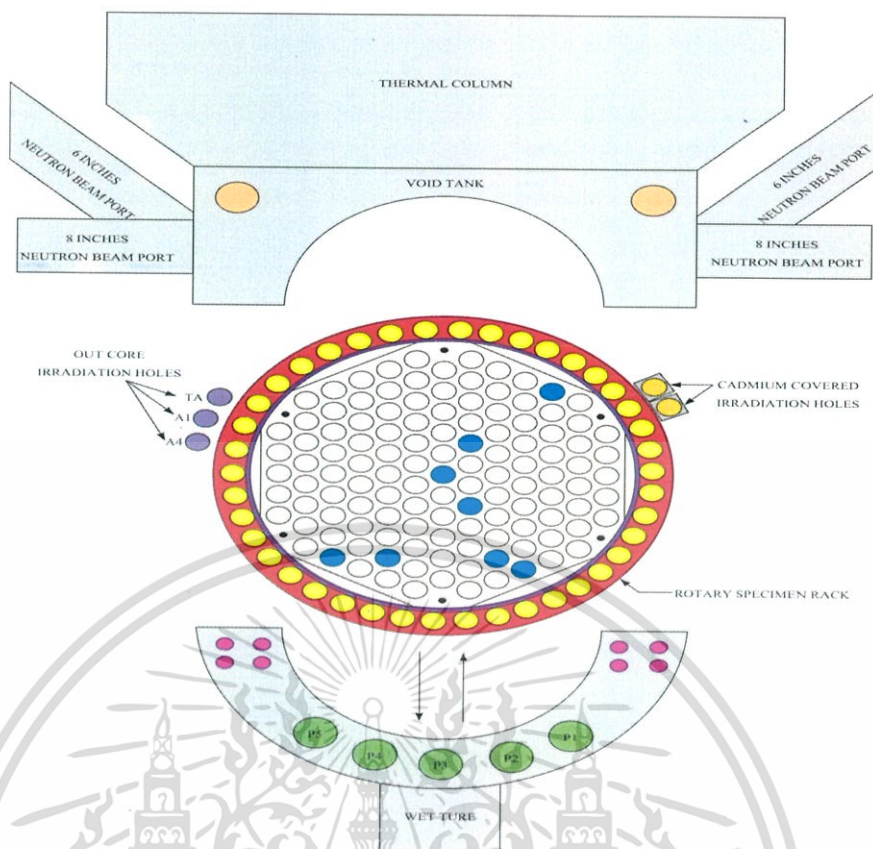
$$W_x = \frac{W_s R_x}{R_s} \quad \dots (1.12)$$

ถ้าต้องการทราบปริมาณของธาตุในหน่วยของร้อยละ ก็คำนวณได้จาก

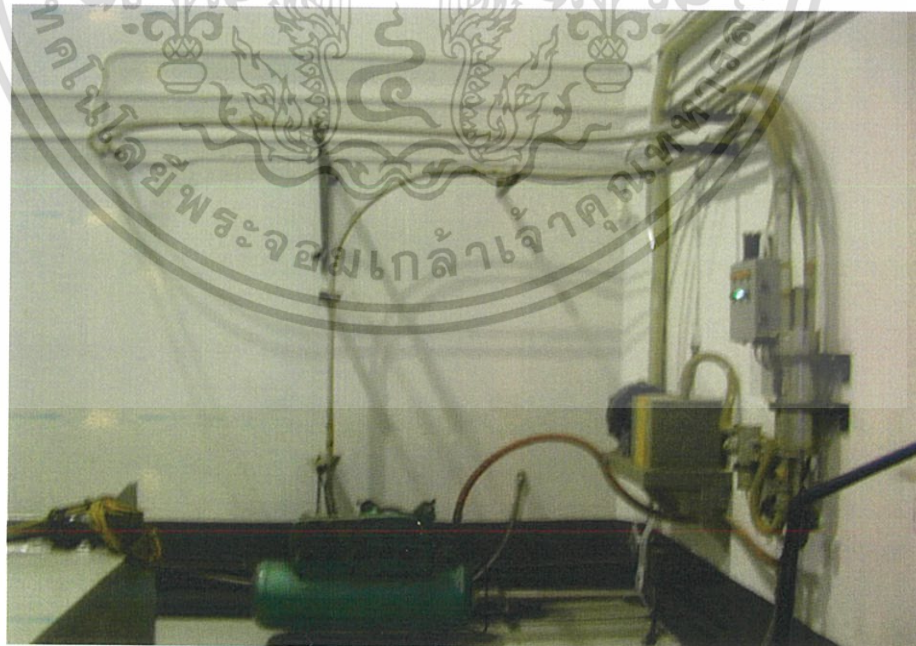
$$\text{ปริมาณเป็นร้อยละ } (C_x) = \frac{W_x \times 100}{M_x} \quad \dots (1.13)$$

2.4 ท่ออาบรังสีระบบนิวเมตริก (Pneumatic sample transfer system)

ท่ออาบรังสีระบบนิวเมตริกใช้ส่งสารตัวอย่างเพื่ออาบรังสีภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ (อาจเรียกท่ออาบรังสีระบบนิวเมตริก สั้นๆว่า ท่อ 'rabbit' ซึ่งทำการเชื่อมต่อระหว่างห้องทดลองกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้ระบบลมในการเคลื่อนย้ายสารตัวอย่าง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง กลางของท่อส่งประมาณ 6 cm. และเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดทดลองไม่เกิน 3 cm. อยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ 13 cm. ในการอาบรังสีแต่ละครั้ง จะอาบไม่เกิน 10 นาที) ท่อ rabbit จะวางท่ออยู่ในแนวตั้ง ซึ่งขนานกับแกนเครื่อง ดังรูปที่ 2.8 เมื่อหลอดทดลองเคลื่อนที่มาตามท่อส่งผ่านผนังสระน้ำ และต่อไปยังแกนเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งท่อที่ใช้สำหรับการอาบรังสีระบบนิวเมตริกอยู่ในตำแหน่ง G22 บนแกนเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งท่ออำนวยการสรีภายนอกแกนเครื่องปว.-1/1

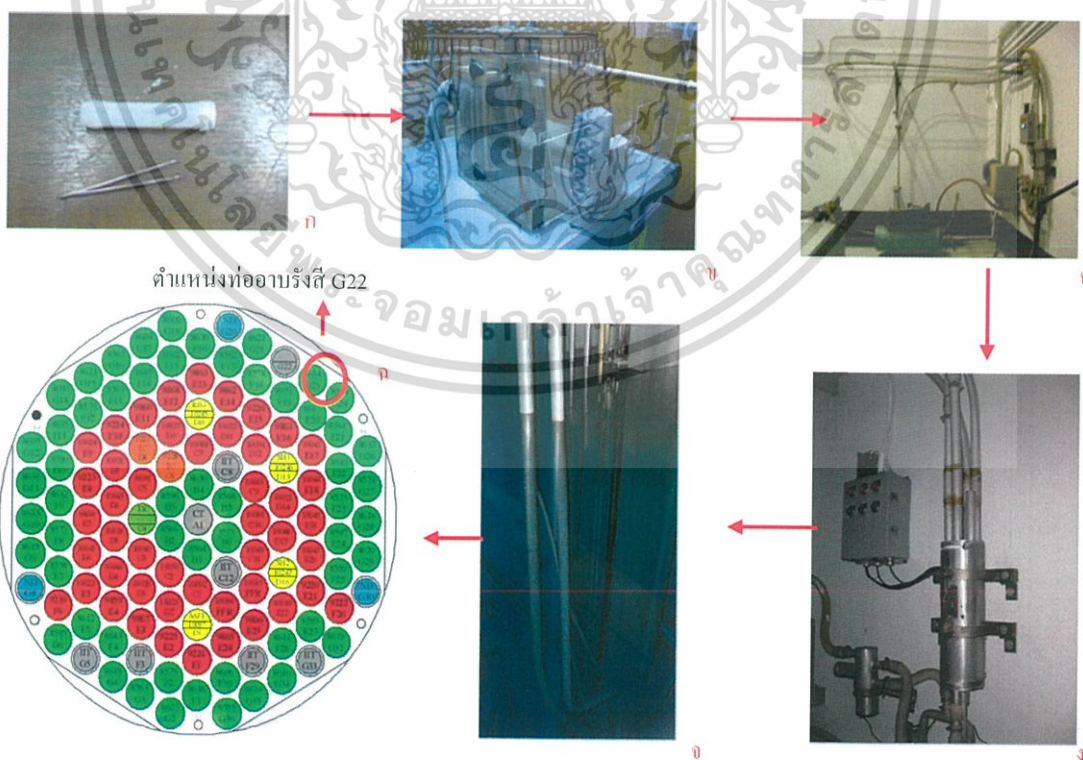


รูปที่ 2.7 ระบบอำนวยการสรีด้วยลมภายในเครื่องปฏิกรณ์ปว.-1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ทิศทางของท่ออาบริ่งสีด้วยลม มีทิศทางขนานไปกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ และลงไปยังตำแหน่งของท่ออาบริ่งสีที่ ตำแหน่ง G22 ของเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.-1/1



ตำแหน่งท่ออาบริ่งสี G22

รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานระบบอาบริ่งสีด้วยลมของเครื่องปฏิกรณ์ ปปว.-1/1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายขั้นตอนการทำงานระบบออบรังสีด้วยลม รูปที่ 2.9

- รูป ก เตรียมสารตัวอย่างใส่ในหลอดโพลีเอทิลีน โดยสารตัวอย่างต้องอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของก้นหลอดโพลีเอทิลีน
- รูป ข นำหลอดโพลีเอทิลีนมาวางที่แท่นวาง
- รูป ค ระบบจะทำการบีบลมเพื่อดูดหลอดโพลีเอทิลีนไปตามท่อ
- รูป ง ชุดควบคุม เป็นตัวควบคุมการทำงาน สามารถตั้งค่าแบบคู่มือและแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังเป็นตัวควบคุมการดูดหลอดโพลีเอทิลีนจากชั้น 2 และ 4 ไม่ให้สลับหรือส่งกลับผิดชั้น
- รูป จ หลอดโพลีเอทิลีนจะลงไปตามท่อขนานไปกับแกนเครื่องปฏิกรณ์
- รูป ฉ หลอดโพลีเอทิลีนจะลงไปยืนตำแหน่งออบรังสีที่ตำแหน่ง G22

ระยะเวลาในการออบรังสีจะขึ้นกับปริมาณของสารตัวอย่างที่ต้องการออบ รวมทั้งตำแหน่งของการออบรังสี ซึ่งระบบการออบรังสีด้วยลมมักจะออบรังสีไม่นานนัก

2.5 ระบบถ่ายโอนตัวอย่างด้วยลม (Pneumatic Transfer System)

การขนถ่ายโดยใช้ท่อนั้นมีใช้กันมานานแล้ว กล่าวคือ ในสมัยโบราณชาวจีนใช้ไม้ไผ่สำหรับขนถ่ายขี้เถ้าส่วนชาวโรมันใช้ท่อตะกั่วสำหรับขนถ่ายน้ำใช้และน้ำเสีย แต่การนำท่อมาใช้ขนถ่ายวัสดุนั้นเริ่มมีการใช้เมื่อปี ค.ศ. 1866 โดยเริ่มจากการใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งต่อมาทั้งระบบสุญญากาศและระบบความดันมีใช้กันอย่างแพร่หลาย ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมมีหลักการการทำงานที่ง่ายและเหมาะสมกับการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล (Bulk Material) ซึ่งวัสดุชนิดต่างๆ ได้มากมาย มีใช้งานทั้งในอุตสาหกรรมการผลิต ทางการเกษตร เคมีภัณฑ์ ฯลฯ ในบางกรณีอาจใช้ก๊าซไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ แทนลมได้

2.5.1 ข้อดีของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

1. ให้ความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานสูงเมื่อเทียบกับระบบขนถ่ายแบบอื่น เพราะไม่ต้องใช้คนซึ่งอาจได้รับอันตรายจากฝุ่นหรือสารพิษต่างๆ
2. ช่วยทำให้สภาพที่ทำงานปลอดภัยยิ่งขึ้น เพราะวัสดุอยู่ในท่อมิดชิด และยังลดเสียงดังขณะขนถ่ายด้วย
3. ประหยัดราคาในการสั่งซื้อ เนื่องจากไม่ต้องใช้ภาชนะบรรจุ เช่น ถัง กระจสอบ ฯลฯ
4. ประหยัดค่าแรงงานในการขนวัสดุ เนื่องจากไม่ต้องใช้คนงานในการแบก หรือขนวัสดุ
5. ลดการสูญเสียวัสดุจากการรั่วหรือตกค้างในภาชนะบรรจุ
6. บำรุงรักษาและควบคุมได้ง่าย เพราะสามารถทำงานด้วยระบบควบคุมแบบอัตโนมัติได้ง่าย
7. ปรับเปลี่ยนทิศทางการขนถ่ายได้ง่ายโดยการเปลี่ยนทิศทางของท่อขนวัสดุ
8. ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย

