



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ชุดไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง

Obstruction Light for HRSG Stack

นายอัครสร จิตตั้งสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา ชุดไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายอัครสร จิตตั้งสกุล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายปรัชญา วิบูลรังสรรค์

สถานประกอบการ บริษัท กัลฟ์ เจพี เอ็นเอส จำกัด

### บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับชุดไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (Obstruction Light for Heat Recovery Stream Generator Stack) ระบบไฟแจ้งเตือนนี้ถูกติดตั้งเพื่อใช้ระบุตำแหน่งของโครงสร้าง แต่มีปัญหาในการซ่อมบำรุงรักษาที่ทำได้ยาก เนื่องจากเมื่อเกิดความเสียหายจะมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่สูงและใช้ระยะเวลานาน จึงได้มีการจัดทำชุดจำลองไฟแจ้งเตือน ซึ่งจะต้องมีรูปแบบการทำงานตรงตามข้อกำหนดขององค์การการบินระหว่างประเทศ ได้มีการจัดทำชิ้นงานชุดจำลองไฟแจ้งเตือนโดยเลือกใช้วงจรควบคุมด้วย Arduino Uno R3 ทำงานร่วมกับ LDR Sensor และ Solid State Relay โดยมีการเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรด้วยการเขียนชุดคำสั่งในการกำจัดช่วงสัญญาณที่ไม่คงที่ (Debounce) และ สามารถการปรับความถี่ในช่วงไฟกระพริบได้ (Duty cycle) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงชุดอุปกรณ์สำหรับไฟแจ้งเตือนก่อนการติดตั้งจริงในอนาคต

คำสำคัญ : Obstruction Light , Arduino, Debounce

**Cooperative Title:** Obstruction Light for HRSG Stack

**Student intern name:** Mr. Akarasorn Jittangsakul

**Faculty:** Engineering

**Department:** Electrical Engineering

**Advisor name:** Asst.prof. Nirudh Jirasuwankul, Ph.D.

**Mentor name:** Mr. Pratchaya Wiboonrangsakul

**Company:** Gulf JP NS Co, Ltd

## ABSTRACT

This co-operative education report discusses about the obstruction Light for Heat Recovery Steam Generator (HRSG), this system has been installed and used to specify the location of air transportation but there are difficulties to repairing and maintaining because when the system damaged, there will be high maintenance cost and a time consuming. Therefore, the simulate obstruction Lights where the working model must follow the requirements of The Internal Civil Aviation organization. The obstruction Light Model was constructed by using Arduino Uno R3 for control circuit, together with the LDR sensor and the solid state relay. The efficiency of the system was improved by coding a program decrease Debounce of system and can adjust duty cycle of flashing in order to guide the improvement obstruction light process before actual installation in the future

**Keyword:** Obstruction Light, Arduino, Debounce

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ก่อนอื่นต้องขอขอบพระคุณ บริษัท กัลฟ์ เจพี เอ็นเอส จำกัด หรือโรงไฟฟ้าหนองแขง ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้เข้าไปฝึกปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ตลอดระยะเวลาหนึ่งภาคการศึกษาทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานในอนาคต และต้องกราบขอบพระคุณคุณปรัชญา วิบูลย์สรณ์ หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า และคุณรุ่งตะวัน ด้วงปาน ผู้นิเทศงาน รวมไปถึงพนักงานในแผนกซ่อมบำรุงแผนกไฟฟ้าและแผนกอื่นทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้ประสบการณ์ในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์นิเทศงาน ที่ให้คำแนะนำในการตรวจแก้รายงานฉบับนี้ และให้ข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าตลอดมา และขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ทุกท่านที่ได้สั่งสอนให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานสหกิจฉบับนี้

อัครสร จิตตั้งสกุล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	3
1.4 วิธีดำเนินงาน.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ข้อกำหนดสำหรับการติดตั้งไฟเตือนสิ่งกีดขวางบนสิ่งปลูกสร้างและอาคารสูง.....	5
2.2.1 กฎเกณฑ์ทำเครื่องหมายและการติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางสำหรับสิ่งกีดขวาง.....	9
2.2.2 ข้อมูลคุณสมบัติไฟแจ้งเตือนอาคาร.....	9
2.2.3 จุดประสงค์ในการติดตั้งไฟแจ้งเตือนและข้อบังคับอื่นๆ.....	11
2.3 ส่วนประกอบชุดวงจรควบคุม.....	20
2.3.1 อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น.....	20
2.3.1.1 Arduino Uno R3.....	20
2.3.1.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....	21
2.3.1.3 ส่วนประกอบภายใน Arduino Uno R3.....	24
2.3.2 Relay.....	25
2.3.2.1 ส่วนประกอบรีเลย์.....	26
2.3.2.2 จุดต่อใช้งาน.....	26

2.3.2.3	ข้อคำสั่งในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป.....	27
2.3.2.4	Solid State Relay.....	28
2.3.3	การทำงานเซนเซอร์รับแสง.....	31
2.3.3.1	คุณสมบัติทางแสง.....	32
2.3.3.2	หลักการทำงานของ Photo switch.....	32
2.4	หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode , LED).....	34
2.4.1	โครงสร้างหลอดไดโอดเปล่งแสง.....	35
2.4.2	หลักการทำงานของหลอด LED.....	36
2.4.3	คุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสง.....	37
2.5	Debounce.....	39
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>40</b>
3.1	ศึกษาข้อมูลด้านเทคนิค.....	40
3.2	วิเคราะห์สาเหตุด้านเทคนิค.....	40
3.3	ศึกษารูปแบบการทำงาน.....	41
3.4	จำลองอุปกรณ์ในสภาวะการทำงานจริง.....	42
3.5	สร้างชุดคำสั่งให้กับวงจรควบคุม.....	43
3.6	จัดทำชิ้นงาน.....	46
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>53</b>
4.1	วิเคราะห์ข้อมูล.....	53
4.2	ค่าใช้จ่ายโครงการ.....	60
4.3	แนวทางการพัฒนาก่อนการใช้งานจริง.....	61
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>63</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2	ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไขปัญหา.....	63
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	64
<b>บรรณานุกรม.....</b>		<b>65</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>		<b>66</b>
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>		<b>70</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติไฟแรงเตือนอาคาร.....	8
2.2 ข้อมูลจำเพาะ Arduino Uno R3.....	25
2.3 ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีการให้แสงสว่าง.....	38



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟแจ้งเตือนภายนอกอาคาร.....	6
2.2 ตัวอย่างการติดตั้งไฟแจ้งเตือนของสิ่งกีดขวาง.....	6
2.3 ตัวอย่างการติดตั้งไฟแจ้งเตือนของสิ่งกีดขวาง.....	7
2.4 ข้อกำหนดการใช้สัญญาณเตือนสำหรับสิ่งกีดขวาง.....	7
2.5 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
2.6 Arduino Uno R3.....	21
2.7 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....	21
2.8 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload.....	22
2.9 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด.....	22
2.10 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้วยการกด Compile.....	23
2.11 การ Upload โปรแกรมให้กับ Arduino.....	23
2.12 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3).....	23
2.13 ตัวอย่างอุปกรณ์รีเลย์.....	26
2.14 วงจรภายในอุปกรณ์รีเลย์.....	27
2.15 ตัวอย่างอุปกรณ์ Solid State Relay.....	28
2.16 Relay แบบ Electromechanical.....	28
2.17 วงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์มาเจอร์รีเลย์ และ โซลิดสเตตรีเลย์.....	29
2.18 องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของโซลิดสเตตรีเลย์ แบบ Non Zero Crossing Type.....	29
2.19 รูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าแสดงการทำงานของวงจรโซลิดสเตตรีเลย์ แบบ Non Zero Crossing Type.....	29
2.20 องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของ โซลิดเตตรีเลย์ แบบ Zero Crossing Type.....	30
2.21 รูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าแสดงการทำงานของวงจร Solid State Relay แบบ Zero Crossing Type .....	30
2.22 LDR.....	31
2.23 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ LDR.....	32
2.24 โครงสร้างภายในของ LDR.....	32
2.25 สวิตช์แสงแบบ mechanic.....	33

2.26 สวิตช์แสงแบบ electronics.....	33
2.27 โครงสร้างหลอดไดโอดเปล่งแสง.....	35
2.28 LED module.....	35
2.29 LED Driver.....	36
2.30 Heat sink.....	36
2.31 การเกิด Bounce ของสัญญาณ.....	39
2.32 การเกิด Bounce ของสัญญาณ.....	39
3.1 ตำแหน่งการติดตั้งไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง.....	41
3.2 แสดงการจำลองการทำงานของโปรแกรมผ่าน <a href="http://www.tinkercad.com">www.tinkercad.com</a> .....	45
3.3 แสดงอุปกรณ์ Arduino Uno R3.....	46
3.4 แสดงอุปกรณ์ LDR Sensor.....	46
3.5 แสดงอุปกรณ์ Solid State Relay.....	46
3.6 แสดงอุปกรณ์ Terminal.....	47
3.7 แสดงอุปกรณ์กล่องวงจร.....	47
3.8 แสดงอุปกรณ์สายไฟ.....	47
3.9 แสดงอุปกรณ์เครื่องมืออื่นๆ.....	47
3.10 แสดงการทำชิ้นงาน.....	48
3.11 แสดงการทำชิ้นงาน.....	48
3.12 แสดงการทำชิ้นงาน.....	48
3.13 แสดงผังวงจรการติดตั้ง.....	49
3.14 แสดงอุปกรณ์หลอดไฟ LED 40W.....	49
3.15 แสดงอุปกรณ์หลอดไฟ LED 14.5W.....	49
3.16 แสดงอุปกรณ์แผ่นอะคริลิก.....	50
3.17 แสดงการทำชิ้นงาน.....	50
3.18 แสดงการทำชิ้นงาน.....	50
3.19 แสดงการทำชิ้นงาน.....	51
3.20 แสดงการทำชิ้นงาน.....	51
3.21 แสดงการทำชิ้นงาน.....	51
3.22 แสดงผังการติดตั้งหลอดไฟ.....	52
3.23 แสดงชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์.....	52