2.5.2 ส่วนประกอบของระบบ

ส่วนประกอบเบื้องต้นที่สำคัญของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมอาจแบ่งได้เป็น 4 ส่วน ซึ่งระบบต่างๆ จะมีการจัดเรียงส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วนนี้แตกต่างกันออกไป ส่วนประกอบเบื้องต้นได้แก่

1. ตัวต้นกำเนิดลม (Air Mover)
2. ตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อลำเลียง (Feeding System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ท่อลำเลียงวัสดุ (Pipe Line)
4. ตัวแยกวัสดุ/อากาศ (Separation System)

2.5.3 ตัวต้นกำเนิดลม

ตัวต้นกำเนิดลมเป็นอุปกรณ์เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ และมีราคาสูงที่สุดในระบบ จึงควรเลือกใช้ตัวต้นกำเนิดลม ให้เหมาะสมกับความดันในระบบ ตัวต้นกำเนิดลมทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานในการพาววัสดุให้ไหลไปตามท่อ โดยที่ใช้ในระบบความดันต่ำ เช่น พัดลมหอยโข่ง (Centrifugal Fan), Roots Blower ส่วนระบบที่ใช้ความดันสูง เช่น คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

2.5.4 ตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อลำเลียง

อาจกล่าวได้ว่าตัวจ่ายเข้าไปในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมนั้นเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในระบบ เนื่องจากถ้าตัวจ่ายวัสดุสามารถจ่ายวัสดุเข้าไปในระบบอย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะทำให้การขนถ่ายวัสดุในระบบมีประสิทธิภาพตามไปด้วย ซึ่งปกติในสภาวะที่วัสดุจะอยู่ในสภาวะที่หยุดนิ่งอยู่กับที่ในถังเก็บวัสดุ จากนั้นจะถูกตัวจ่ายวัสดุพาววัสดุเข้าไปสู่กระแสน้ำไหลของลมในท่อขนถ่ายวัสดุ ทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม และวัสดุจะผสมกับลมและมีความเร็วขึ้นจนถึงความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของวัสดุนี้จะทำให้เกิดความดันสูญเสียของลมในระบบขึ้น ในช่วงที่วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วนี้ควรให้ท่อขนถ่ายวัสดุเป็นท่อตรงในแนวระดับ ไม่ควรต่อท่อโค้งในช่วงนี้ เนื่องจากจะทำให้เกิดความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น

2.5.5 ท่อลำเลียงวัสดุ

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยท่อต่างๆ วาล์ว และข้องอ การเลือกขนาดท่อนั้นต้องพิจารณาแพเตอร์หลายตัวประกอบกัน เช่น ความดันและอัตราการไหลของลม อัตราการขนถ่ายวัสดุ และคุณสมบัติวัสดุ ซึ่งถ้าวัสดุขนถ่ายมีความแข็งคมมากก็ทำให้ส่วนต่างๆ ที่วัสดุไหลผ่านเกิดการสึกหรอได้ โดนเฉพาะอย่างยิ่งข้องอในระบบซึ่งขณะที่วัสดุไหลเข้าสู่ข้องอวัสดุจะมีความเร็วลดลง แต่ในขณะที่วัสดุไหลออกจากข้องอวัสดุจะต้องมีความเร็วเพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถกลับไปไหลด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง การที่วัสดุมีความเร็วที่เปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เกิดความดันสูญเสียขึ้นในระบบ

2.6 ระบบปิด

ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมแบบปิดนี้ จะใช้ก๊าซชนิดอื่นที่ไม่ใช่อากาศ เช่น ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งยังนำเอาก๊าซที่ใช้ขนถ่ายแล้วกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากการใช้ก๊าซอื่นจะมีค่าใช้จ่ายของก๊าซมากขึ้น จึงได้ชื่อว่าเป็นระบบปิด ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะการขนถ่ายด้วยความดันแบบเบาบาง (Dilute Phase) แต่สำหรับการขนถ่ายด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum) หรือ แบบหนาแน่น (Dense Phase) ก็สามารถทำงานได้เช่นกัน การขนถ่ายวัสดุในระบบนี้จะเหมาะสำหรับวัสดุแห้ง วัสดุที่เป็นพิษ หรือวัสดุที่สามารถระเบิดได้ รวมไปถึงวัสดุที่ไม่ต้องการให้สัมผัสกับความชื้นที่มีอยู่ในอากาศปกติด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

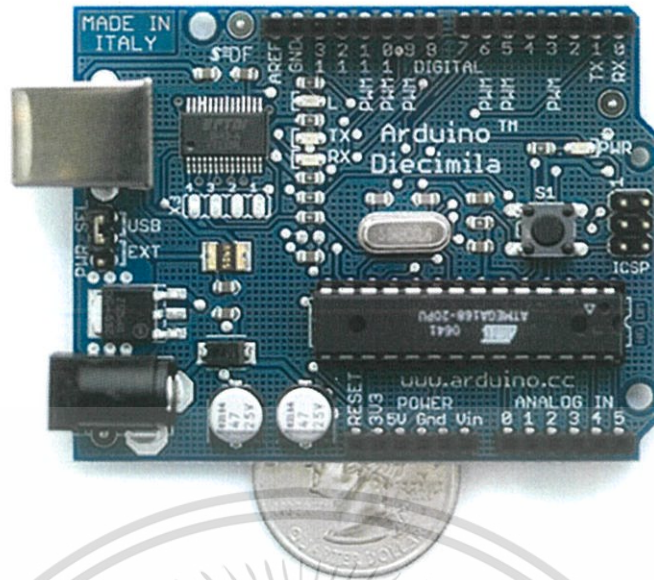
2.7 Arduino

Arduino เป็นภาษา อิตาลี ซึ่งใช้เป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Open Source ที่ได้รับการปรับปรุงมาจากโครงการพัฒนา Open Source ของ AVR อีกโครงการหนึ่งที่มีชื่อว่า “Wiring” แต่เนื่องจากโครงการของ “Wiring” เลือกใช้ AVR เบอร์ ATmega128 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีจำนวนของหน่วยความจำ และ I/O ค่อนข้างมาก และที่สำคัญ ATmega128 เป็นชิปที่มีตัวถังแบบ SMD จึงทำให้เป็นอุปสรรคสำหรับผู้เริ่มต้นในการสร้างบอร์ดและต่อวงจรขึ้นมาใช้งานกันเอง และบอร์ดจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งอาจดูว่าเกินความจำเป็นสำหรับผู้เริ่มต้น จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร แต่หลังจากที่ทางทีมงาน Arduino นำ Source Code ของ “Wiring” มาพัฒนาปรับปรุงใหม่โดยให้สามารถใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็ก อย่าง Mega8 และ Mega168 ได้ จึงทำให้ระบบวงจรของบอร์ดมีขนาดเล็กกว่า “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 แต่ก็จุดเด่นกว่ารายอื่นๆหลายอย่าง เป็นต้นว่า

- ราคาไม่แพง เนื่องจากมี Source code และวงจร แจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้งานได้เอง
- โปรแกรมที่ใช้พัฒนา Arduino รองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OSX
- มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้งานจริงๆที่มีความซับซ้อนมากๆได้ และยังสามารถสร้างคำสั่ง และ Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้เองได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้นแล้ว
- มีการเปิดเผยวงจรและ Source code ทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้ตามความต้องการทั้ง Hardware และ Software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ Arduino

2.7.1 Arduino Uno 3

เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจกต์และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ Arduino รุ่น Uno3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Processor					Input / Output						Power			Connectivity						
	Family	SRAM	FLASH	EEPROM	Clock	Digital I/O	Analog In	ADC Bits	PWM	UART	Analog Out	DAC Bits	VCC	Vin Range	5V	3V3	Serial	USB-Serial	I2C	Ethernet	USB-host
Arduino UNO R3	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino UNO SMD	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega 2560 R3	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega ADK	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	MAX3421E	No	No
Arduino Leonardo	ATmega32U4	2.5k	32k	1k	16MHz	25	12	10	7	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	Built-in	1	No	No	No
Arduino Mini 05	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7V-9V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 3.3V	ATmega328	2k	32k	1k	8MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	3.3V	5V-12V	No	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 5V	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7V-12V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet with PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-16V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet without PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-18V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino DUE	SAM3X8E	106kb	512k	N/A	84MHz	70	12	12	12	4	2	12	3.3V	7-12V	No	VC	Built-in	2	No	Yes	No

รูปที่ 2.12 ตารางเปรียบเทียบความสามารถของบอร์ด Arduino ในแต่ละรุ่น

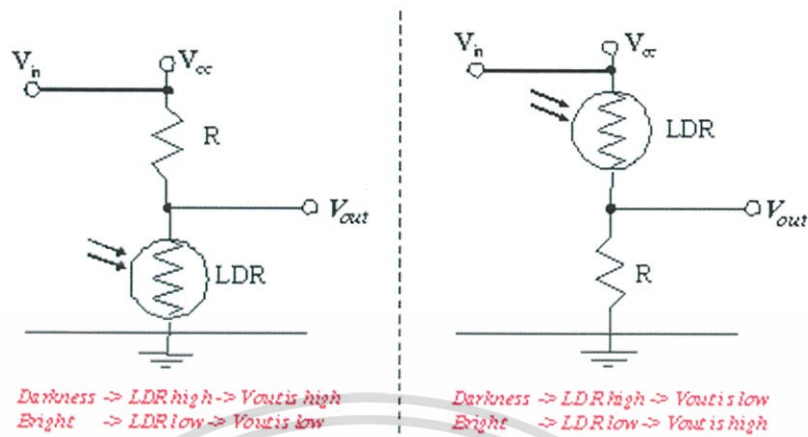
2.8 เซนเซอร์ (Sensor)

2.8.1 (LDR : Light Dependent Resistor)

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้า ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์ (Photo Resistor) หรือ โฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ

Sensor LDR

เป็น SENSOR ที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบบนตัว LDR ถ้ามีแสงมากระทบจะให้ค่าความต้านทานต่ำ (ค่าแรงดันต่ำ) แต่ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบจะให้ค่าความต้านทานสูง (ค่าแรงดันสูง)



รูปที่ 2.13 รูปแสดงการทำงานของ LDR ตอนมืดและตอนสว่าง



รูปที่ 2.14 ความต้านทานไวแสง LDR

2.9 วาล์วและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

ส่วนประกอบในการทำงานของระบบนิวแมติกส์จะประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังซึ่งทำหน้าที่ส่งลมอัดให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด อุปกรณ์ให้สัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ทำงาน การที่อุปกรณ์ทำงาน เช่น กระบอกลูกสูบ จะเคลื่อนที่เข้าออกได้ตามความต้องการก็ต้องอาศัยอุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งได้แก่ วาล์วต่างๆ นั่นเอง วาล์วมีอยู่หลายชนิดด้วยกันแต่ละชนิดก็มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น ควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงาน ควบคุมปริมาณการไหลของลมอัด ควบคุมความดันที่ใช้ ควบคุมการเริ่มและหยุดการทำงานของวงจรมอเตอร์ เป็นต้น

วาล์วในระบบนิวแมติกส์สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทด้วยกันตามลักษณะหน้าที่และการใช้งาน กล่าวคือ

วาล์วในระบบนิวแมติกส์

1. วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve)
2. วาล์วชนิดลมไหลทางเดียว (Non-return Valve)
3. วาล์วควบคุมความดัน (Pressure control Valve)
4. วาล์วควบคุมอัตราไหล (Flow control Valve)
5. วาล์วเปิด-ปิดและวาล์วผสม (Shut-off Valve and Valve combination)

2.9.1 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด

วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัดมีหน้าที่เลือกทิศทางการไหลของลมอัดให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน เช่น กระบอกสูบ มอเตอร์ลม สามารถทำงานและเคลื่อนที่ในทิศทางที่ถูกต้องตามความต้องการโดยใช้หลักการเปิดปิดลมอัดจากรูลมอัดหนึ่งไปยังรูลมอัดอีกรูหนึ่ง

สัญลักษณ์และการเรียกชื่อวาล์ว

ในงานอุตสาหกรรมนิยมใช้สัญลักษณ์เพื่อความสะดวก รวดเร็วและง่ายต่อการทำความเข้าใจการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ระบบนิวแมติกส์ก็เช่นเดียวกันมีสัญลักษณ์ที่ใช้อยู่หลายระบบด้วยกัน เช่น ASA (American Standard Association) ISO (International Standard Organization) JIS (Japanese Industrial Standard) JIC (Joint Industry Conference) DIN (Deutsche Industrie Norm) ซึ่งแต่ละระบบจะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก หากเข้าใจถึงสัญลักษณ์ของระบบใดระบบหนึ่งแล้วในระบบอื่นก็สามารถกระทำได้ไม่ยากนัก

ตำแหน่งการทำงานของวาล์ว : สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งการทำงานของวาล์วจะแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์และความหมายของวาล์ว