4.1 แสดงส่วนของโปรแกรมรับค่าสัญญาณ.....	53
4.2 แสดงค่าสัญญาณที่รับมาจาก sensor.....	53
4.3 แสดงส่วนของโปรแกรมแบบไม่มีการกำจัด Debounce.....	54
4.4 แสดงส่วนของโปรแกรมแบบกำจัด Debounce.....	54
4.5 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 1.....	55
4.6 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 1.....	55
4.7 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 2.....	56
4.8 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 2.....	56
4.9 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 3.....	57
4.10 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 3.....	57
4.11 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 4.....	58
4.12 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 4.....	58
4.13 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 5.....	59
4.14 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 5.....	59
4.15 แสดงอุปกรณ์ photocell และการเชื่อมต่อ.....	61
4.16 แสดงการเชื่อมต่อ Master/Slave ของ Arduino.....	62

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท กัลฟ์ เอ็นเนอร์จี ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) หรือ กัลฟ์ เป็นบริษัทที่ประกอบธุรกิจหลักด้านการผลิตและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า และพลังงานหมุนเวียนต่างๆ ซึ่งจำหน่ายให้ทั้งทางภาครัฐและเอกชนในพื้นที่เขตนิคมอุตสาหกรรมหลักๆ ภายในประเทศ และยังคงผลิตและจำหน่าย ไอ้ น้ำ และ น้ำ เย็น ให้กับกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้บริษัทยังให้บริการบริหารจัดการโครงการไฟฟ้าต่างๆ ภายในกลุ่มบริษัท โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการก่อสร้างโครงการ ไปจนถึงการบริหารจัดการภายหลังที่โครงการเปิดดำเนินการเชิงพาณิชย์

กลุ่มบริษัท กัลฟ์ เป็นหนึ่งในผู้ผลิตพลังงานชั้นนำของประเทศไทย โดยผลิตไฟฟ้าและพลังงานทดแทนที่มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือทั้งในปัจจุบันและเพื่ออนาคต ปัจจุบัน กัลฟ์ มีโครงการโรงไฟฟ้าที่เปิดดำเนินการเชิงพาณิชย์แล้วรวม 20 โครงการ ได้แก่ โครงการ IPP ก๊าซธรรมชาติ 2 โครงการ โครงการ SPP ก๊าซธรรมชาติ (Cogen) จำนวน 14 โครงการ และโครงการ VSPP พลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar rooftop) จำนวน 4 โครงการ และมีโครงการโรงไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างและพัฒนาจำนวน 8 โครงการ ได้แก่ โครงการ IPP ก๊าซธรรมชาติ 2 โครงการ โครงการ SPP ก๊าซธรรมชาติ (Cogen) จำนวน 5 โครงการ และโครงการ SPP ชีวมวล 1 โครงการ โดยบริษัท กัลฟ์ เจพี เอ็นเอส จำกัด (มหาชน) เป็นสถานประกอบการที่ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาเป็นโครงการ IPP ความสามารถในการผลิต 1600 MW ที่ผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าให้กับภาครัฐ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือ กฟผ.) 100%

ปัจจุบันการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสำคัญ ไม่เว้นแม้แต่ประเทศไทย ความก้าวหน้าทางด้านต่างๆ ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ในขณะที่ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตพลังงานกำลังลดลง หากไม่มีความตระหนักด้านการใช้พลังงาน เชื่อได้ว่าพลังงานจะต้องหมดลง จึงได้มีการศึกษา การวิจัย ทดแทนเทคโนโลยีเดิม ด้วยเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า เพื่อใช้ในการประหยัด และมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ ทั้งทางภาครัฐยังได้มีการออกกฎหมายและนโยบายต่างๆ เพื่อให้ประชาชนและผู้ประกอบการได้ตระหนักถึงการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากโรงไฟฟ้าหนองแขง เป็นโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่ประมาณ 480,000 ตารางเมตร ภายในโรงไฟฟ้าประกอบด้วยโครงสร้างชุดการผลิตไฟฟ้า 2 ชุด (2 Block) ที่มีลักษณะเหมือนกันแทบทุกประการ ซึ่งภายใน 1 ชุดการผลิตไฟฟ้าจะประกอบด้วย กังหันแก๊ส (Gas Turbine) จำนวน 2 ชุดต่อเพลาร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และความร้อนที่เหลือใช้จากกังหันแก๊สจะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตของกังหันไอน้ำ (Stream turbine) มาต่อเพลาร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีก 1 ชุด โดยกระบวนการนำความร้อนเหลือใช้ระหว่างกระบวนการ แก๊ส และ ไอ้ น้ำ จะใช้เครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง หรือ HRSG (Heat

Recovery Steam Generator) ในกระบวนการแปรความร้อนมาใช้เปลี่ยนสถานะน้ำไปเป็นไอน้ำ ซึ่งภายใน 1 ชุดการผลิตไฟฟ้า จะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง อยู่ 2 ชุด โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง ถือว่ามีขนาดใหญ่ทางกายภาพ เมื่อเทียบกับระดับพื้นดินแล้วมีความสูงประมาณ 60 เมตร ด้วยความสูงนี้จึงมีข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติการเดินอากาศ ฉบับที่ 13 พ.ศ. 2562 และข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ICAO ที่ว่าด้วย วัตถุที่มีความสูงเกิน 45 เมตรและ 150 เมตรจะต้องมีการทำสิ่งระบุตำแหน่งพิกัดเอาไว้อย่างชัดเจน เพื่อความปลอดภัยในอาคารโดยรูปแบบลักษณะของระบบไฟแจ้งเตือนต้องเป็นไปตามระเบียบและข้อบังคับทำให้บริเวณด้านบนของโครงสร้าง HRSG จะมีการติดตั้งไฟแจ้งเตือน (Obstruction Light) ซึ่งในปัจจุบันชุดไฟแจ้งเตือนที่ได้ติดตั้งประกอบไปด้วย วงจรควบคุม และ ชุดให้แสงสว่าง เป็นชุดสำเร็จรูป ปัญหาที่ได้อุปกรณ์ชุดวงจรควบคุมนี้เกิดความเสียหายบ่อยเนื่องด้วยการใช้งานตลอดเวลาจึงเกิดความร้อนสะสม การแก้ไขที่สามารถทำได้ก็คือทำการเปลี่ยนชุดวงจรควบคุมทั้งชุดซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าใช้จ่ายที่สูง และต้องสั่งสินค้ามาจากต่างประเทศทำให้ใช้เวลายาวนาน จึงเป็นสาเหตุการวางแผนโครงการออกแบบวงจรชุดควบคุมไฟแจ้งเตือนที่สามารถทำงานทดแทนวงจรชุดเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสะดวกต่อการบำรุงรักษาในอนาคต

โครงการนี้จะเป็นการศึกษาวงจรควบคุมสำหรับไฟแจ้งเตือนด้านบนปล่องปล่อยไออากาศ (HRSG Stack) โดยเลือกใช้วงจรควบคุมอย่าง Arduino Uno R3 เป็นชุดควบคุมแทนวงจรควบคุมเดิม พร้อมออกแบบชิ้นงานเพื่อใช้จำลองสภาวะหน้างานจริง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินเรื่องและเปิดโครงการปรับปรุงสำหรับการติดตั้งจริงในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.) เพื่อออกแบบชุดวงจรควบคุมไฟแจ้งเตือนสำหรับ HRSG ตามข้อกำหนดองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ และ นโยบายของโรงไฟฟ้า
- 2.) เลือกใช้อุปกรณ์อย่างเหมาะสม สามารถทำงานทดแทนวงจรเดิมได้และเกิดความปลอดภัยต่อบุคลากรภายในโรงไฟฟ้า
- 3.) ลดค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุงระบบแสงสว่างในอนาคต
- 4.) เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานและเปิดโครงการปรับปรุงหน้างานจริงในอนาคตอันเป็นประโยชน์ต่อองค์กร

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาความเป็นไปได้ในการเลือกใช้ชุดวงจรควบคุม แทนที่วงจรแบบเดิม จากการเลือกใช้ชุดโมดูล Arduino Uno R3 ร่วมกับโมดูล Solid State Relay และ Photo Sensor Module โดยจำลองสภาวะการทำงานจริงผ่านการเขียนโปรแกรมควบคุมและแสดงผลด้วยชุดโมเดลทดลอง พร้อมทั้งหาแนวทางการปรับปรุงชิ้นงานเพื่อใช้ในการติดตั้งสภาวะหน้างานจริงในอนาคต

### 1.4 วิธีดำเนินงาน

- 1.) ศึกษาระบบแจ้งเตือนแสงสว่างภายในโรงไฟฟ้าหนองแขงจากแบบแปลนของโรงไฟฟ้าและเอกสารข้อมูลวงจรที่ใช้แบบเดิม พร้อมทั้งศึกษารูปแบบการทำงานของไฟแจ้งเตือน
- 2.) ศึกษาหลักการการทำงานของหลอดไฟฟ้าและชุดวงจรควบคุม อายุการใช้งาน และข้อเด่น ข้อด้อยของอุปกรณ์ที่เลือกใช้สำหรับทำโครงการ
- 3.) เขียนชุดคำสั่งให้ตรงกับเงื่อนไขของระบบไฟแจ้งเตือนให้กับชุด controller
- 4.) ประกอบชิ้นงานชุดจำลองวงจรแสงสว่าง
- 5.) จัดทำเอกสารข้อมูลทั้งหมดของโครงการ

### 1.5 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่ 1			เดือนที่ 2			เดือนที่ 3			เดือนที่ 4				
1.ศึกษาระบบต่างๆในโรงไฟฟ้า	x	x												
2.ศึกษาข้อมูล ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับโครงการ			x	x	x									
3.เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ					x	x								
4.เขียนชุดคำสั่งให้วงจรควบคุม						x	x							
5.ประกอบชิ้นงาน							x	x	x	x	x			
6.จัดทำรูปเล่ม และนำเสนอ										x	x	x	x	x

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) ออกแบบวงจรควบคุมแสงสว่างที่ใช้ต้นทุนต่ำกว่าวงจรเดิม และสามารถทำงานทดแทนวงจรเดิมได้
- 2.) ได้รับความรู้ความเข้าใจในการติดตั้งและออกแบบระบบแสงสว่าง
- 3.) ลดค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาของวงจรควบคุมในระยะยาว
- 4.) เพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟแจ้งเตือนให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
- 5.) ได้รับทักษะด้านการทำงาน
- 6.) เป็นประโยชน์ในการวางแผนดำเนินงานในการติดตั้งระบบแสงสว่างเพื่อเป็นประโยชน์ต่อองค์กรเพื่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อไป



## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในการออกแบบชุดวงจรควบคุมไฟแจ้งเตือนที่ใช้สำหรับ HRSG โดยใช้วงจรควบคุมคือ Arduino Uno R3 ทำงานควบคู่กับ Solid State Relay เพื่อใช้งานทดแทนวงจรเดิม สามารถทำงานตามเงื่อนไขเดิมและยังสามารถเพิ่มความแม่นยำในการทำงานให้สูงขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากหนังสือ วารสาร ตำรา วิทยานิพนธ์ต่างๆ และสื่ออื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในข้อมูลอย่างครบถ้วน และสามารถนำไปใช้งานอย่างถูกต้อง ซึ่งประกอบไปด้วย กฎหมายข้อกำหนดและมาตรฐานการติดตั้ง ความรู้พื้นฐานสำหรับอุปกรณ์ในวงจรควบคุมคือ Arduino Uno R3 Solid State Relay การทำงานของเซนเซอร์แสง ความรู้เกี่ยวกับหลักการการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสงและ Debounce ในระบบ

#### 2.2 ข้อกำหนดสำหรับการติดตั้งไฟเตือนสิ่งกีดขวางบนสิ่งปลูกสร้างและอาคารสูง

สำหรับสิ่งปลูกสร้างที่มีลักษณะตามข้อมูลต่อไปนี้จำเป็นต้องจัดทำให้มีสัญญาณไฟเตือนสิ่งกีดขวาง (Obstruction lighting) ตามพระราชบัญญัติการเดินอากาศ ฉบับที่ 13 พ.ศ. 2562 และข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ICAO<sup>[1]</sup>

1. วัตถุ ที่อยู่ในเขตปลอดภัยในเขตสนามบิน ที่สูงเกินความสูงอนุญาต เหตุผลเพราะความจำเป็นต้องให้ความสะดวกในการนำร่องเครื่องบิน และให้บริการข่าวสารการบิน (ถ้าไม่สูงใช้งานไม่ได้เต็มประสิทธิภาพ) แต่ต้องเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติแตกหักง่าย เช่น เสาและ shelter เครื่องช่วยการเดินอากาศ เสาและเครื่องวัดอุตุนิยมวิทยาการบิน เสาวิทยุการบิน แท็งก์น้ำจ่ายให้อาคารผู้โดยสาร เสาไฟลานจอดเครื่องบิน เสา CCTV \*รักษาความปลอดภัยในพื้นที่การบิน
2. วัตถุ ที่อยู่ในในปลอดภัยนอกเขตสนามบิน ที่สูงเกินความสูงอนุญาต ต้องจัดทำรายงานความเสี่ยงด้านการบิน ลดความสูงให้มากที่สุดที่จะสามารถทำได้ และมีมาตรการลดหรือเลี่ยงความเสี่ยงโดยการ ใช้เทคโนโลยีที่ตีมาปฏิบัติ (ระบุมีเหตุผลความจำเป็นต้องสูง ถ้าไม่สูงใช้งานไม่ได้) เช่น เสาไฟฟ้าแรงสูง เสาวิทยุ แท็งก์น้ำหมู่บ้าน เสาไฟเสาส่องในสนามกีฬา
3. วัตถุ ที่อยู่นอกสนามบินและนอกเขตปลอดภัย ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายบังคับ (แต่ควรดำเนินการติดเพราะต่อไปจะเป็นกฎหมายบังคับสำหรับวัตถุที่สูงเกิน 45 เมตร และ 150 เมตร และเพื่อความปลอดภัยในอาคารเอง) แต่หากประสงค์จะติดตั้งไฟเตือนสิ่งกีดขวาง ก็สามารถทำได้เพื่อ

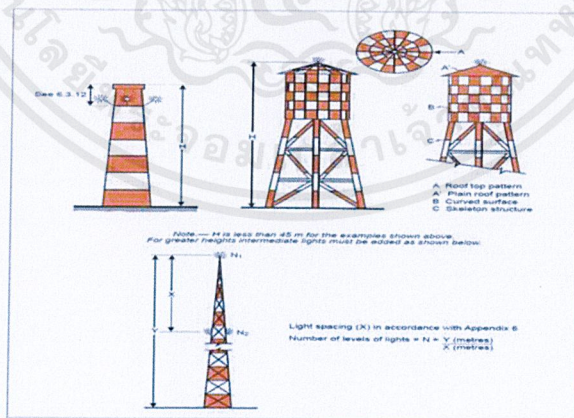
ที่กำหนด โดยให้เป็นไปตามกฎหมาย กพท. (ที่มีรายละเอียดตาม ภาคผนวกที่ 14 บทที่ 6 เครื่องช่วย การเดินอากาศด้วยทัศนวิสัยที่ช่วยแสดง(ให้เห็น)สิ่งกีดขวาง)

สำหรับ พนักงานเจ้าหน้าที่

1. เจ้าหน้าที่ AGA/SFD เป็นผู้ตรวจสอบ
2. เจ้าหน้าที่ AGA / ANS ตรวจสอบรายงานความเสี่ยงว่าไม่ตรงหรือใกล้แนวเส้นทางการบิน (radial VOR) แนวร่อน APCH/OLS แนวเดินทาง AIRWAY/ROOT
3. เจ้าหน้าที่ AGA ตรวจสอบความสูง และMarkingและ/หรือระบบไฟฟ้า/ANS ตรวจสอบความเสี่ยง

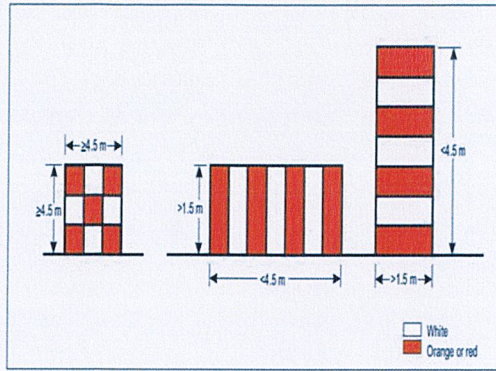


รูปที่ 2.1 ตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟแจ้งเตือนภายนอกอาคาร



รูปที่ 2.2 แสดงถึงตัวอย่างการติดตั้งไฟแจ้งเตือนของสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงถึงตัวอย่างการติดตั้งไฟแจ้งเตือนของสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 2.4 แสดงถึงข้อกำหนดการใช้สัญญาณเตือนสำหรับสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	2	3	4			7	8					
			Peak intensity (cd) at given Background Luminance				Vertical Beam Spread (c)	Intensity (cd) at given Elevation Angles when the light unit is levelled (d)				
			Above 500 cd m <sup>2</sup>	50-500 cd m <sup>2</sup>	Below 50 cd m <sup>2</sup>			-10° (e)	-1° (f)	+0° (f)	+6°	+10°
Low-intensity, Type A (fixed obstacle)	Red	Fixed	N/A	10 mmm	10 mmm	10°	---	---	---	10 mmm (g)	10 mmm (g)	
Low-intensity, Type B (fixed obstacle)	Red	Fixed	N/A	32 mmm	32 mmm	10°	---	---	---	32 mmm (g)	32 mmm (g)	
Low-intensity, Type C (mobile obstacle)	Yellow/Blue (a)	Flashing (60-90 fpm)	N/A	40 mmm (b) 400 max	40 mmm (b) 400 max	12° (h)	---	---	---	---	---	
Low-intensity, Type D) Follow-me Vehicle	Yellow	Flashing (60-90 fpm)	N/A	200 mmm (b) 400 max	200 mmm (b) 400 max	12° (i)	---	---	---	---	---	
Medium-intensity, Type A	White	Flashing (20-60 fpm)	20 000 (b) ± 25%	20 000 (b) ± 25%	2 000 (b) ± 25%	3° mmm	3% max	50% mmm 75% max	100% mmm	---	---	
Medium-intensity, Type B	Red	Flashing (20-60 fpm)	N/A	N/A	2 000 (b) ± 25%	3° mmm	---	50% mmm 75% max	100% mmm	---	---	
Medium-intensity, Type C	Red	Fixed	N/A	N/A	2 000 (b) ± 25%	3° mmm	---	50% mmm 75% max	100% mmm	---	---	
High-intensity, Type A	White	Flashing (40-60 fpm)	200 000 (b) ± 25%	20 000 (b) ± 25%	2 000 (b) ± 25%	3°-7°	3% max	50% mmm 75% max	100% mmm	---	---	
High-intensity, Type B	White	Flashing (40-60 fpm)	100 000 (b) ± 25%	20 000 (b) ± 25%	2 000 (b) ± 25%	3°-7°	3% max	50% mmm 75% max	100% mmm	---	---	

Note.— This table does not include recommended horizontal beam spreads. 6.3.22 requires 360° coverage around an obstacle. Therefore, the number of lights needed to meet this requirement will depend on the horizontal beam spreads of each light as well as the shape of the obstacle. Thus, with narrower beam spreads, more lights will be required.