สัญลักษณ์	ความหมาย
□	วาล์ว 1 ตำแหน่ง
1 0	วาล์ว 2 ตำแหน่ง
1 1 2	
1 0 3 2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

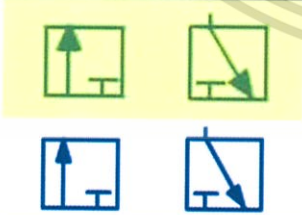
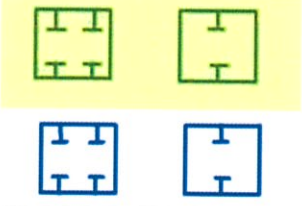
การเขียนสัญลักษณ์ จะใช้รูปสี่เหลี่ยมหนึ่งรูปแทนตำแหน่งของวาล์ว 1 ตำแหน่ง ถ้าวาล์วควบคุมมีตำแหน่งการทำงานหลายตำแหน่งก็จะมีรูปสี่เหลี่ยมหลายรูปต่อกัน เช่น วาล์วควบคุม 2 ตำแหน่งก็จะมีรูปสี่เหลี่ยม 2 รูปติดต่อกัน ในลักษณะสี่เหลี่ยมที่แสดงตำแหน่งของวาล์วนี้จะประกอบด้วยตำแหน่งปกติ หรือตำแหน่งที่วาล์วยังไม่ถูกเลื่อนและตำแหน่งการทำงานของวาล์ว ซึ่ง

สามารถแสดงให้เห็นด้วยตัวเลขที่กำหนดภายในช่องสี่เหลี่ยม โดยเลข 0 หมายถึงตำแหน่งปกติ หมายเลขอื่น หมายถึงตำแหน่งทำงาน ซึ่งอาจเป็นตำแหน่งที่ 1,2 หรือ 3 เรียงลำดับกันไปแล้วแต่ว่าวาล์วจะมีกี่ตำแหน่งทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางในระบบนิวแมติกส์จะมีการกำหนดรหัสทางต่อลม เพื่อให้เกิดความสะดวก และเข้าใจตรงกันในการออกแบบ และต่อวงจร การกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางโดยทั่วไปสามารถกระทำได้ดังต่อไปนี้

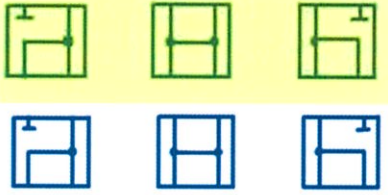



ตารางที่ 2.5. รหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุม

ตัวเลข	ตัวอักษร	ตัวอักษรต่อ	หน้าที่
1	P	Sub	รูระบายลมอัดเข้าวาล์ว
2,4	A,B	Out	รูต่อลมอัดไปใช้งาน
3,5	R,S	Ex	รูระบายลมทิ้ง
12,14	X,Y,Z	Signal In	รูต่อเข้าวาล์วควบคุมเพื่อผลในการบังคับให้วาล์วทำงาน


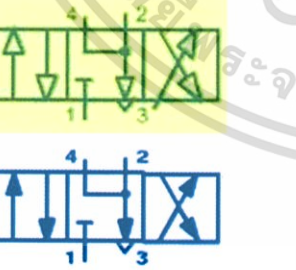
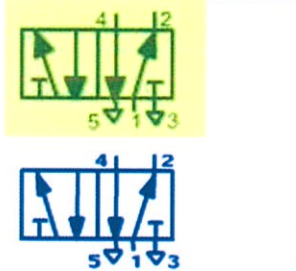
ตารางที่ 2.6 เส้นและหัวลูกศรที่เขียนเป็นสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ทิศทางหัวลูกศรจะหมายถึง ท่อทางภายในวาล์วซึ่งจะทำให้ลมผ่านตลอดตามทิศทางหัวลูกศร
	ท่อทางของวาล์วที่ถูกปิดกั้นไม่ให้ลมผ่านไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>ท่อลมของวาล์วต่อถึงกันแสดงด้วยจุดต่อจุดใหญ่</p>
	<p>แสดงว่าการระบายลมอัดภายในตัวของวาล์วเอง</p>
	<p>แสดงว่าการระบายลมอัดสามารถต่อท่อหรือติดตัวเก็บเสียงได้</p>
	<p>คือแหล่งจ่ายลมที่ต่อเข้ากับวาล์วควบคุม</p>

การเรียกชื่อวาล์วควบคุมทิศทาง : การเรียกชื่อวาล์วควบคุมทิศทางในระบบนิวแมติกส์จึงเรียกชื่อโดยเรียกทางต่อลมก่อนแล้วตามด้วยตำแหน่งการทำงานดังจะกล่าวต่อไปนี้

	<p>วาล์วควบคุม 4 ทาง 2 ตำแหน่ง ปกติเปิด (3/2 D.C. Valve)</p>
	<p>วาล์วควบคุม 4 ทาง 3 ตำแหน่ง (4/2 D.C. Valve Closed Center) สำหรับตำแหน่งกลางนี้มีอยู่หลายแบบแล้วแต่ลักษณะของการนำไปใช้งาน</p>
	<p>วาล์วควบคุม 5 ทาง 2 ตำแหน่ง (5/2 D.C. Valve)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>วาล์วควบคุม 5 ทาง 3 ตำแหน่ง (5/3 D.C. Valve)</p>
	<p>วาล์วควบคุม 5 ทาง 4 ตำแหน่ง (5/4 D.C. Valve)</p>

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
	<p>วาล์วควบคุม 2 ทาง 2 ตำแหน่งปกติปิด (2/2 D.C. Valve Normally Closed)</p>
	<p>วาล์วควบคุม 2 ทาง 2 ตำแหน่ง ปกติเปิด (2/2 D.C. Valve Normally Opened)</p>
	<p>วาล์วควบคุม 3 ทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด (3/2 D.C. Valve Normally Closed)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 โซลินอยด์วาล์ว(Solenoid)

โซลินอยด์ (Solenoid) เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับ รีเลย์(Relay) ภายในโครงสร้างของโซลินอยด์จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กที่ภายในประกอบด้วยแม่เหล็กชุดบนกับชุดล่าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก ทำให้แท่งเหล็กชุดล่างมีอำนาจแม่เหล็กดึงแท่งเหล็กชุดบนลงมาสัมผัสกันทำให้ครบวงจรทำงาน เมื่อวงจรถูกตัดกระแสไฟฟ้าทำให้แท่งเหล็กส่วนล่างหมดอำนาจแม่เหล็ก สปริงก็จะดันแท่งเหล็กส่วนบนกลับสู่ตำแหน่งปกติ จากหลักการดังกล่าวของโซลินอยด์ก็จะนำมาใช้ในการเคลื่อนลิ้นวาล์วของระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า โครงสร้างของ Solenoid Valve โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เคลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (Single Solenoid Valve) และเคลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยโซลินอยด์วาล์ว (Double Solenoid Valve) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น โซลินอยด์วาล์ว 2/2, 3/2, 4/2 , 5/2 เป็นต้น

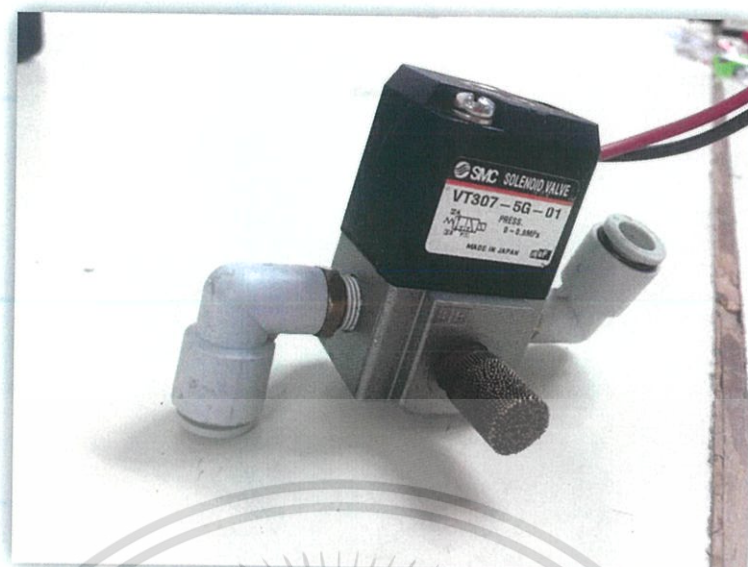
วาล์ว 2/3 ปกติปิด เคลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยแรงสปริง(2/3 Way Single Solenoid Valve)



รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์ โซลินอยด์วาล์ว 2/3

หลักการทำงาน

ตำแหน่งปกติ Solenoid Valve Y1 ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทำให้ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก สปริงจะดันลิ้นวาล์วให้ปิด ทำให้ลมจาก 1(P) ไม่สามารถออกไปที่ 2(A) ได้ แต่ 2(A) จะต่อถึง 3(R) ได้ ตำแหน่งทำงาน เมื่อกดปุ่ม Start ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Solenoid Valve Y1 ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กไปเคลื่อนลิ้นวาล์ว มีผลทำให้ลมจาก 1(P) ไปออกที่ 2(A) ส่วน 3(R) ถูกปิด เมื่อปล่อยปุ่ม Start จะทำให้ Solenoid Valve Y1 หมดอำนาจแม่เหล็ก สปริงจะดันลิ้นวาล์วให้กลับสู่สภาวะปกติ



รูปที่ 2.16 โซลินอยด์วาล์ว 2/3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

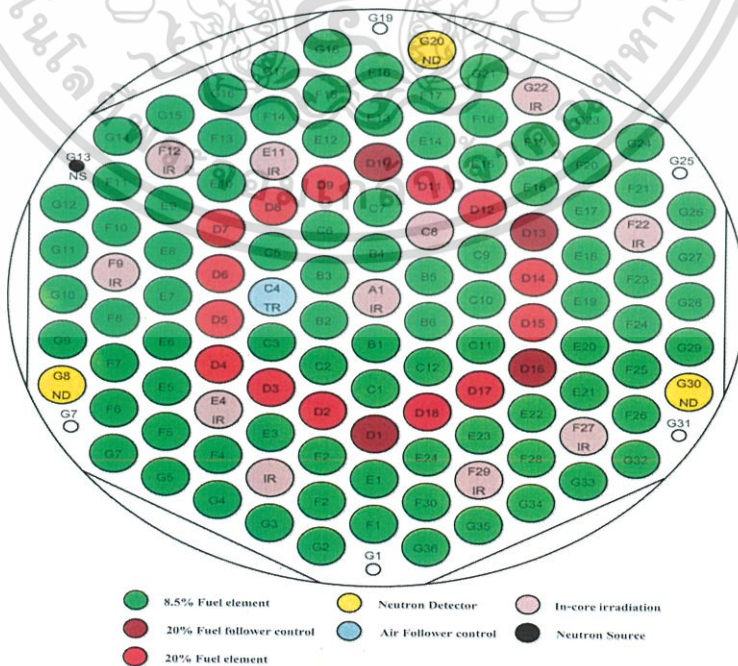
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการจับเวลา สำหรับการวิเคราะห์เชิงก่อกัมมันตรังสี มีขั้นตอนดังนี้ คือ การศึกษาตำแหน่งของท่ออาบรังสีในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย

การศึกษาการทำงานของระบบควบคุมการจับเวลาในการฉายรังสี การออกแบบโครงสร้างสำหรับระบบควบคุมการจับเวลาสำหรับการวิเคราะห์เชิงก่อกัมมันตรังสี ระบบตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์แสง ระบบตรวจวัดอุณหภูมิด้วยโมดูลนาฬิกา DS321 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานสำหรับการนับเวลาในการฉายรังสี ระบบขนถ่ายลม และการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของระบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาตำแหน่งของท่ออาบรังสีในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย

ท่ออาบรังสีภายนอกแกนเครื่องปฏิกรณ์ถูกติดตั้งอยู่บนสะพานเครื่องยึดเครื่องปฏิกรณ์ โดยท่ออาบจะอยู่รอบๆ เครื่อง (อาจเรียกท่ออาบรังสีระบบนิวเมตริก สั้นๆ ว่า ท่อ 'rabbit') ซึ่งทำการเชื่อมต่อระหว่างห้องทดลองกับแกนเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้ระบบลมในการเคลื่อนย้ายสารตัวอย่าง ในการอาบรังสีแต่ละครั้ง จะอาบไม่เกิน 10 นาที ท่อ rabbit จะวางท่ออยู่ในแนวตั้ง ซึ่งขนานกับแกนเครื่อง เมื่อวัตถุตัวอย่างเคลื่อนที่ไปตามท่อส่ง จะผ่านผนังสระน้ำและต่อไปยังแกนเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งท่อที่ใช้สำหรับการอาบรังสีระบบนิวเมตริกจะอยู่ในตำแหน่ง G22 บนแกนเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 3.1