- a) See 6.3.25
- b) Effective intensity, as determined in accordance with the *Aerodrome Design Manual*, Part 4.
- c) Beam spread is defined as the angle between two directions in a plane for which the intensity is equal to 50% of the lower tolerance value of the intensity shown in columns 4, 5 and 6. The beam pattern is not necessarily symmetrical about the elevation angle at which the peak intensity occurs.
- d) Elevation (vertical) angles are referenced to the horizontal.
- e) Intensity at any specified horizontal radial as a percentage of the actual peak intensity at the same radial when operated at each of the intensities shown in columns 4, 5 and 6.
- f) Intensity at any specified horizontal radial as a percentage of the lower tolerance value of the intensity shown in columns 4, 5 and 6.
- g) In addition to specified values, lights shall have sufficient intensity to ensure conspicuity at elevation angles between ± 0° and 50°.
- h) Peak intensity should be located at approximately 2.5° vertical.
- i) Peak intensity should be located at approximately 17° vertical.

fpm — flashes per minute; N/A — not applicable

## ตารางที่ 2.1 แสดงถึงคุณสมบัติไฟแจ้งเตือนอาคาร

ในด้านการเดินอากาศแล้ว นักบินจำเป็นต้องเห็นสิ่งวัตถุใดๆ ที่สูงเหนือระดับสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบๆ สถานที่ๆปฏิบัติการบินอยู่ ทั้งเมื่ออากาศดีท้องฟ้าแจ่มใสและเมื่อเกิดสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง มีเมฆ หมอก ยากต่อการมองเห็น วัตถุหรือสิ่งปลูกสร้าง ทั้งตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ควรทำให้นักบินสังเกตเห็นได้ชัด เพื่อที่จะควบคุมอากาศยาน ไม่ให้เข้าใกล้หรือเฉี่ยวชน

## 2.2.1 กฎเกณฑ์ทำเครื่องหมายและการติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางสำหรับสังเกตสิ่งกีดขวาง

คำว่า สิ่งกีดขวาง มีความหมายตามที่ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติไว้ดังนี้ สิ่ง หมายความว่า ของต่างๆ อย่าง อัน เป็นคำใช้แทนนามทั่วไปโดยไม่จำกัดว่าเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิต กีด หมายความว่า กั้น ขวาง หรือ เกะกะ ขวาง หมายความว่า กีดกัน หรือ สกิด เมื่อรวมกันแล้ว หมายความว่า ของต่างๆ ทั้งที่มีชีวิตหรือไม่มีชีวิต ที่กั้น หรือ เกะกะ หรือสกิดกั้นสิ่งอื่นที่เคลื่อนที่ผ่านของต่างๆ นั้น สิ่งกีดขวางตาม Annex 14 หมายถึง “ วัตถุที่อยู่กั้นที่และวัตถุที่เคลื่อนที่ทุกสิ่งไม่ว่าจะเป็นชั่วคราวหรือถาวรหรือส่วนหนึ่งของมัน ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณที่ต้องการใช้เป็นพื้นที่เคลื่อนไหวทางการบินหรือที่สูงทะเลพื้นผิวที่ต้องการปกป้องเครื่องบินที่ทำการบิน โดยวัตถุที่เป็นสิ่งกีดขวางพิจารณาจาก

1. วัตถุที่อยู่สูงจากพื้นภายใน strip ของทางวิ่ง
2. วัตถุที่อยู่สูงเกินพื้นผิว approach surface, transitional surfaces, inner horizontal surface, conical surface
3. อยู่ภายในเขตประกาศปลอดภัยในการเดินอากาศ ตามกฎหมายการเดินอากาศ เขตปลอดภัยกีดขวาง (Obstacle Free Zone) = NFZ หมายถึง ห้วงอากาศเหนือ the inner approach surface, inner transitional surfaces, balked landing surface และส่วนของ strip ที่ล้อมรอบโดยพื้นที่เหล่านี้ ซึ่งไม่ถูกแทงทะลุโดยสิ่งกีดขวางที่อยู่กั้นที่ใดๆนอกจากวัตถุเล็กๆและสิ่งที่แตกหักได้ง่ายที่จำเป็นสำหรับวัตถุประสงค์การเดินอากาศ inner approach surface

## 2.2.2 ข้อมูลคุณสมบัติไฟแจ้งเตือนอาคาร

สำหรับคุณสมบัติของไฟแจ้งเตือนสถานะ สามารถอ้างอิงได้จากตารางที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

1. ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มสูง ชนิด A หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีขาวกระพริบ 40-60 ครั้งต่อ นาที ความเข้มแสง 2 แสนแรงเทียน +/- 25 % ทำมุมในแนวตั้ง 3-7 องศา มีความเข้มแสงไม่เกิน 3 % ที่มุม -10 องศา และ 50-75 % ที่ -1 องศา และ 100 % ที่มุม 0 องศา ในตอนกลางวัน และ 2 หมื่นแรงเทียน ในตอนใกล้ค่ำ และความเข้มแสงในตอนกลางคืนไม่ต่ำกว่า 2 พันแรงเทียน +/- 25%
2. ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มสูง ชนิด B หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีขาวกระพริบ 40-60 ครั้งต่อ นาที ความเข้มแสง 1 แสนแรงเทียน +/- 25 % ทำมุมในแนวตั้ง 3-7 องศา มีความเข้มแสงไม่เกิน 3%

ที่มุม -10 องศา และ 50-75 % ที่ -1 องศา และ 100 % ที่มุม 0 องศา ในตอนกลางวัน และ 2 หมื่น แรงเทียน ในตอนใกล้ค่ำ และความเข้มแสงในตอนกลางคืนไม่ต่ำกว่า 2 พันแรงเทียน +/- 25%

3.ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มปานกลาง ชนิด A หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีขาวกระพริบ 20-60 ครั้งต่อนาที ความเข้มแสง 2 หมื่นแรงเทียน +/- 25 % ทำมุมในแนวตั้ง 3 องศา มีความเข้มแสงไม่เกิน 3 % ที่มุม -10 องศา และ 50-75 % ที่มุม -1 องศา และ 100% ที่มุม 0 องศา ในตอนกลางวัน และความเข้มแสงในตอนกลางคืนไม่ต่ำกว่า 2 พันแรงเทียน +/- 25 % ใช้กับสิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่

4.ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มปานกลาง ชนิด B หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีแดงกระพริบ 20-60 ครั้งต่อนาที ความเข้มแสง 2 พันแรงเทียน +/- 25 % ทำมุมในแนวตั้ง 3 องศา มีความเข้มแสง 50-75 % ที่มุม -1 องศา และ 100 % ที่มุม 0 องศา ใช้กับสิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่

5.ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มปานกลาง ชนิด C หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีแดงคงที่ ความเข้มแสง 2 พันแรงเทียน +/- 25 % ทำมุมในแนวตั้ง 3 องศา มีความเข้มแสง 50-75 % ที่มุม -1 องศา และ 100 % ที่มุม 0 องศา ใช้กับสิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่

6.ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มต่ำ ชนิด A หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีแดงคงที่ ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 10 แรงเทียน ทำมุมในแนวตั้ง 10 องศา มีความเข้มแสง 100 % ที่มุม +6 และ +10 องศา ใช้กับสิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่ ตามตารางที่ 6-3 ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มต่ำ ชนิด B หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีแดงคงที่ ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 32 แรงเทียน ทำมุมในแนวตั้ง 10 องศา มีความเข้มแสง 100 % ที่มุม +6 และ +10 องศา ใช้กับสิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่

7.ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มต่ำ ชนิด C หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน กระพริบ 60-90 ครั้ง/นาที ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 40-400 แรงเทียน ไม่จำกัดมุมกระจายแสง ใช้กับสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่

8.ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มต่ำ ชนิด D หมายถึง ไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีเหลือง กระพริบ 60-90 ครั้ง/นาที ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 200-400 แรงเทียน ไม่จำกัดมุมกระจายแสง ใช้กับสิ่งกีดขวางที่เป็นรถยนต์ Follow-me

### 2.2.3 จุดประสงค์ในการติดตั้งไฟแจ้งเตือนและข้อบังคับอื่นๆ

การทำเครื่องหมายและ/หรือติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง (Obstruction Lights) เพื่อที่จะลดอันตรายต่อเครื่องบิน โดยแสดงตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง และไม่จำเป็นต้องลดข้อจำกัดในการทำงานซึ่งอาจจะรบกวนโดยสิ่งกีดขวางนั้น

#### 1. วัตถุประสงค์ที่จะต้องทำเครื่องหมาย และ/หรือติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง

1.1 คำแนะนำ สิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่ซึ่งลำ พื้นผิวบินขึ้น (take-off climb surface) ภายในระยะ 3000 เมตร จะต้องทำเครื่องหมาย และถ้าทางวิ่งใช้ในเวลากลางวันจะต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ยกเว้น

ก) การทำเครื่องหมายและติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ได้รับการยกเว้นเมื่อสิ่งกีดขวางนั้นอยู่ต่ำกว่าสิ่งกีดขวางอื่น ๆ โดยรอบ

ข) การทำเครื่องหมายได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มขนาดกลาง ชนิด A ในตอนกลางวัน (เป็นไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีขาวกระพริบ 20-60 ครั้งต่อนาที ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 2 หมืนแรงเทียน +/- 25% ทำมุมในแนวตั้ง 3 องศา มีความเข้มแสงไม่เกิน 3% ที่มุม -10 องศา และ 50-75% ที่มุม -1 องศา และ 100% ที่มุม 0 องศา ในตอนกลางวัน และความเข้มแสงในตอนกลางคืนไม่ต่ำกว่า 2 พันแรงเทียน +/- 25 % ตามตารางที่ 6-3 )ความสูงไม่เกิน 150 เมตร เหนือสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

ค) การทำเครื่องหมายได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงในตอนกลางวัน (เป็นไฟแสดงสิ่งกีดขวางสีขาวกระพริบ 40-60 ครั้งต่อนาที ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 1-2 แสนแรงเทียน +/- 25% ทำมุมในแนวตั้ง 3-7 องศา มีความเข้มแสงไม่เกิน 3% ที่มุม -10 องศา และ 50-75% ที่ -1 องศา และ 100 % ที่มุม 0 องศา ในตอนกลางวัน และ 2 หมื่นแรงเทียน ในตอนใกล้ค่ำ และความเข้มแสงในตอนกลางคืนไม่ต่ำกว่า 2 พันแรงเทียน +/- 25% ตามตารางที่ 2.1

ง) การติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นเป็นอาคารและผลการศึกษาทางการบินชี้ว่ามีแสงสว่างเพียงพอ