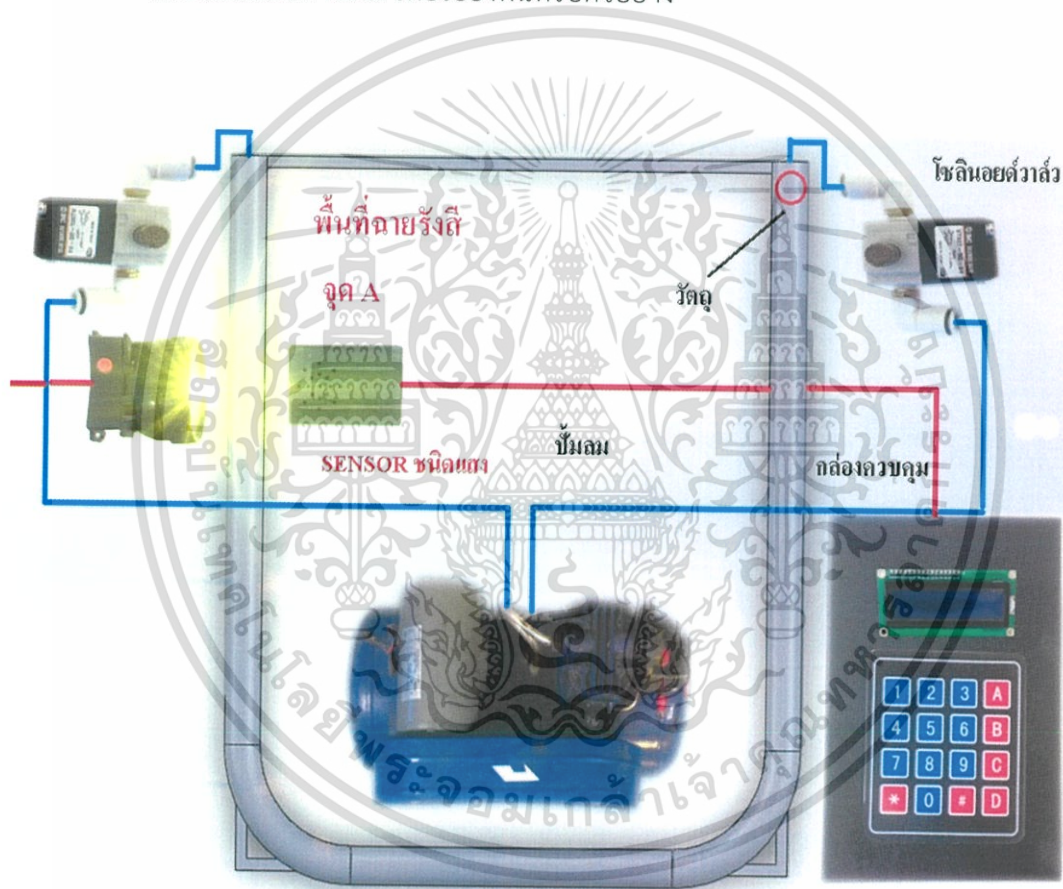
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งต่างๆของท่ออาบรังสีนิวเมตริกในเครื่องปฏิกรณ์ ปวว.1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานเอกสารฉบับนี้จำเป็นต้องดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การศึกษาการทำงานของระบบควบคุมการจับเวลาสำหรับการวิเคราะห์เชิงก่อกัมตรังสี

หลักการทำงานมีขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ตั้งเวลาการฉายรังสี ที่กล่องระบบควบคุมการจับเวลา
- ขั้นตอนที่ 2 เปิดปั๊มลมเพื่อทำการถ่ายไอออนตัวอย่างไปยังพื้นที่ฉายรังสี
- ขั้นตอนที่ 3 เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน เซ็นเซอร์แสง ที่จุด A จะส่งข้อมูล ไปยัง บอร์ด Arduino เพื่อให้เวลาที่ได้ตั้งในขั้นตอนที่ 1 เริ่มนับถอยหลัง
- ขั้นตอนที่ 4 เมื่อ บอร์ด Arduino นับเวลาเสร็จ เปิดปั๊มลมเพื่อทำการถ่ายไอออนตัวอย่างกลับไปบนเส้นทางเดิม เพื่อไปยังพื้นที่รับตัวอย่าง

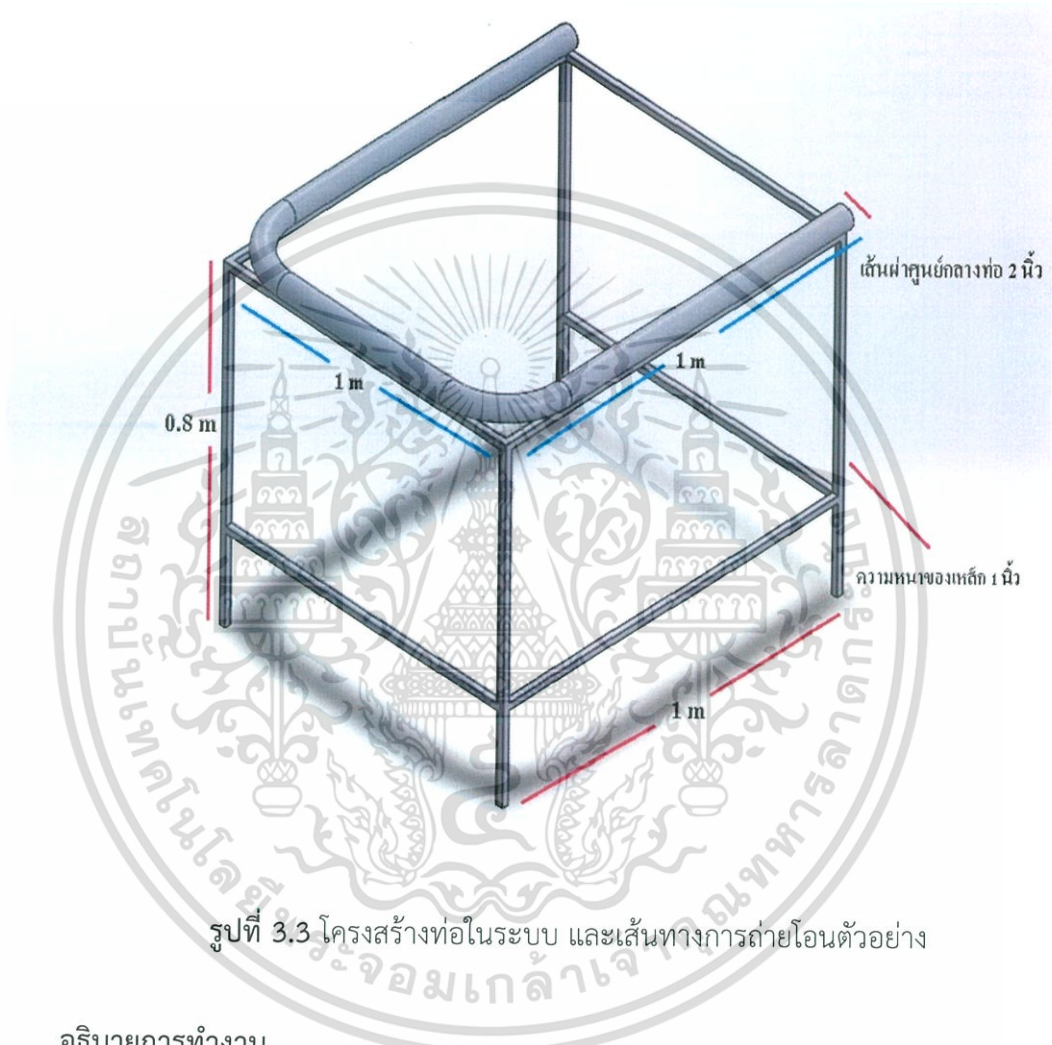


รูปที่ 3.2 ภาพการทำงานระบบการจับเวลาสำหรับการวิเคราะห์เชิงก่อกัมมันตรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบโครงสร้างของระบบการจับเวลา สำหรับการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี

การออกแบบเส้นทางการถ่ายไอออนตัวอย่าง สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.3.1



รูปที่ 3.3 โครงสร้างท่อในระบบ และเส้นทางการถ่ายไอออนตัวอย่าง

อธิบายการทำงาน

การออกแบบระบบถ่ายไอออนตัวอย่างของการวิเคราะห์เชิงกัมมันตรังสี ในงานวิจัยนี้จะเป็นการจำลองการทำงาน ให้มีขนาดไม่ใหญ่โตหรือเทียบเท่าของจริง ทางผู้จัดทำจึงจะสร้างตัวขึ้นงานให้สามารถเป็นตัวอย่าง เพื่อสามารถนำไปประยุกต์และพัฒนากับชิ้นงานของจริงได้ในอนาคต

3.3.1 การออกแบบและการประกอบของท่อด้วยวัสดุยางโปร่งใส

3.3.1.1 ท่อขนส่ง

ท่อชนิดโปร่งใสจะถูกใช้ในการถ่ายไอออนตัวอย่างไปยังพื้นที่ฉายรังสี เพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่านมายัง LDR (ตัวต้านทางชนิดไวต่อแสง) ได้ ซึ่งท่อจะมีเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความยาว 3 เมตร จำนวน 1 เส้น ตำแหน่งการติดตั้งตามรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 โครงเหล็ก

ท่อเหล็กจะใช้ในการทำเป็นโครงสร้างหลักเพื่อยึดตัวท่อ ให้เป็นเส้นทางเดินของ ตัวอย่างดังรูปที่ 3.3

3.3.1.3 ป้มลม

ป้มลมขนาดเล็ก จุดความดันลมไม่เกิน 180 Pa จะถูกใช้การดันตัวอย่างจากพื้นที่ เริ่มต้นไปยังพื้นที่ในการฉายรังสี ทั้งขาไปและขากลับ

3.4 ระบบตรวจจับวัตถุด้วยเซ็นเซอร์แสง

การทำงานของระบบควบคุมการจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์แสง จะใช้เซ็นเซอร์แสง 1 ตัว ที่ ตำแหน่ง A เพื่อตรวจจับวัตถุในขณะที่ถูกถ่ายโอนมายังพื้นที่ฉายรังสีและทำการจับเวลา โดยใช้ตัวส่ง แสงและตัวรับแสงดังนี้

1. ตัวส่งแสง จะใช้ LED (Light Emitting Diode) เนื่องจากการต่อใช้งานร่วมกับวงจร อิเล็กทรอนิกส์ทำได้ง่าย สะดวกในการบำรุงรักษา ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ และไม่ได้รับผลกระทบจาก สภาวะรอบข้างไม่ว่าจะเป็นสนามแม่เหล็ก ความถี่ ความร้อน ความชื้น หรือการสั่นสะเทือน
2. ตัวรับแสง จะแอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อ แสง กล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้า ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์ (Photo Resistor) หรือ โฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ ออกมา



รูปที่ 3.4 LDR : Light Dependent Resistor และโครงสร้างภายใน

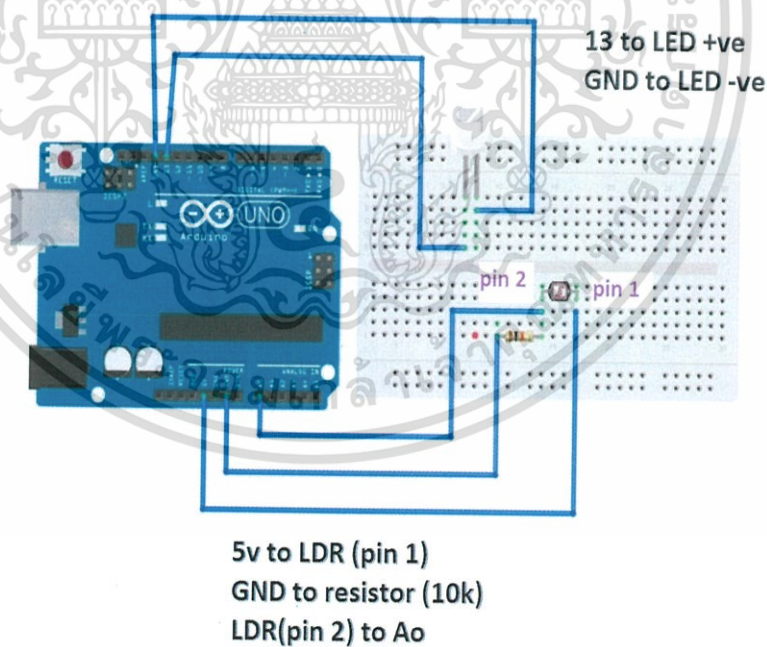
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของ LDR ในรูปที่ 1 ส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็กๆสีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำนั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ซ้ำง สีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัส กับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และ อุปกรณ์ สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบ

3.4.1 การทำงานของ LDR : Light Dependent Resistor

LDR : Light Dependent Resistor เป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงาน ให้กับสาร ที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน. การที่มีโฮล กับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่ง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

การทำงานของวงจร LDR จะทำงานเมื่อวัตถุตัวอย่างเคลื่อนที่ผ่านตัวรับแสง ทำให้เกิดการปิดบังของแสง จึงทำให้ความต้านทานของ LDR มีค่าน้อยลง เนื่องจากLDR เป็นตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ตามความเข้มของแสง เราสามารถใช้ Arduino อ่านค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงเพื่อนำไปใช้งานในการตรวจจับสำหรับการจับเวลาได้ โดยค่าที่อ่านได้จะเป็นแบบ อะนาล็อก โดยเราสามารถกำหนดค่าความต้านทานเพื่อใช้ในการส่งคำสั่งไปยัง Arduino เพื่อทำการจับเวลาถอยหลังได้



รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ระบบตรวจจับวัตถุหมึกด้วยโมดูลนาฬิกา DS321

โมดูลนาฬิกา DS321 เป็นโมดูลนาฬิกาแบบเวลาจริง RTC (Real Time Clock) จะทำงาน โดยให้การแสดงผลอุณหภูมิในสถานที่ ที่โมดูลอยู่ เพราะข้างในมีวงจรวัดอุณหภูมิ เพื่อนำอุณหภูมิจาก สภาพแวดล้อมมาคำนวณชดเชยความถี่ของ Crystal ที่ถูกรบกวนจากอุณหภูมิภายนอก

วิธีต่อ DS3231 module เข้ากับ Arduino

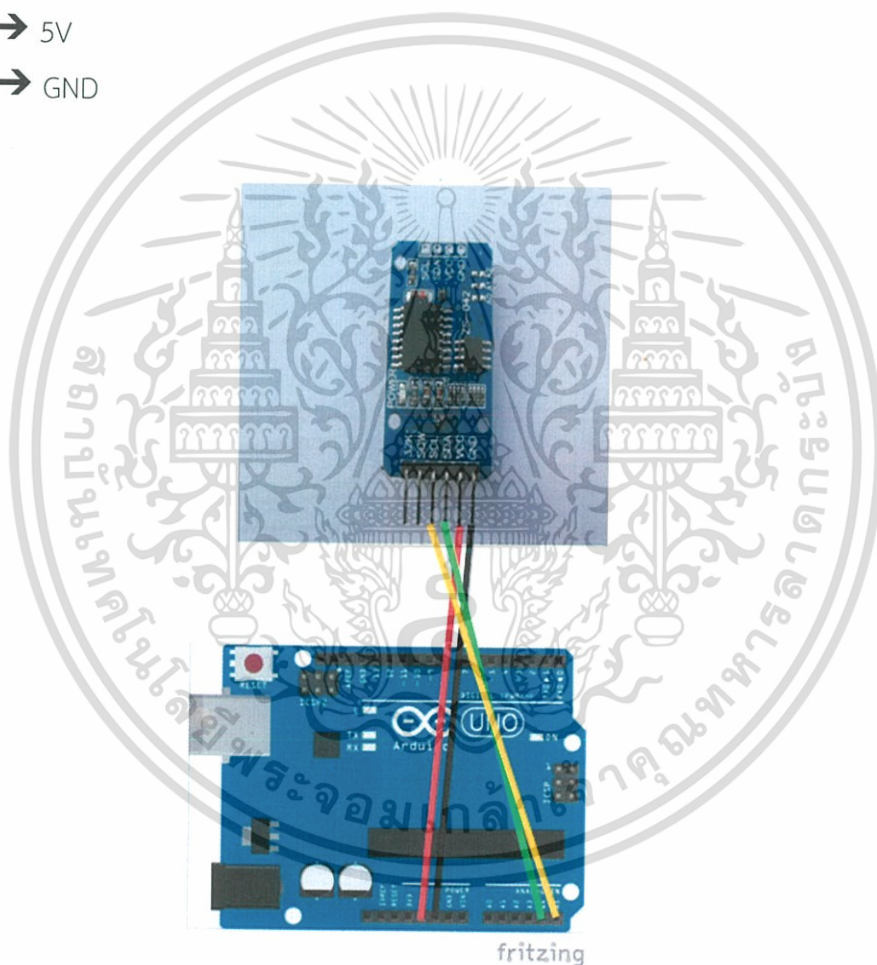
DS3231 module → Arduino

SCL → A5

SDA → A4

VCC → 5V

GND → GND



รูปที่ 3.6 วิธีต่อ DS3231 module เข้ากับ Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคำสั่งที่ใช้ในการอัดลงไปไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะมีโค้ดต่างๆ ดังนี้

```
#include "Wire.h"

#include "SPI.h" // not used here, but needed to prevent a RTCLib compile error

#include "RTCLib.h"

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

RTC_DS3231 RTC;

void setup () {

  pinMode(13,OUTPUT);
  digitalWrite(13,LOW);
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  RTC.begin();

  // initialize the LCD
  lcd.begin();

  // Turn on the backlight and print a message.

  lcd.backlight();

  // ตั้งเวลาเตือนให้เอา // ข้างหน้า RTC.adjust ออก
  RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));

  if (! RTC.isrunning()) {

    Serial.println("RTC is NOT running!");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));

}

DateTime now = RTC.now();

//กำหนดให้ นาฬิกาเตือนตอน ตามที่เราต้องการ
RTC.setAlarm1Simple(ชั่วโมงที่..., นาที...);

RTC.turnOnAlarm(1);

if (RTC.checkAlarmEnabled(1)) {
  Serial.println("Alarm Enabled");
}
}

void loop () {
  DateTime now = RTC.now();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  Serial.print(now.hour(), DEC);

  lcd.print(now.hour(),DEC);

  Serial.print(':');

  lcd.print(':');

  Serial.print(now.minute(), DEC);

  lcd.print(now.minute(),DEC);

  Serial.print(':');

```

เอกสารนี้ `lcd.print(':');` ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(now.second(), DEC);

lcd.print(now.second(),DEC);

if (RTC.checkIfAlarm(1)) {

    // ถ้านาฬิกาเดินถึง 13:05 จะมาทำงานในนี้

digitalWrite(13,HIGH);

    Serial.println("Alarm Triggered");

    lcd.println("Alarm Triggered");

}

lcd.setCursor(0,1);

Serial.println();

lcd.println();

Serial.print(RTC.getTemperature()); // คำสั่งดึงอุณหภูมิออกมาแสดง
lcd.print(RTC.getTemperature());

Serial.println(" C");

lcd.println(" C");

delay(1000);

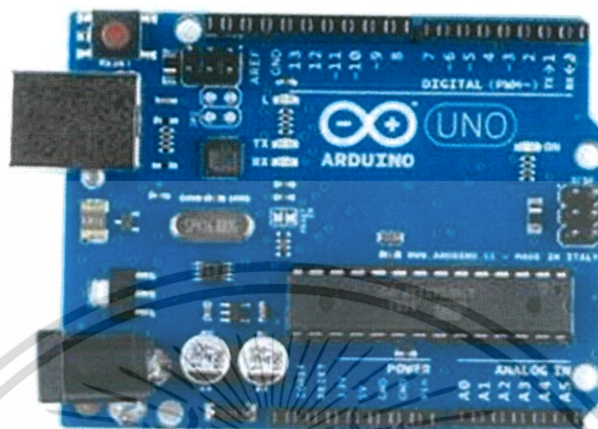
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานสำหรับการนับเวลาในการฉายรังสี

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานนั้น จะใช้ โปรแกรม Arduino 1.0.6 ในการอัปเดตคำสั่งนับเวลาถอยหลัง ไปยัง บอร์ด Arduino Uno3



รูปที่ 3.7 บอร์ด Arduino R3

โดยคำสั่งที่ใช้ในการอัปเดตไปไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะมีโค้ดต่างๆ ดังนี้

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>
int LDR=0;
int LDRValue=0;
int light_sensitivity=700; // Ucan change this as u need
//constants for Control Pin
int controlPin = 13;
char currentTimeValue[4];
int currentState = 1;
int timerSeconds = 0;
int lpcnt = 0;
//define the Keypad
const byte rows = 4;
const byte cols = 4;
char keys[rows][cols] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};

byte rowPins[rows] = {9,8,7,6};
byte colPins[cols] = {5,4,3,2};
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, rows,cols);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2
line display
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(12,OUTPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  digitalWrite(11,LOW);
  lcd.begin(); //initialize the lcd
  lcd.backlight();
  displayCodeEntryScreen();
  //setup and turn off relay
  pinMode(controlPin, OUTPUT);
  digitalWrite(controlPin, LOW);
  currentTimeValue[0]= '0';
  currentTimeValue[1]= '0';
  currentTimeValue[2]= '0';
  currentTimeValue[3]= '0';
  showEnteredTime();
}