1.2 คำแนะนำ วัตถุที่อยู่กับที่ที่ไม่ใช่สิ่งกีดขวาง และอยู่ใกล้กับพื้นผิวบินขึ้น จะต้องทำเครื่องหมาย และถ้าทางวิ่งใช้ในตอนกลางวันต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ถ้าพิจารณาแล้วว่ามีจำเป็น เพื่อความมั่นใจในความปลอดภัย ยกเว้นการทำเครื่องหมายอาจไม่ต้องทำเมื่อ

ก) วัตถุพื้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มแสงขนาดกลางชนิด A ตามตาราง 6-3 ในตอนกลางวัน และวัตถุนั้นมีความสูงไม่เกิน 150 เมตรเหนือวัตถุโดยรอบ

ข) วัตถุนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มแสงสูงในตอนกลางวัน ตามตาราง 6-3

1.3 สิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่ที่มีความสูงเกินพื้นผิวร่อนลง (approach or transitional surface) ภายในระยะ 3 กิโลเมตร ภายในขอบของพื้นผิวร่อนลงจะต้องทำเครื่องหมายและถ้าทางวิ่งใช้ในเวลากลางคืน จะต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางด้วยยกเว้น

ก) การทำเครื่องหมายและติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางได้รับการยกเว้นเมื่อสิ่งกีดขวางนั้นอยู่ต่ำกว่าสิ่งกีดขวางอื่น ๆ โดยรอบ

ข) การทำเครื่องหมายได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มขนาดกลาง ชนิด A ในตอนกลางวัน และมีความสูงจากพื้นดินไม่เกิน 150 เมตร

ค) การทำเครื่องหมายได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงในตอนกลางวัน

ง) การติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางอาจได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นเป็นอาคารและผลการศึกษาทางการบินชี้ว่ามีแสงสว่างเพียงพอ

1.4 คำแนะนำ สิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่ อยู่ในบริเวณ รอบสนามบิน(horizontal surface) ภายในรัศมี 2 กม.(code 1) 2.5 กม.(code 2) และ 4 กม.( code 3 และ 4) รอบสนามบินมีความสูงเกิน 45 เมตร จะต้องทำเครื่องหมายและติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ยกเว้น

ก) การทำเครื่องหมายและติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางอาจจะได้รับการยกเว้นเมื่อ

1) สิ่งกีดขวางนั้น ถูกปกคลุมโดยสิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่อื่นโดยรอบ

2) สำหรับวงจรการบินที่ถูกกีดขวางโดยวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมที่มีขนาดใหญ่และไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จะต้องมีการพิจารณาเพื่อให้แน่ใจในระยะสูงที่ปลอดภัย ของแนวการบินนั้น

3) ในการศึกษาทางการบินแสดงว่าสิ่งกีดขวางนั้นไม่สำคัญต่อขั้นตอนการบิน

ข) การทำเครื่องหมายอาจจะได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มขนาดกลาง ชนิด A ในตอนกลางวัน และมีความสูงไม่เกิน 150 เมตรเหนือสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

ค) การทำเครื่องหมายอาจได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงในตอนกลางวัน

ง) การติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางอาจได้รับการยกเว้น เมื่อสิ่งกีดขวางนั้นเป็นอาคารและผลการศึกษาทางการบินชี้ว่ามีแสงสว่างเพียงพอ

1.5 วัตถุที่อยู่กับที่และอยู่สูงกว่าพื้นผิวจำกัดความสูง (obstacle protection surface) จะต้องทำเครื่องหมาย ถ้าใช้ทางวิ่งในเวลากลางคืนจะต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ข้อสังเกต ให้เป็นไปตาม obstacle protection surface ของ PAPI คือที่จุดก่อนถึงหัวทางวิ่ง 60 ม. ทำมุมเอียง A-0.57 องศา (A = มุมร่อนลง)=(1.93 องศา ในกรณีมุมร่อนลงจอด = 3 องศา) ตามแนว strip ( 75 หรือ150 ม. จากจุดกลางทางวิ่งออกไปทั้งสองข้าง) และเบนออกไป ด้านข้างๆละ 10 % ถ้าเป็นทางวิ่งแบบ non-instrument หรือ ข้างละ15 % ถ้าเป็นทางวิ่งแบบ instrument RW

1.6 รถยนต์หรือวัตถุเคลื่อนที่อื่น ๆ ยกเว้น เครื่องบินที่อยู่ในเขตเคลื่อนไหวทางการบิน ถือว่าเป็นสิ่งกีดขวาง และถ้ารถยนต์และสนามบินใช้ในเวลากลางคืนหรือในกรณีที่ทัศนวิสัยต่ำ จะต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ยกเว้น อุปกรณ์บริการเครื่องบินและรถยนต์ที่ใช้ภายในลานจอดที่มีแสงสว่างเพียงพอ

1.7 ไฟสนามบินชนิดที่ติดตั้งสูงจากผิวพื้นในพื้นที่เคลื่อนไหวทางการบิน จะต้องทำเครื่องหมายเพื่อให้เกิดความเด่นชัดในตอนกลางวัน ไม่ต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางบนไฟสนามบินหรือป้ายสัญลักษณ์ที่อยู่ในพื้นที่เคลื่อนไหว

1.8 สิ่งกีดขวางทั้งหมดที่อยู่ภายในระยะห่างที่กำหนดในตาราง 3-1 คอลัมน์ที่ 11 หรือ 12 จากจุดกึ่งกลางของทางขับ (Taxi) และทางขับบนลานจอด จะต้องทำเครื่องหมายและถ้าใช้ในเวลากลางคืนจะต้องติดไฟบอกสิ่งกีดขวาง

1.9 คำแนะนำ สิ่งกีดขวางที่อยู่ในข้อ 4.3.2 (ในพื้นที่ที่อยู่นอกพื้นที่จำกัดความสูงบริเวณโดยรอบสนามบิน วัตถุที่สูงเกิน 150 เมตร จะต้องปฏิบัติเช่นเดียวกับสิ่งกีดขวาง ยกเว้นได้มีการศึกษาแล้วชี้ว่าไม่เป็นอันตรายต่อการบิน) จะต้องทำเครื่องหมายหรือติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ยกเว้นสิ่งกีดขวางนั้นติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงในตอนกลางวัน

1.10 คำแนะนำ เส้นลวด สายไฟ เคเบิล ที่ติดตั้งข้ามแม่น้ำ หุบเขา หรือทางหลวง จะต้องทำเครื่องหมาย ทั้งสายไฟดังกล่าวพร้อมเสารับสายดังกล่าว และจะต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ถ้าการศึกษาพบว่า สายดังกล่าวจะเป็นอันตรายอย่างร้ายแรงกับเครื่องบิน การทำเครื่องหมายเสารับสาย จะได้รับการยกเว้นเมื่อมีการติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางที่มีความเข้มสูงในตอนกลางวัน

1.11 คำแนะนำ เมื่อมีการตรวจพบว่า สายที่ซึ่งไว้สูงนั้น จะต้องทำเครื่องหมายแต่ไม่สามารถทำเครื่องหมายได้ในทางปฏิบัติ จะต้องติดตั้งไฟบอกสิ่งกีดขวางแบบความเข้มสูง ชนิด B ติดตั้งบนเสาที่รับสายไฟนั้น

## 2 การทาสีทำเครื่องหมายบนวัตถุ

2.1 วัตถุที่อยู่กับที่ทุกชนิดที่จำเป็นต้องทาสีทำเครื่องหมายจะต้องทาสีถ้าสามารถทำได้ ถ้าไม่สามารถทาสีได้ จะต้องติดตั้งเครื่องหมายเฉพาะหรือธง บนส่วนยอดของวัตถุนั้น ยกเว้น วัตถุนั้นสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนโดยรูปร่าง ขนาด หรือสี ไม่จำเป็นต้องทำเครื่องหมาย

2.2 วัตถุเคลื่อนที่ทุกชนิดที่จำเป็นต้องทำเครื่องหมายจะต้องทาสีให้เด่นชัดหรือแสดงธง การใช้สี

2.3 คำแนะนำ วัตถุจะต้องทาสีเป็นรูปตามหมากรุก ถ้ามันเป็นวัตถุที่ไม่แตกง่าย และมีความสูงหรือความกว้างเกิน 4.5 เมตร รูปแบบจะต้องประกอบด้วย สีเหลี่ยมกว้างไม่ต่ำกว่า 1.5 เมตร และไม่เกิน 3 เมตร ตามด้านที่มุมจะต้องเป็นสีเข้มสีของรูปแบบจะต้องมีความแตกต่างกันเองโดยชัดเจนและแตกต่างจากสิ่งแวดล้อมด้วย ควรใช้สีสลับกับขาวหรือสีแดงกับขาวสลับกัน ยกเว้น เมื่อสีเหล่านี้กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม (ดังรูป 6.1)

2.4 คำแนะนำ วัตถุจะต้องทาสีเป็นแถบสลับกัน ถ้า ก. วัตถุมีผิวที่ทึบและมีความกว้างหรือความสูงมากกว่า 1.5 เมตร และมีด้านอื่นที่เป็นความกว้างหรือความสูงน้อยกว่า 4.5 เมตร หรือ ข. วัตถุมีลักษณะเป็นแบบโครงกระดูก โดยมีความกว้างหรือความสูงเกินกว่า 1.5 เมตร แถบสีจะต้องตั้งฉากกับด้านที่ยาวที่สุด และมีแถบกว้างประมาณ  $\frac{1}{7}$  ของด้านที่ยาวที่สุดหรือ 3 เมตร แล้วแต่ว่าอย่างไรจะน้อยกว่ากันสีของแถบสีจะต้องตัดกับสิ่งแวดล้อมมากๆ ควรจะใช้สีสลับกับขาว ยกเว้น สีดังกล่าวกลมกลืนไปกับสิ่งแวดล้อม แถบสีเข้มจะต้องอยู่ปลายสุดทั้งสองด้าน ตามรูป 2.1 หรือ 2.2

ข้อสังเกต ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการหาความกว้างของแถบสี และมีจำนวนสีเพื่อให้ปลายสุดทั้งด้านบนและล่างเป็นสีทึบแสง

2.5 คำแนะนำวัตถุจะต้องทาสีเดียว ถ้ามีด้านกว้างและด้านสูงน้อยกว่า 1.5 เมตร ควรจะทาสีสลับหรือแดง ยกเว้นในกรณีสีดังกล่าวกลมกลืนไปกับสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ข้อสังเกต เพื่อให้เกิดความแตกต่างจากสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องใช้สีที่ไม่ใช่สีสลับหรือแดง เพื่อให้เกิดความแตกต่างอย่างเพียงพอ

2.6 คำแนะนำเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ถูกทาสีเพียงสีเดียว มักจะใช้สีแดงหรือสีเหลืองเขียวสำหรับกรณีฉุกเฉิน และสีเหลืองสำหรับการบริการ ตาราง 6-1. ความกว้างแถบสี ด้านยาวสุดยาวมากกว่า ยาวไม่เกิน จำนวนแถบ 1.5 ม. 210 ม.  $\frac{1}{7}$  ของด้านยาวสุด 210 ม. 270 ม.  $\frac{1}{9}$  ของด้านยาวสุด 270 ม.