void loop()
{
  LDRValue=analogRead(LDR);
  Serial.println(LDRValue);
  delay(50);
  if(LDRValue < light_sensitivity)
  {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(12,HIGH);
delay(3000);
}
else
{
digitalWrite(12,LOW);
}
int l;
char tempVal[3];
char key = keypad.getKey();
if (int(key) != 0 and currentState ==1) {
switch (key) {
case '*':
relayStatus(false);
currentTimeValue[0]= '0';
currentTimeValue[1]= '0';
currentTimeValue[2]= '0';
currentTimeValue[3]= '0';
showEnteredTime();
currentState = 1;
lpcnt = 0;
timerSeconds = 0;
break;
case '#':
tempVal[0] = currentTimeValue[0];
tempVal[1] = currentTimeValue[1];
tempVal[2] = 0;
timerSeconds = atol(tempVal)*60;
tempVal[0] = currentTimeValue[2];
tempVal[1] = currentTimeValue[3];
tempVal[2] = 0;
timerSeconds = timerSeconds + atol(tempVal);
currentState = 2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break;
default:
currentTimeValue[0] = currentTimeValue[1];
currentTimeValue[1] = currentTimeValue[2];
currentTimeValue[2] = currentTimeValue[3];
currentTimeValue[3] = key;
showEnteredTime();
break;
}
}
if (currentState == 2) {
if (int(key) != 0) {
if (key == '*') {
relayStatus(false);
displayCodeEntryScreen();
currentTimeValue[0]= '0';
currentTimeValue[1]= '0';
currentTimeValue[2]= '0';
currentTimeValue[3]= '0';
showEnteredTime();
currentState = 1;
lpcnt = 0;
timerSeconds = 0;
}
} else {
if (lpcnt > 9) {
lpcnt = 0;
-- timerSeconds;
showCountdown();
if (timerSeconds <= 0) {
digitalWrite(11,HIGH);
currentState = 1;
relayStatus(false);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        displayCodeEntryScreen();
        showEnteredTime();
    } else {
        relayStatus(true);
        digitalWrite(11,LOW);
    }
}
++lpcnt;
delay(100);
}
}
}
void showEnteredTime()
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(currentTimeValue[0]);
    lcd.print(currentTimeValue[1]);
    lcd.print(":");
    lcd.print(currentTimeValue[2]);
    lcd.print(currentTimeValue[3]);
}
void relayStatus(boolean state)
{
    if (state)
        digitalWrite(controlPin,HIGH);
    else
        digitalWrite(controlPin,LOW);
}
void showCountdown()
{
    char timest[6];
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("RADIATION TIMES");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd.setCursor(0,1);
    sprintf(timest,          "%d:%.2d",(timerSeconds/60),(timerSeconds
((timerSeconds/60)*60)));
    lcd.print(timest);
    lcd.print("    ");
}
void displayCodeEntryScreen()
{
    clearScreen();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Time mm:ss:");
    lcd.print("    ");
}
void clearScreen()
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" ");
}

```

3.6.1 การแสดงผล

จากนั้นนำ Output ที่ออกจาก บอร์ด Arduino Uno3 ต่อเข้ากับ จอ LCD แสดงผล ตามรูป เพื่อให้สามารถทราบเวลาที่ต้องการจะตั้งเวลาในการนับถอยหลัง ได้จากแสดงผล LCD

วิธีต่อ I2c → Arduino

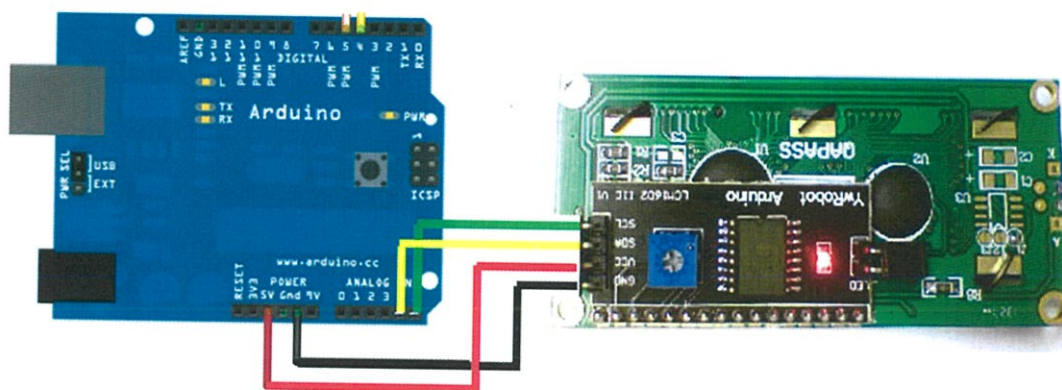
Vcc → Vcc

Gnd → Gnd

SDA → A4

SCL → A5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ภาพแสดงการต่อวงจรร่วมกันระหว่าง บอร์ด Arduino R3 และ จอแสดงผล LCD

3.6.2 การออกคำสั่งในการจับเวลา

การกำหนดค่าเวลาในการฉายรังสีจำเป็นต้องมีสวิตช์ปุ่มกดในการกดตัวเลขและรับคำสั่งเพื่อส่งข้อมูลไปยัง Arduino , Matrix 4x4 Membrane 4x4 Matrix Keypad เป็นสวิตช์ปุ่มกดแบบ Matrix 4x4 ที่ใช้ในการรับคำสั่งที่กดไปประมวลผลในโปรแกรม

วิธีต่อ 4x4 Matrix Keypad → arduino

Pin 1 → Pin 2

Pin 2 → Pin 3

Pin 3 → Pin 4

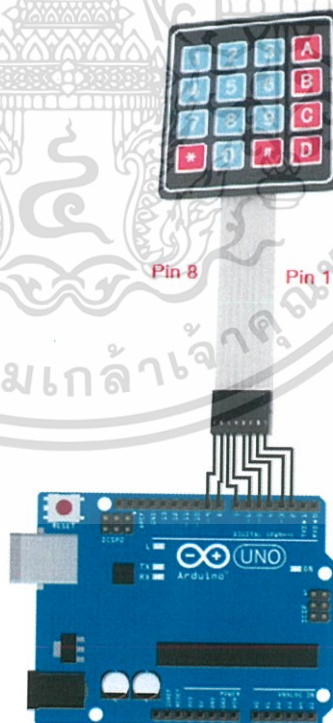
Pin 4 → Pin 5

Pin 5 → Pin 6

Pin 6 → Pin 7

Pin 7 → Pin 8

Pin 8 → Pin 9



รูปที่ 3.9 วิธีต่อ Keypad เข้ากับ Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ระบบขนถ่ายลม

ในการเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังพื้นที่ในการฉายรังสี จำเป็นต้องมีตัวกลางในการนำพาวัตถุ โซลินอยด์วาล์ว เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ระบบเกิดการสับเปลี่ยนทิศทางทั้งขาไปและขากลับ โดยเราจะใช้โซลินอยด์วาล์วชนิด 3/2 (3/2 Way Single Solenoid Valve) ในการสับทิศทางของลม

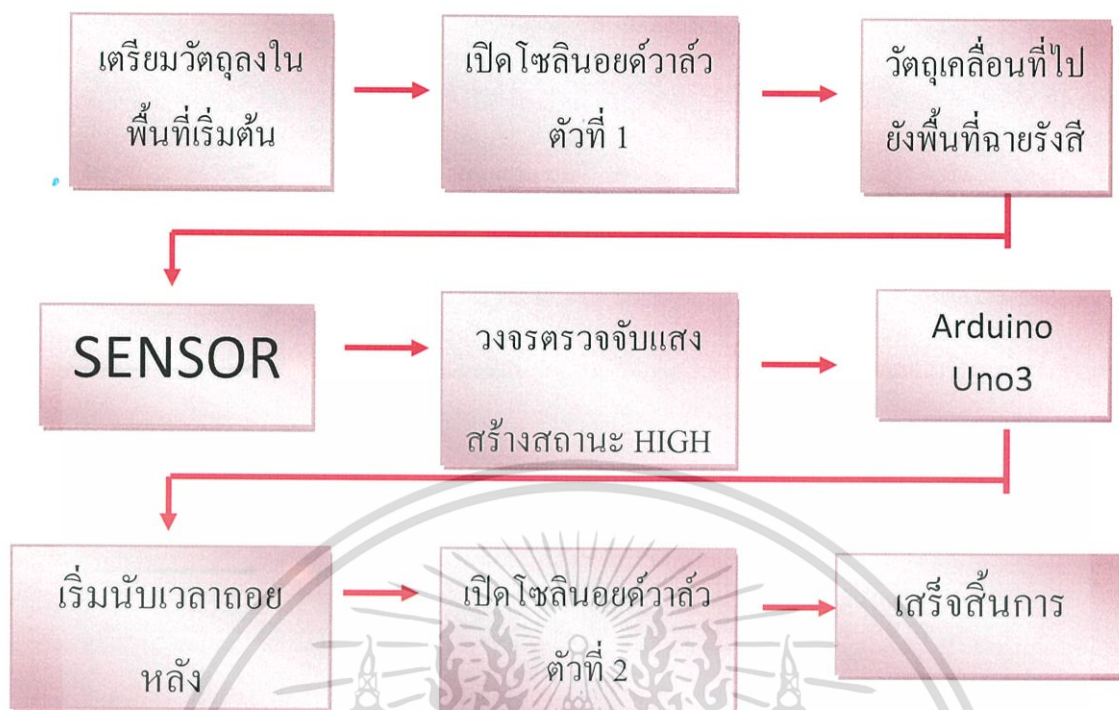
3.7.1 โซลินอยด์วาล์ว 3/2 (3/2 Way Single Solenoid Valve)



รูปที่ 3.10 การทำงานของ Solenoid Valve 3/2 และสัญลักษณ์

หลักการทำงาน

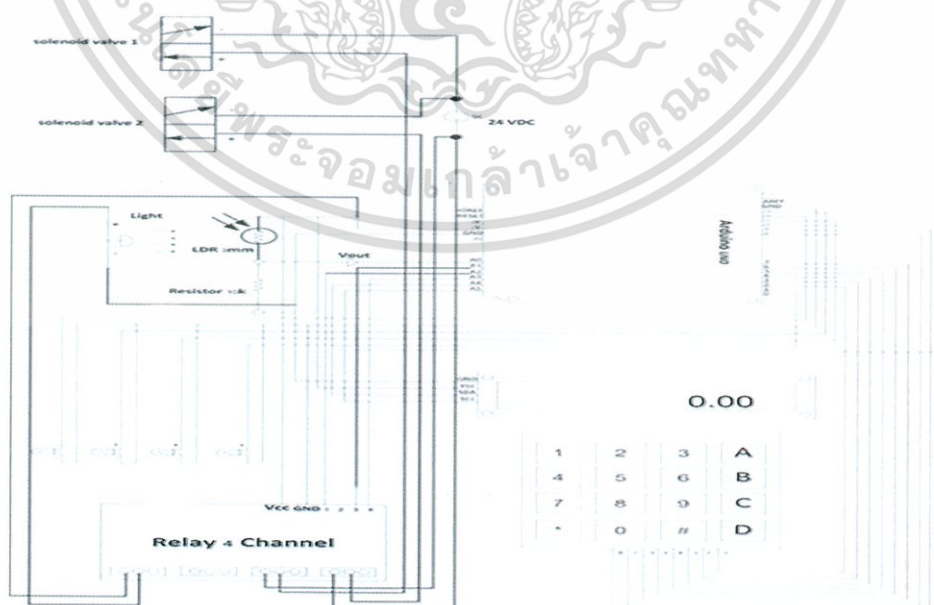
ตำแหน่งปกติ Solenoid Valve Y1 ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทำให้ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก สปริงจะดันลิ้นวาล์วให้ปิด ทำให้ลมจาก 1(P) ไม่สามารถออกไปที่ 2(A) ได้แต่ 2(A) จะต่อถึง 3(R) ได้ ตำแหน่งทำงาน เมื่อกดปุ่ม Start ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Solenoid Valve Y1 ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กไปเลื่อนลิ้นวาล์ว มีผลทำให้ลมจาก 1(P) ไปออกที่ 2(A) ส่วน 3(R) ถูกปิด เมื่อปล่อยปุ่ม Start จะทำให้ Solenoid Valve Y1 หมดอำนาจแม่เหล็ก สปริงจะดันลิ้นวาล์วให้กลับสู่สภาวะปกติ



รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมของการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการทำงาน

3.8 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์การทำงาน

ในการวิเคราะห์นี้จะทำการทดสอบโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่หนึ่งทดสอบการทำงานระบบจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง และตอนที่สองเป็นการทดสอบการทำงานของระบบลม



รูปที่ 3.12 วงจรรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์ผลของระบบควบคุมการจับเวลาในการฉายรังสีสำหรับการวิเคราะห์เชิงกึ่งกัมมันตรังสีโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตอน การทดสอบการทำงานของระบบจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสงและตอนที่สองเป็นการทดสอบการทำงานของระบบลม ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 การทดสอบการทำงานของระบบจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดควบคุมการจับเวลา(CCTS)
2. LDR 3mm 1 ตัว
3. LED 5v 1 ตัว
4. เลเซอร์ 5v 1 ตัว
5. ท่อขนส่งวัสดุชนิดโปร่งแสง
6. บั๊มลม
7. Digital Multi Meter 1 ตัว
8. LED 3V 1 ตัว
9. หม้อแปลง 200 VAC to 24 VDC

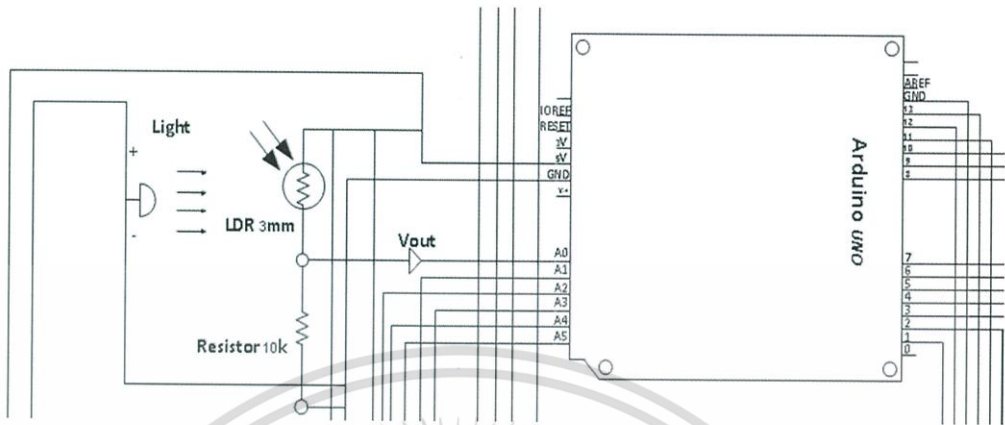
4.1.1 การทดสอบระบบเซ็นเซอร์โดยใช้ LED 5V