330 ม. 1/11ของด้านยาวสุด 330 ม. 390 ม. 1/13 ของด้านยาวสุด 390 ม. 450 ม. 1/15 ของด้านยาวสุด 450 ม. 510 ม. 1/17ของด้านยาวสุด 510 ม 570 ม. 1/19ของด้านยาวสุด 570 ม. 630 ม. 1/21ของด้านยาวสุด การใช้เครื่องหมาย (markers)

2.7 เครื่องหมายติดตั้งอยู่บนหรือติดใกล้กับวัตถุ จะต้องอยู่บนตำแหน่งที่มองเห็นได้ชัดเจน เพื่อรักษาคุณลักษณะของวัตถุ และจะต้องสามารถมองออกได้จากระยะห่างไม่ต่ำกว่า 1000 เมตร สำหรับวัตถุที่มองจากบนเครื่องบิน และระยะห่างไม่ต่ำกว่า 300 เมตร สำหรับวัตถุที่มองจากพื้นดินในทุกทิศทางที่เครื่องบินเข้าหาวัตถุนั้น ขนาดของเครื่องหมายจะต้องเด่นชัดแตกต่างจากวัตถุโดยรอบ เพื่อให้มั่นใจว่ามันจะไม่ทำให้เกิดความเข้าใจผิดสำหรับเครื่องหมายที่สื่อสาร และมันจะต้องไม่ทำให้วัตถุนั้นเพิ่มอันตรายมากขึ้น

2.8 คำแนะนำเครื่องหมายที่ติดบนเส้นลวดสายไฟเคเบิล ฯลฯ จะต้องเป็นทรงกลมและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 60 ซม.

2.9 คำแนะนำระยะห่างระหว่างเครื่องหมายกันเอง หรือระหว่างเครื่องหมายกับเสาพาดสายจะต้องมีขนาดพอเหมาะกะกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเครื่องหมาย แต่ไม่ว่ากรณีใดๆจะต้องมีระยะห่างเกินกว่า

ก) 30 ม. เมื่อเครื่องหมายมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 60 ซม. และเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น

ข) 35 ม. เมื่อเครื่องหมายมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 80 ซม. ค) 40 ม. เมื่อเครื่องหมายมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 130 ซม. ถ้ามีเส้นลวด, สายไฟ เคเบิล ฯลฯ หลายเส้นเครื่องหมายจะต้องอยู่ที่เส้นสูงสุด

2.10 คำแนะนำเครื่องหมายควรจะมีสีเดียว ถ้าติดตั้งสีขาวสลับแดง หรือขาวสลับส้ม ควรจะสลับสีกันตลอดแนวสีที่เลือกควรจะมี ความแตกต่างจากสิ่งแวดล้อมโดยเด่นชัด การใช้ธง (Use of flags)

2.11 ธงที่ใช้กับวัตถุจะต้องติดตั้งบนส่วนบนสุดของวัตถุ เมื่อธงถูกใช้เพื่อแสดงส่วนขยายของวัตถุหรือกลุ่มของวัตถุ จะต้องปักทุกระยะห่าง 15 เมตร และธงจะต้องไม่เพิ่มอันตรายให้กับวัตถุที่ติดตั้งนั้น

2.12 ธงที่ใช้กับวัตถุที่อยู่กับที่จะต้องเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดกว้างด้านละไม่ต่ำกว่า 0.6 ม. และของที่ใช้กับวัตถุที่เคลื่อนที่ที่จะต้องเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดด้านละไม่ต่ำกว่า 0.9 ม.

2.13 คำแนะนำ ธงที่ใช้ติดตั้งกับวัตถุที่อยู่กับที่ควรจะมีสี่เหลี่ยมหรือเป็นรูปสามเหลี่ยม 2 สี คือ ส้มกับขาวหรือแดงกับขาว ยกเว้นในกรณีที่สีนั้นกลืนกับสีของสิ่งแวดล้อม ให้ใช้สีอื่นที่ตัดกับสีของสิ่งแวดล้อมแทนได้

2.14 ธงที่ใช้กับวัตถุที่เคลื่อนที่ จะต้องมียูนิฟอร์มตารางหมากรุก แต่ละรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าด้านละ 0.3 ม. สีของตารางจะต้องมีความแตกต่างกันเองและแตกต่างจากสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน สีสัมพันธ์กับขาวหรือแดงกับขาวสลับกันตลอด ยกเว้นในกรณีที่สีกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม

### 3. การติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางให้วัตถุ การใช้ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง

3.1 วัตถุที่จำเป็นต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางตามที่กำหนดในข้อ 6.1 จะต้องเป็นแบบมีความเข้มข้น ปานกลาง และความเข้มสูง หรือผสมกัน ข้อสังเกต ไฟแสดงสิ่งกีดขวางที่มีความเข้มสูงใช้ติดตั้งสำหรับตอนกลางวันและกลางคืน จะต้องระวังแสงที่จะเข้าตาทำให้ตาพร่ามัวได้ การติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางที่มีความเข้มสูงนี้ดูจากคู่มือการออกแบบสนามบิน ส่วนที่ 4 (Aerodrome Design Manual Part 4)

3.2 คำแนะนำ ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำชนิด A หรือ B ควรจะใช้กับวัตถุที่มีขนาดไม่กว้างใหญ่ และมันอยู่สูงพื้นดินไม่เกิน 45 ม.

3.3 คำแนะนำ ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำชนิด A หรือ B ถ้าไม่เพียงพอหรือต้องการการเตือนล่วงหน้าเป็นพิเศษ ควรใช้ไฟที่มีความเข้มปานกลางหรือความเข้มสูงแทน

3.4 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำชนิด C (ไฟกระพริบ 60-90 ครั้ง/นาที สีเหลือง / น้ำเงิน 40-400 แรงเทียน) จะต้องติดตั้งบนยานยนต์หรือวัตถุที่เคลื่อนที่อื่น ๆ ยกเว้น เครื่องบิน

3.5 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางชนิดความเข้มต่ำชนิด D (ไฟกระพริบ 60-90 ครั้ง/นาที สีเหลือง 200-400 แรงเทียน ) จะต้องติดตั้งบนรถนำขบวน (Follow me)

3.6 คำแนะนำ ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำชนิด B (ไฟนิ่งสีแดง ความเข้ม ไม่ต่ำกว่า 32 แรงเทียน) ควรจะใช้ตามลำพังหรือใช้คู่กับชนิด B ความเข้มปานกลาง ในกรณีตามข้อ 6.

3.7 ควรจะใช้ในที่ซึ่งวัตถุซึ่งมีขนาดกว้าง หรือมีความสูงจากพื้นดินเกินกว่า 45 ม. ไฟเข้มปานกลางชนิด A (ไฟกระพริบสีขาว 20-60 ครั้ง/นาที ความเข้ม 20,000 แรงเทียน ) และ C (ไฟนิ่งสีแดง ความเข้ม 2000 แรงเทียน ) ควรใช้ชนิดเดียวลำพัง ถ้าเป็นชนิด B ควรใช้ลำพังหรือแบบผสมกับไฟเข้มปานกลางชนิด B ข้อสังเกต กลุ่มต้นไม้หรืออาคารให้ถือว่าเป็นวัตถุขนาดกว้าง

3.8 คำแนะนำ ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด A (ไฟกระพริบ 40-60 ครั้ง/นาที สีขาว ความเข้ม 200,000 แรงเทียนขึ้นไป) ควรจะใช้เพื่อแสดงวัตถุที่สูงจากพื้นเกิน 150 ม. และการศึกษาทางการบินชี้ว่าจำเป็นต้องติดตั้งเพื่อเตือนวัตถุในตอนกลางวัน

3.9 คำแนะนำ ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด B (ไฟกระพริบ 40-60 ครั้ง/นาที สีขาว ความเข้ม 100,000 แสงเทียน)ควรจะใช้เพื่อแสดงเสาไฟที่ติดตั้งสายไฟหรือเคเบิล เมื่อ a) การศึกษาทางการบินชี้ว่า มีความจำเป็นต้องติดตั้งเพื่อให้รู้ว่ามีสายไฟหรือเคเบิลพาด80ผ่าน b) ถ้าไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์เครื่องหมายบนสายไฟหรือเคเบิลนั้น

3.10 คำแนะนำ (ภายใต้วัตถุประสงค์ขององค์กรผู้มีอำนาจ) การใช้ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด A หรือ B หรือไฟความเข้มปานกลางชนิด A ในเวลากลางคืน อาจทำให้นักบินตาพร่ามัวได้ ถ้าอยู่ในบริเวณสนามบิน (รัศมีโดยรอบ 10 กม.) หรือ เป็นภัยต่อสิ่งแวดล้อม ควรจะใช้ไฟแสดงสิ่งกีดขวางระบบคู่ ระบบนี้ประกอบด้วย ไฟความเข้มสูงชนิด A หรือ B หรือไฟความเข้มปานกลางชนิด A ตามความเหมาะสมในตอนกลางวันหรือตลอดพลบค่ำ ส่วนในตอนกลางคืนใช้ไฟความเข้มปานกลางชนิด B หรือ C ตำแหน่งของไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ข้อสังเกต คำแนะนำที่เกี่ยวกับการติดตั้งรวมกันของไฟความเข้มปานกลางกับความเข้มต่ำ และ/หรือไฟความเข้มสูงให้ดูจากภาคผนวก 6