วิธีการทดลอง

1. นำไฟฉาย LED ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5V เพื่อทำการส่องแสงไปยัง LDR เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุ เมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่าน
2. นำมัลติมิเตอร์ ต่อเข้ากับขาของ LDR เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ที่ส่งไปยัง บอร์ดของ Arduino เมื่อมีวัตถุผ่าน LDR ค่าแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปตามความเข้มแสงที่ LDR รับผิดชอบ
3. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการวัด นำไปเปรียบเทียบกับ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ Arduino วัดได้
4. ทำการปรับค่า A/D ของ LDR ตั้งแต่ 400 ถึง 820 (โดยเพิ่มค่าทีละ 50) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมแก่การตรวจจับวัตถุ เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน ตามตารางการทดลอง
5. บันทึกค่า A/D และสถานะลอจิก ที่เซ็นเซอร์ทำงานได้ ลงตามตาราง

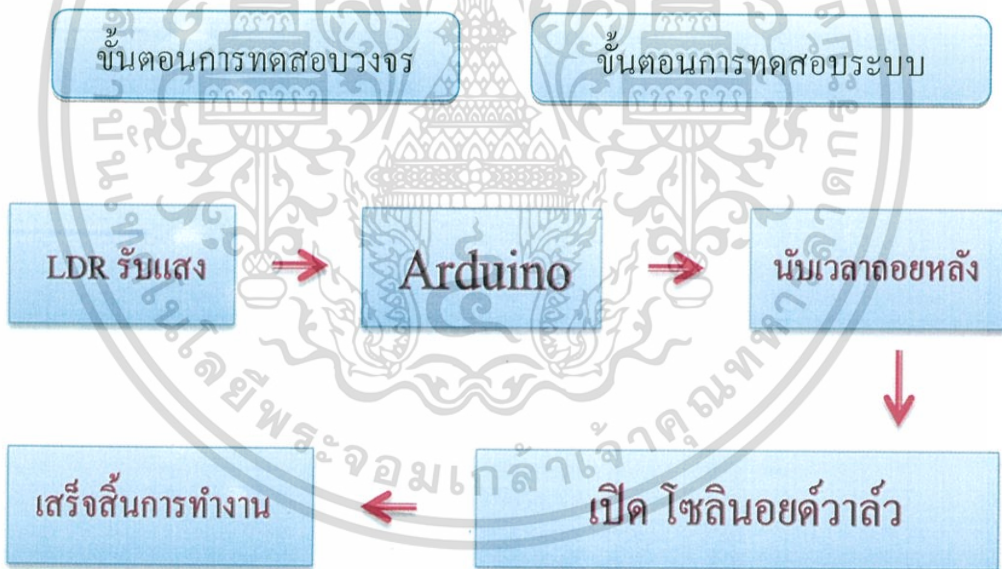
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.1 วงจรของการทดลอง

ไดอะแกรมแสดงการทำงาน



รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมของการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันและสถานะลอจิก ของ ไฟ LED

A/D	V _{in}	ค่าลอจิก	สถานะลอจิก
400	1.955	0	LOW
450	2.199	0	LOW
500	2.443	0	LOW
550	2.687	0	LOW
600	2.931	0	LOW
650	3.175	0	LOW
700	3.419	1	HIGH
750	3.663	1	HIGH
800	3.907	1	HIGH
820	4.007	1	HIGH

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า V_{in} ที่แปลงมาจากค่า A/D ที่วัดได้จากบอร์ด Arduino

จากสูตร

$$V_{in} = \frac{V_{ref}}{1023} \times \text{A/D Number}$$

V_{ref} = แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ

A/D Number = จำนวนเลขดิจิตอลที่แปลงมาจากค่า Analog ที่ Arduino วัดได้

V_{in} = ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก LDR ก่อนเข้า บอร์ด Arduino

แทนค่า

$$V_{in} = \frac{5}{1023} \times 400$$

$$V_{in} = 1.955 \text{ V}$$

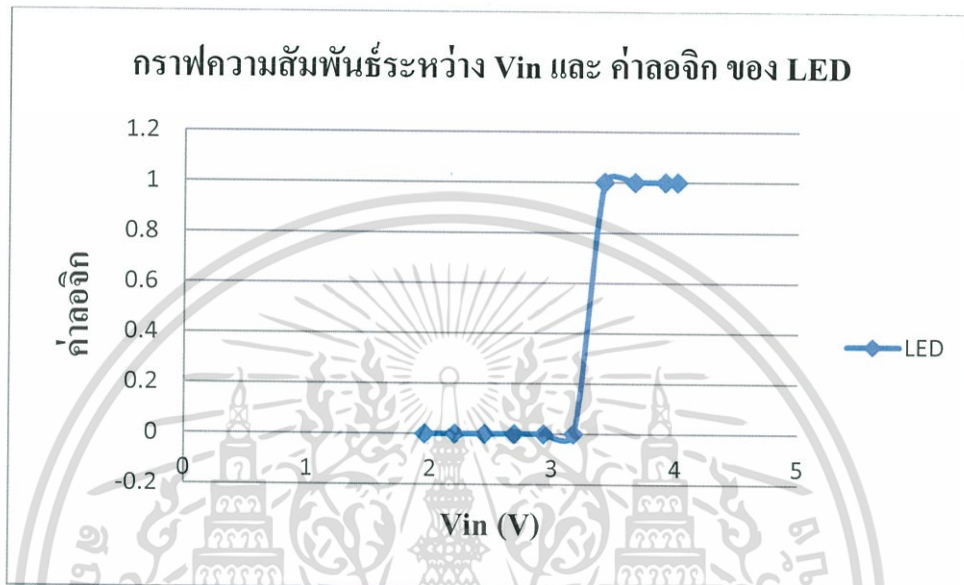
นำค่า A/D มาคำนวณหาค่า V_{in} จนถึงค่า A/D ที่ 820

$$V_{in} = \frac{5}{1023} \times 820$$

$$V_{in} = 4.007 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงผลเพื่อแสดงให้เห็นในรูปที่ชัดเจนและสามารถเปรียบเทียบค่าของผลการทดลองได้อย่างชัดเจน โดยกราฟที่จะนำมาแสดงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าลอจิกกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ที่จุดเริ่มการทำงาน โดยจะเอาไปเปรียบเทียบกับ ผลการทดลองที่ 4.1.2 โดยใช้เลเซอร์เป็นตัวให้แสง



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ของ V_{in} และ ค่าลอจิก ของ LED

จากความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} และ ค่าลอจิก พบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่า เท่ากับ 3.419 V เป็นต้นไป (หรือ ค่า A/D เท่ากับ 700 เป็นต้นไป) จะเกิดการเปลี่ยนสถานะลอจิกไปเป็น Hi =1 ทำให้ Arduino เริ่มทำการนับเวลาถอยหลัง เพื่อให้วัตถุได้ทำการอบรังสี ในการวิเคราะห์เชิงกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน (Neutron Activation Analysis)

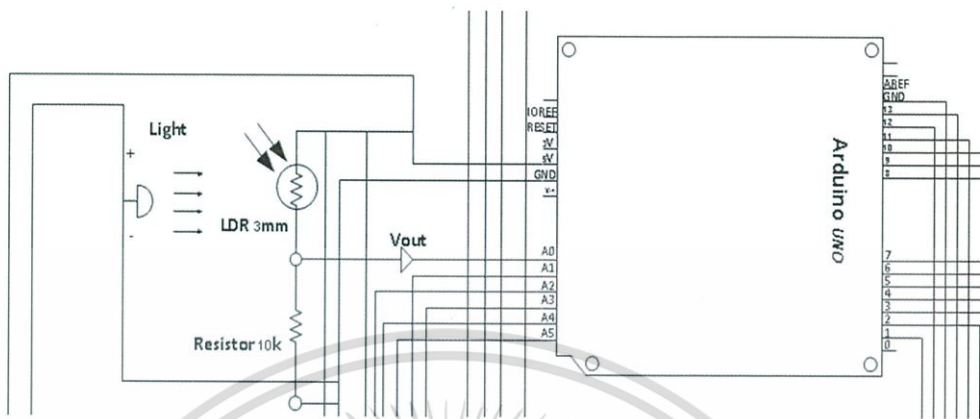
4.1.2 การทดสอบระบบเซ็นเซอร์โดยใช้ Laser 5V

วิธีการทดลอง

- นำ Laser ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5V เพื่อทำการส่องแสงไปยัง LDR เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุ เมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่าน
- นำมัลติมิเตอร์ ต่อเข้ากับขาของ LDR เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ที่ส่งไปยัง บอร์ดของ Arduino เมื่อมีวัตถุผ่าน LDR ค่าแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปตามความเข้มแสงที่ LDR รับผิดชอบ
- นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการวัด นำไปเปรียบเทียบกับ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ Arduino วัดได้
- ทำการปรับค่า A/D ของ LDR ตั้งแต่ 400 ถึง 925 (โดยเพิ่มค่าทีละ 50) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมแก่การตรวจจับวัตถุ เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน ตามตารางการทดลอง
- บันทึกค่า A/D และสถานะลอจิก ที่เซ็นเซอร์ทำงานได้ ลงตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.4 วงจรของการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันและสถานะลอจิก ของ แสงเลเซอร์

A/D	V _{in}	คาลอจิก	สถานะลอจิก
400	1.955	0	LOW
450	2.199	0	LOW
500	2.443	0	LOW
550	2.687	0	LOW
600	2.931	0	LOW
650	3.175	0	LOW
700	3.419	0	LOW
750	3.663	0	LOW
800	3.907	0	LOW
850	4.151	1	HIGH
900	4.395	1	HIGH
925	4.521	1	HIGH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า V_{in} ที่แปลงค่ามาจากค่า A/D ที่วัดได้จากบอร์ด Arduino

จากสูตร

$$V_{in} = \frac{V_{ref}}{1023} \times \text{A/D Number}$$

V_{ref} = แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ

A/D Number = จำนวนเลขดิจิตอลที่แปลงมาจากค่า Analog ที่ Arduino วัดได้

V_{in} = ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก LDR ก่อนเข้า บอร์ด Arduino

แทนค่า

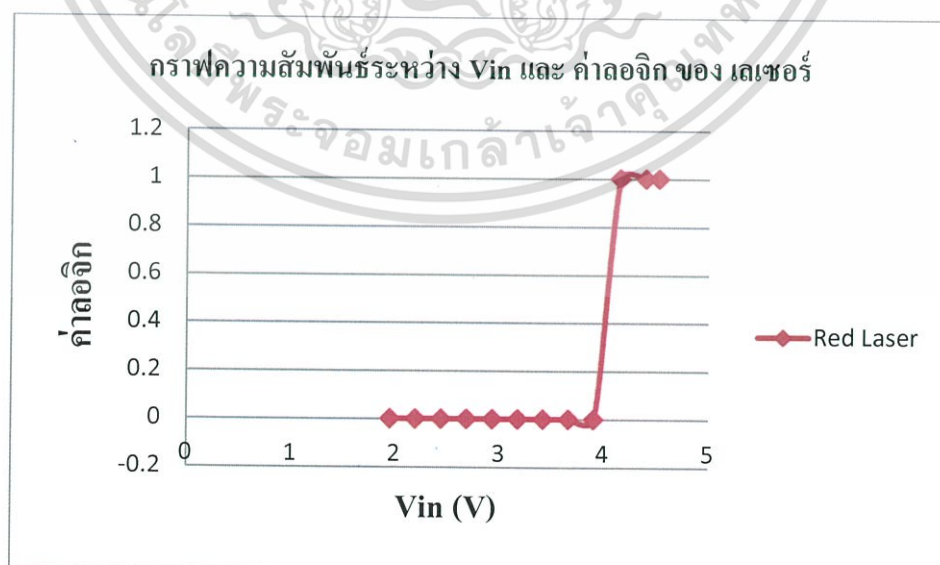
$$V_{in} = \frac{5}{1023} \times 400$$

$$V_{in} = 1.955 \text{ V}$$

นำค่า A/D มาคำนวณหาค่า V_{in} จนถึงค่า A/D ที่ 925

$$V_{in} = \frac{5}{1023} \times 925$$

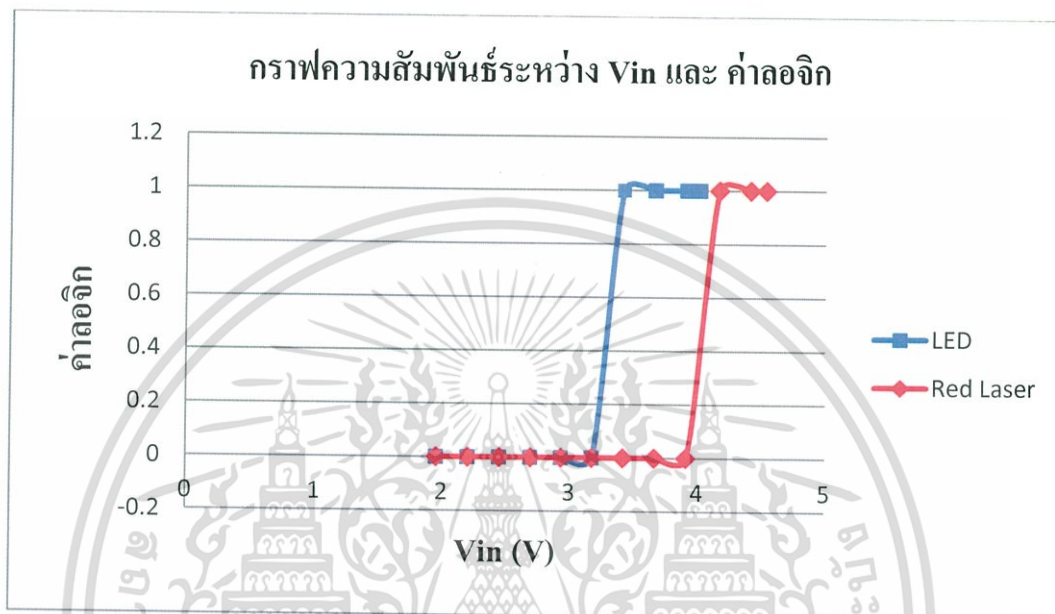
$$V_{in} = 4.521 \text{ V}$$



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ของ V_{in} และค่าลอจิก ของเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} และ ค่าลอจิก พบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่า เท่ากับ 4.151 V เป็นต้นไป (หรือ ค่า A/D เท่ากับ 850 เป็นต้นไป) จะเกิดการเปลี่ยนสถานะลอจิกไปเป็น Hi =1 ทำให้ Arduino เริ่มทำการนับเวลาถอยหลัง เพื่อให้วัตถุได้ทำการอาบรังสี ในการวิเคราะห์เชิงกึ่งกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน (Neutron Activation Analysis)



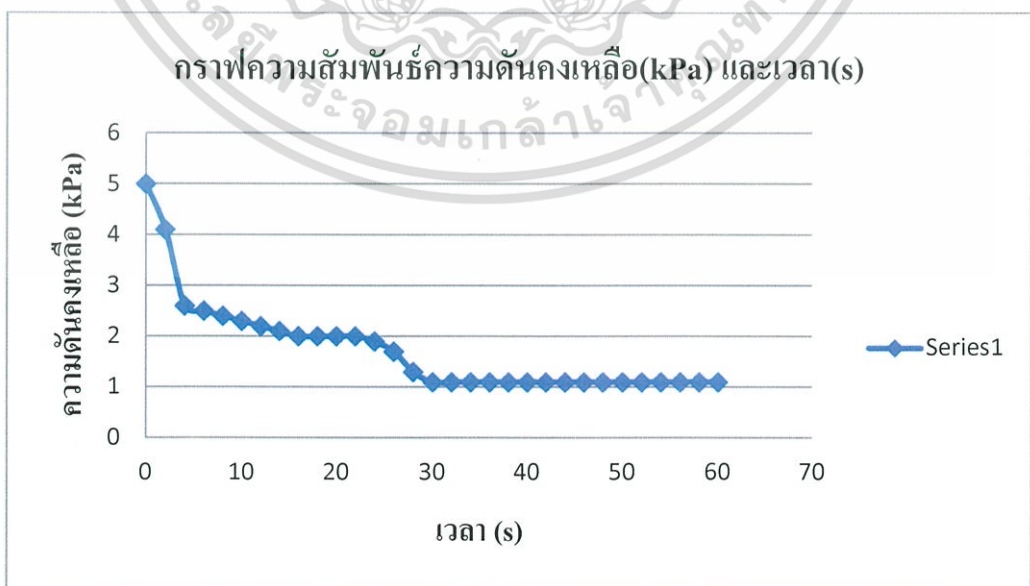
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ V_{in} และ ค่าลอจิก ของ LED และ laser

4.2 การทดสอบการทำงานของระบบ

จากการวิเคราะห์ระบบควบคุมการจับเวลา ทำให้พบว่าระบบมีการทำงานได้ตามต้องการตามที่ได้ทำการทดลองตามหัวข้อ 4.1 และในขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบการทำงานของลม โดยนำไปวิเคราะห์ร่วมกับระบบเซ็นเซอร์ ทดสอบว่า เซ็นเซอร์แสงจะสามารถทำงานได้ด้วยความเร็วของวัตถุที่เท่าไรและประสิทธิภาพการจับเวลาโดยพิจารณาจากความจุลมในบีมลม โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