3.11 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางทุกความเข้มแสง จะต้องติดตั้งไกลกับส่วนบนสุดของวัตถุเท่าที่จะทำได้ ไฟที่อยู่บนสุดจะต้องจัดให้จุดหรือขอบของวัตถุคำแนะนำสูงสุดเมื่อเทียบกับสิ่งแวดล้อม

3.12 คำแนะนำ ในกรณีของปล่องควันไฟหรือโครงสร้างที่คล้ายปล่องควันไฟ ไฟแสดงสิ่งกีดขวางที่อยู่บนสุดควรจะอยู่ต่ำกว่าปลายบนสุดเพื่อป้องกันการทำให้สกปรกโดยควันไฟ (ดูรูป 2.2 และ 2.3)

3.13 ในกรณีหอหรือเสาหรือโครงสร้างสายอากาศที่ถูกติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงในตอนกลางวันที่มีส่วนประกอบเช่น แท่ง หรือสายอากาศสูงกว่า 12 เมตร ที่ซึ่งไม่สามารถที่จะติดตั้งไฟความเข้มสูงบนส่วนยอดได้ กรณีนี้ให้ติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางในจุดสูงสุดเท่าที่จะทำได้ และถ้าปฏิบัติได้ควรติดไฟแสดงสิ่งแสดงกีดขวางความเข้มปานกลางชนิด A บนส่วนยอด

3.14 ในกรณีของวัตถุที่มีขนาดกว้าง หรือกลุ่มของวัตถุที่อยู่ใกล้กัน จะต้องติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางบนจุดหรือขอบที่สูงที่สุด และถ้ามีจุดที่สูงเท่ากันหลายจุดให้ติดตั้งที่ขอบที่อยู่ใกล้บริเวณร่อนลงของเครื่องบิน ถ้าไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำจะต้องใช้ระยะช่องไฟระหว่างโคมกว้างไม่เกิน 45 ม. ถ้าไฟความเข้มปานกลางจะต้องใช้ระยะช่องไฟระหว่างโคมกว้างไม่เกิน 900 ม.

3.15 คำแนะนำ ถ้าเขตจำกัดความสูงเป็นแบบลาดเอียง และจุดของวัตถุที่อยู่สูงเกินเขตจำกัดความสูงแต่ไม่ใช่จุดสูงสุดของวัตถุ ควรจะติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางบนจุดสูงสุดของวัตถุด้วย

3.16 วัตถุที่ติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มปานกลางชนิด A และความสูงของวัตถุเกินกว่า 105 ม. เหนือพื้นดินหรือเหนืออาคารโดยรอบ (ในกรณีที่วัตถุนั้นล้อมรอบโดยอาคาร) จะต้องติดตั้งไฟเพิ่มที่จุดระหว่างกลางจากยอดถึงพื้นหรือถึงยอดตึกที่ล้อมรอบและระยะห่างระหว่างช่องไฟต้องไม่เกิน 105 ม.

3.17 วัตถุที่ติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มปานกลางชนิด B และความสูงของวัตถุเกินกว่า 45 ม.เหนือพื้นดินหรือเหนืออาคารโดยรอบ จะต้องติดตั้งไฟเพิ่มที่จุดระหว่างกลางจากยอดถึงพื้นหรือถึงยอดอาคารโดยรอบ และไฟที่ติดตั้งจะต้องสลับกันระหว่างไฟความเข้มต่ำชนิด B และไฟความเข้มปานกลางชนิด B และมีระยะห่างเท่า ๆ กัน และระยะห่างต้องไม่เกิน 52 ม.

3.18 วัตถุที่ติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มปานกลางชนิด C และส่วนยอดของวัตถุสูงเกิน 45 ม.เหนือพื้นดินหรือเหนืออาคารที่อยู่รอบ จะต้องติดตั้งไฟเพิ่มระหว่างกลาง และระยะห่างจะต้องเท่ากันระหว่างยอดและพื้นหรือยอดอาคารโดยรอบ และระยะห่างต้องไม่เกิน 52 ม. หมายเหตุ จำนวนโคมไฟที่ติดตั้งรอบอาคารหรือปล่องไฟ ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอาคารหรือปล่องไฟ ตาม Aerodrome Design Manual path 4 ข้อ 14.6.9 ดังนี้ เส้นผ่าศูนย์กลาง จำนวนดวงโคม 6 เมตร หรือน้อยกว่า 3 6 เมตร-30 เมตร 4 30 เมตร- 60 เมตร 6 มากกว่า 60 เมตร 8

3.19 สถานที่ติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด A จะต้องรักษาระยะห่างเท่ากันไม่เกิน 105 ม. ระหว่างพื้นและยอดตามที่กำหนดข้อ 6.3.11 ยกเว้นที่ ๆ วัตถุล้อมรอบโดยอาคาร ระดับของยอดอาคารที่ล้อมรอบถือเป็นระดับพื้น เมื่อต้องการหาจำนวนของไฟที่ติดตั้ง

3.20 สถานที่ติดตั้งไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด B จะต้องติดตั้งเป็น 3 ระดับ ดังนี้ - ที่ยอดบนสุดของเสาที่แขวนสายไฟ - ที่จุดยอดต่ำสุดของสายไฟหรือเคเบิล - ที่จุดกึ่งกลางระหว่าง 2 ระดับ ดังกล่าว ข้อสังเกต ในบางกรณี อาจต้องการติดตั้งไฟห่างจากเสาไฟ

3.21 คำแนะนำ การตั้งมุมของแสงของไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด A และ B ควรจะทำตามตาราง 2.1

3.22 จำนวนและการจัดการของไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูง กลาง หรือ ต่ำ ที่แต่ละระดับ จะต้องติดตั้งโดยรอบวัตถุนั้น เพื่อให้มองเห็นได้ทุกมุมตามแนวระดับ เมื่อแสงไฟถูกบดบังในทิศทางใดก็ตาม โดยส่วนของวัตถุเองหรือวัตถุใกล้เคียง จะต้องติดตั้งไฟเพิ่มเติมที่วัตถุที่บดบังนั้น เพื่อให้มองเห็นได้รอบตัวตามคำจำกัดความ ถ้าแสงที่ถูกบดบังนั้นไม่ทำให้วัตถุมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ก็อาจยกเว้นได้ ตารางที่ 6-2

3.23 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำ ติดตั้งบนวัตถุที่อยู่กับที่ชนิด A และ B จะต้องเป็นไฟสีแดง

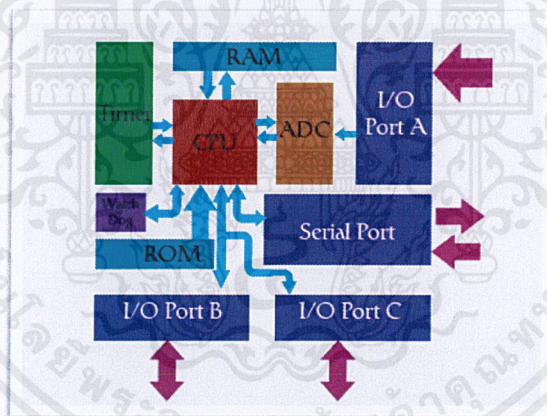
3.24 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำชนิด A และ B จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในตารางที่ 2.1

- 3.25 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำชนิด C ติดตั้งบนยานพาหนะใช้ในกรณีฉุกเฉินหรือรักษาความปลอดภัยจะต้องเป็นไฟกระพริบสีน้ำเงินและสำหรับยานพาหนะอื่น ๆ จะต้องติดตั้งไฟกระพริบสีเหลือง
- 3.26 ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มต่ำ ชนิด D ติดตั้งบนรถนำขบวน (Follow me) จะต้องติดตั้งไฟกระพริบสีเหลือง
- 3.27 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำ ชนิด C และ D จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในตาราง 2.1
- 3.28 ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มต่ำ ที่ติดตั้งอยู่บนวัตถุที่เคลื่อนที่น้อย เช่น สะพานเทียบเครื่องบิน จะต้องติดตั้งไฟแบบไม่กระพริบสีแดง ความเข้มของแสงจะต้องเพียงพอที่จะทำให้เกิดความชัดเจนเมื่อเทียบกับแสงในบริเวณโดยรอบ ข้อสังเกต ให้อ่านใน Annex 2 สำหรับแสงที่เกิดจากเครื่องบิน
- 3.29 ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง ความเข้มต่ำ ที่ติดตั้งอยู่บนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้จำกัด จะต้องมีความเข้มอย่างน้อยเทียบเท่ากับไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มต่ำชนิด A ในตารางที่ 6-3 คุณสมบัติของไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มปานกลาง
- 3.30 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มปานกลาง ชนิด A จะต้องเป็นไฟกระพริบสีขาว ชนิด B จะต้องเป็นไฟกระพริบสีแดง และชนิด C จะต้องเป็นไฟไม่กระพริบสีแดง
- 3.31 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มปานกลาง ชนิด A, B และ C จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในตาราง 2.1
- 3.32 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มปานกลาง ชนิด A และ B ที่ติดตั้งบนวัตถุ จะต้องกระพริบอย่างคงที่และต่อเนื่อง คุณสมบัติของไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูง
- 3.33 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด A และ B จะต้องเป็นไฟกระพริบสีขาว
- 3.34 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูงชนิด A และ B จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในตารางที่ 2.1
- 3.35 ไฟแสดงสิ่งกีดขวางความเข้มสูง ชนิด A ที่ติดตั้งบนวัตถุจะต้องกระพริบคงที่และต่อเนื่อง
- 3.36 คำแนะนำ ไฟแสดงสิ่งกีดขวาง B แสดงถึงมีเสาพาดสายไฟฟ้าหรือเคเบิล จะต้องกระพริบต่อเนื่องกัน คือ เริ่มด้วยไฟระดับกลาง ตามด้วยไฟระดับบนสุด ตามด้วยไฟระดับต่ำติดหลังสุด ระยะเวลาการกระพริบควรจะเป็นไปตามอัตราดังนี้ ช่วงของการกระพริบ อัตราส่วนของรอบระยะเวลา ไฟระดับกลางและไฟระดับบน 1/13 ไฟระดับบนและไฟระดับต่ำ 2/13 ไฟระดับต่ำและไฟระดับกลาง 10/13