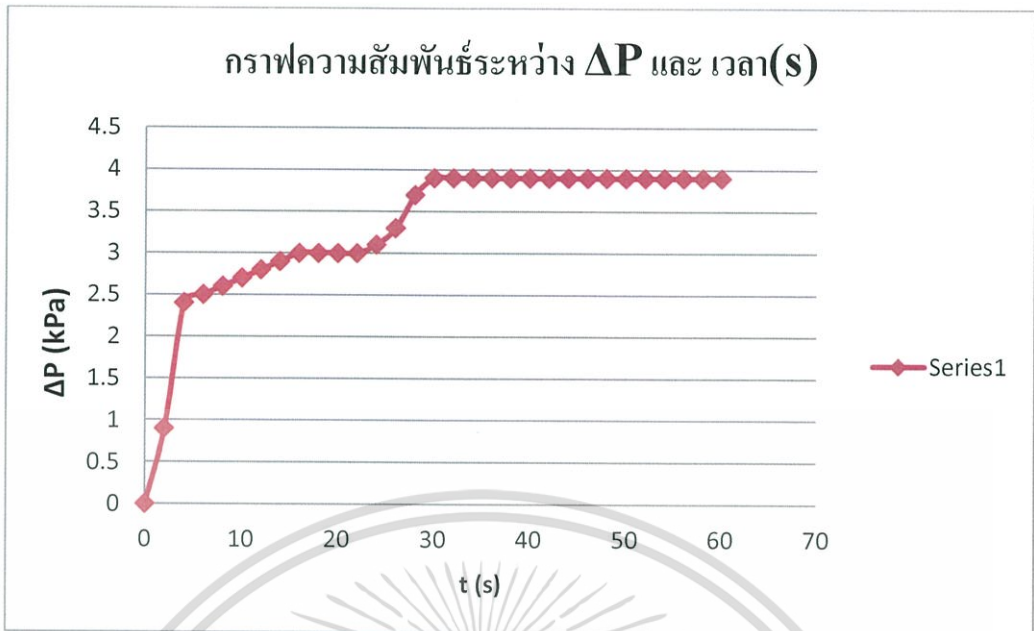
ตารางที่ 4.3 ระยะเวลามากที่สุดในการฉายรังสี

P_1 (kPa)	P_2 (kPa)	ΔP	t (s)	s (m)
5	5	0	0	0
5	4.1	0.9	2	6
5	2.6	2.4	4	6
5	2.5	2.5	6	6
5	2.4	2.6	8	6
5	2.3	2.7	10	6
5	2.2	2.8	12	6
5	2.1	2.9	14	6
5	2	3	16	6
5	2	3	18	6
5	2	3	20	6
5	2.2	2.8	22	6
5	1.9	3.1	24	6
5	1.7	3.3	26	6
5	1.3	3.7	28	6
5	1.1	3.9	30	6
5	1.1	3.9	32	6
5	1.1	3.9	34	6



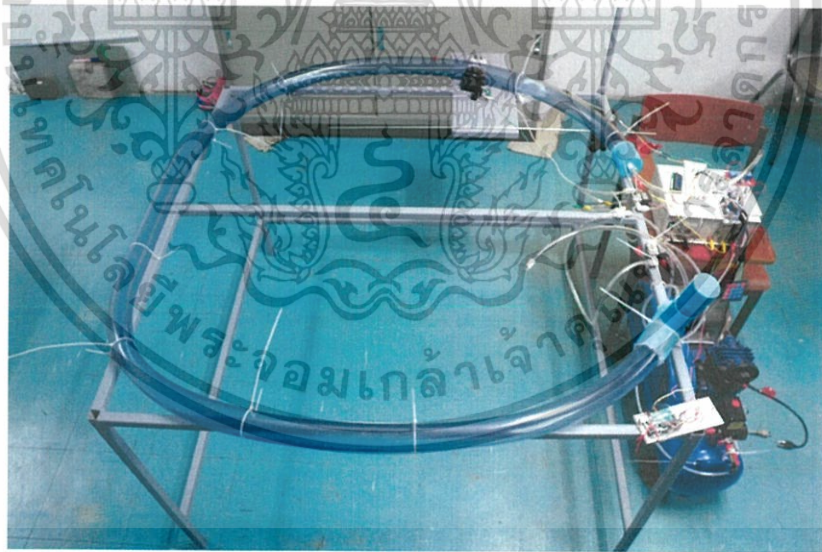
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ความดันคงเหลือ (kPa) และเวลา (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔP และ เวลา (s)

จากผลการทดลองทดสอบการทำงานของระบบเซ็นเซอร์แสงพร้อมกับระบบลม พบว่าระบบเซ็นเซอร์แสงและระบบลมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามสมมติฐานข้างต้น ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 การจัดวางระบบการจับเวลาในการฉายรังสีสำหรับการวิเคราะห์เชิงก่อกัมมันตรังสีเพื่อทดสอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองจากการทดสอบการทำงานของระบบการจับเวลาในการฉายรังสี

จากผลการทดลองข้างต้นมีการทดสอบระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ระบบเซ็นเซอร์แสง เป็นการทดสอบหาค่าความไวแสง ที่เหมาะสมกับการทดลอง และวัดแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ระบบจับเวลาเกิดการ ทำงาน แบ่งการทดสอบเป็น 2 ประเภท ใช้ตัวกำเนิดแสงเป็น LED 5v และใช้ตัวกำเนิดแสงเป็น เลเซอร์ชนิดสีแดง 5v ในการทดลองโดยใช้ไฟ เลเซอร์ ค่า A/D จากค่า 400 ถึง 925 พบว่า เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับวัตถุผ่านได้ที่ค่าทำการทดลองที่ ค่า 850 พบว่า เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน เซ็นเซอร์แสงสามารถตรวจจับแสงได้ ซึ่งค่า A/D ที่ 850 มีค่าห่างจากค่า A/D ที่ยังไม่มียวัตถุใดๆเคลื่อนที่ผ่าน ที่ 925 ซึ่งห่างกันไม่มากนัก หมายความว่า เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน LDR ค่า A/D จะมีค่าลดลงไม่เกิน 70 ค่า เมื่อนำ ค่าส่วนต่างของ A/D มาทำการคำนวณในรูปแบบแรงดันไฟฟ้าแล้ว พบว่า การทดลองโดยใช้เลเซอร์ชนิดสีแดง มีการสวิตช์แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนค่าเพียง 0.37 v ซึ่งมีค่าน้อยกว่าและรวดเร็วกว่า ของ การทดลองของไฟ LED ถึง 1.5 เท่า จากการทดลองโดยรวมของการทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์แสงพบว่า ถ้าค่า A/D ยิ่งสูง ประสิทธิภาพในการจับวัตถุก็จะมีค่าสูงและมีความแม่นยำมากขึ้น ค่า A/D ที่ได้จะถูกนำมาใช้ในเงื่อนไขของโปรแกรม คือ ถ้าค่า A/D ต่ำกว่า ค่าที่กำหนด จะกำหนดให้ เกิดการจับเวลา เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน ตามผลการทดลอง ซึ่งการทดสอบการทำงานทั้งหมดเป็นไปตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ ตอนที่สอง จะเป็นการทดลองระบบลม จากผลการทดลองที่ 4.2 ระยะเวลาที่มากที่สุดที่ระบบสามารถทำการจับเวลาได้ โดยตัวแปรสำคัญคือ ความดัน และเวลา จากผลการทดลองพบว่า ยิ่งใช้เวลามากขึ้น ความดันในปั๊มลมก็จะยิ่งลดลง ตามความสัมพันธ์ของกราฟ และคงค่าแรงดันอยู่ที่ 1.1 Kpa ซึ่งเป็นค่าความดันภายในปั๊มน้อยที่สุดที่สามารถทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปได้

5.2 วิจัยณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบระบบข้างต้นพบว่าระบบมีการทำงานได้ตามสมมติฐาน ผลที่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านเซ็นเซอร์ ทำให้ Arduino เริ่มทำการนับเวลาลอยหลังที่ได้ตั้งไว้ ตามเงื่อนไขเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเนื่องจากArduino สับสน ค่าเอาต์พุตที่ออกมาจาก LDR จะเป็นเหตุให้การทำงานของโปรแกรมและระบบจับเวลาผิดพลาดจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจาก Arduino จะรับค่าความไวแสงจาก LDR จากค่าที่กำหนดนั้น ยังมีค่าที่ไม่เสถียร เนื่องจาก LDR จะไวต่อแสงขาว บังจัจด้านสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงอาจส่งผลต่อค่าความไวแสงที่ LDR รับได้ จึงทำให้ระบบจับเวลานั้นอาจจับเวลาเอง โดยยังไม่มียวัตถุใดๆเคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้นการทดลองจำเป็นต้องทำการทำงานในสถานที่ ที่มี ความเข้มแสงคงที่ เพื่อให้ได้ค่าความไวแสงที่แม่นยำ ดังนั้นในการทดลองควรติดตั้งวัสดุกำบังแสงให้กับระบบเซ็นเซอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการทำงานที่ผิดพลาดของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. วัสดุที่นำมาใช้เป็นทางลําเลียงวัสดุตัวอย่างนั้นอาจยังไม่มี ความคงทนที่ไม่มากนัก เนื่องจากเป็นวัสดุที่ทำมาจากยางนั้นเป็นเพียงวัสดุจำลองที่ใช้แทนจากวัสดุของจริง ในการทำงาน ของจริงนั้น ควรเป็นวัสดุที่มีความคงทนสูงและมีค่าครึ่งชีวิตที่ต่ำ และป้องกันการรั่วไหลของรังสีได้
2. การออกแบบวงจรตรวจจับแสงนั้นยังสามารถพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้อีก เช่น การเปลี่ยนไปใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรด หรือเซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหว ซึ่งจะทำให้มีความแม่นยำในการ ตรวจจับวัตถุได้ดียิ่งขึ้น
3. การออกแบบการวางระบบเซ็นเซอร์นั้น ควรมีการติดตั้งตำแหน่งที่แม่นยำ เพื่อความ แม่นยำในการตรวจจับวัตถุ และต้องมีตำแหน่งการวางที่มีดัดซิดเพื่อป้องกันไม่ให้แสงหรือความชื้นเข้าไปในวงจรและเกิดความเสียหายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

อ.เดชฤทธิ์ มณีธรรม. 2545. นิวแมติกส์และนิวแมติกส์ไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

อ.เดชฤทธิ์ มณีธรรม. 2548. ระบบนิวแมติกส์(Pneumatics System). กรุงเทพฯ : เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

พรชัย จงจิตร์ไพศาล. 2548. ระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

เอกชัย มะการ. 2552. เรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลAVRด้วยArduino. กรุงเทพฯ : บริษัท อีทีที จำกัด.

สิริมา สະไบบาง. 2557. “การวิเคราะห์วิธีวัดนิวตรอนฟลักซ์ด้วยเทคนิคการก่อกัมมันต์แผ่นทองสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปว.-1/1.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[Online]. Available: www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7235/optical-sensor

[Online]. Available: student.nu.ac.th/electronic/00008.doc

[Online]. Available: webserv.kmitl.ac.th/s1010958/web/php/Solenoidvalves.php

[Online]. Available: www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI_electronics/image/LDR.HTM

[Online]. Available : www.myarduino.net/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้