## 2.3 ส่วนประกอบชุดวงจรควบคุม

### 2.3.1 อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ: Microcontroller มักย่อว่า  $\mu\text{C}$ , uC หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ถ้าแปลความหมายแบบตรง ตัวก็คือ ระบบคอนโทรลขนาดเล็ก เรียกอีกอย่าง หนึ่งคือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงานต่างๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขา Input / Output เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายทั้งทางด้าน Digital และ Analog ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ, ระบบบัตรคิว, ระบบตอกบัตรพนักงาน และอื่นๆ ยิ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบ Network ของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้อีกด้วย ดังนั้นการสั่งงานจึงไม่ใช่แค่หน้าแผงวงจร แต่อาจจะเป็นการสั่งงานอยู่คนละซีกโลกผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็ได้<sup>[2]</sup>



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

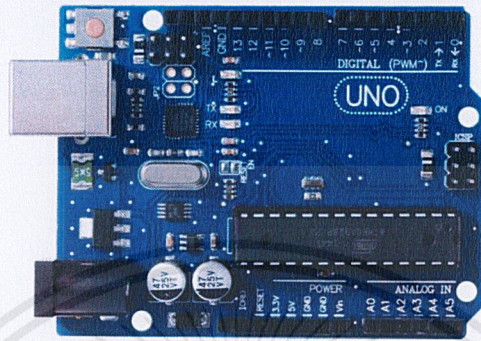
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ ที่ได้รับความนิยมและมีพัฒนาการมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งในรายงานนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์คือ Arduino Uno R3

#### 2.3.1.1 Arduino Uno R3

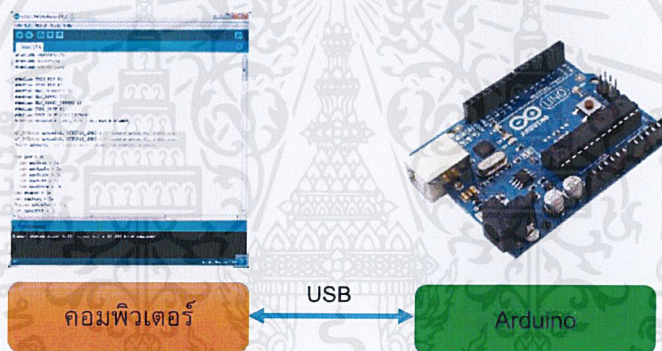
เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย<sup>[3]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



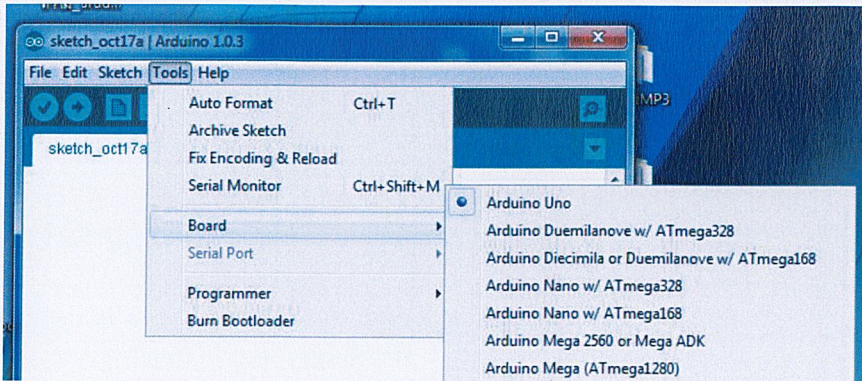
รูปที่ 2.6 Arduino Uno R3



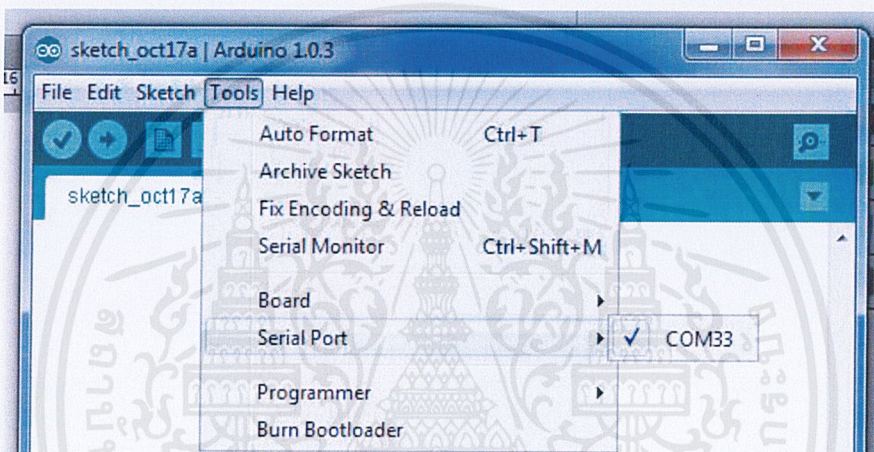
รูปที่ 2.7 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

### 2.3.1.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก [Arduino.cc/en/main/software](http://Arduino.cc/en/main/software)
2. หลังจากเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port<sup>[4]</sup>

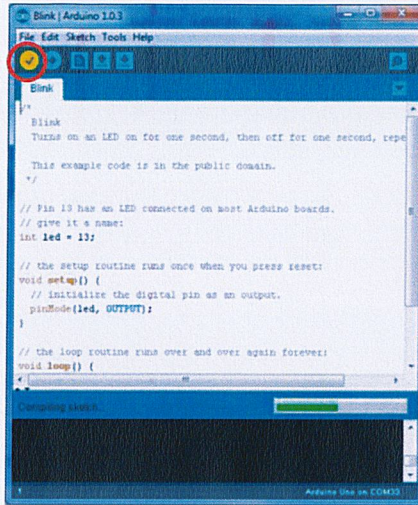


รูปที่ 2.8 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload

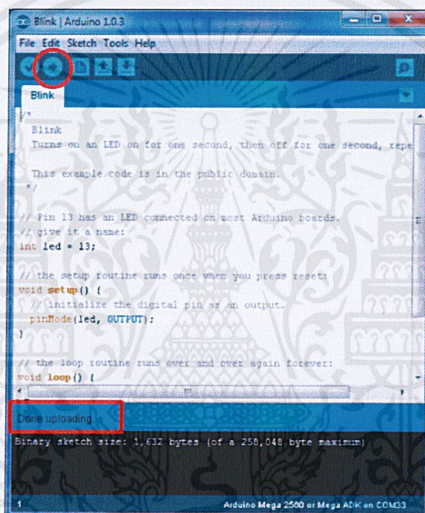


รูปที่ 2.9 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด

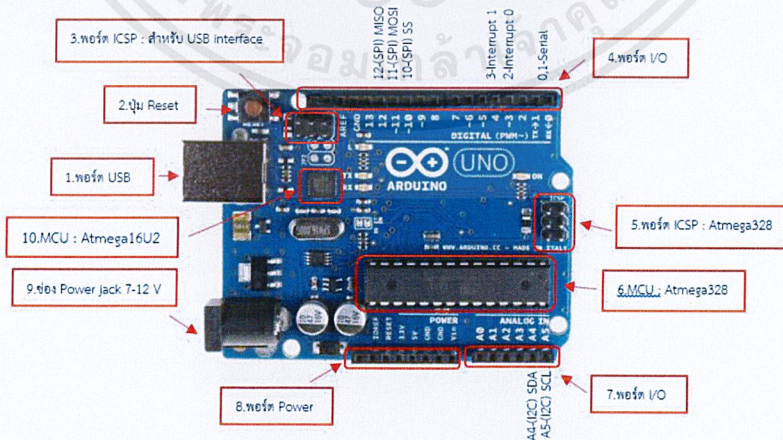
3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความ แถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ทันที



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมด้วยการกด Compile



รูปที่ 2.11 การ Upload โปรแกรมให้กับ Arduino



รูปที่ 2.12 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.3 ส่วนประกอบภายใน Arduino Uno R3

1. USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปเดตโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

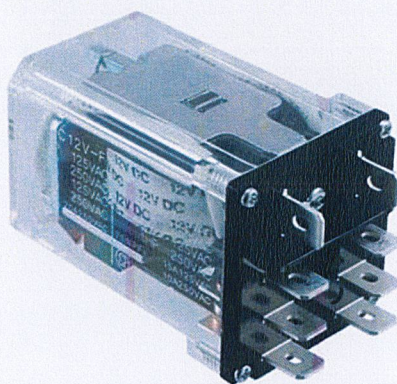
บอร์ด Arduino Nano ออกแบบมาให้มีขนาดเล็ก และใช้กับงานทั่วไป ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega168 หรือเบอร์ ATmega328 (มีรุ่น 2.3 กับ 3 ตอนซึ่งต้องเช็คดีๆก่อน) โปรแกรมผ่านโปรโตคอล UART มีชิป USB to UART มาให้ ใช้ Mini USB เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีพอร์ตดิจิตอลอินพุตเอาต์พุต 14 พอร์ต มีพอร์ตอนาล็อกอินพุต 8 พอร์ต บนบอร์ดยังมีเรกูเลเตอร์ สามารถจ่ายไฟได้ตั้งแต่ 7 – 12V เพื่อให้บอร์ดทำงานได้ (จ่ายไฟที่ขา VIN) กรณีมีแหล่งจ่ายไฟ 5V อยู่แล้วก็จ่ายเข้าได้เลยที่ขา 5V

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega168 หรือ ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	16KB หรือ 32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	1 หรือ 2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	512B หรือ 1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	45x18 mm
น้ำหนัก	5 กรัม

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจำเพาะ Arduino Uno R3

### 2.3.2 Relay

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทกให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานช่างอิเล็กทรอนิกส์มากมาย



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างอุปกรณ์รีเลย์

### 2.3.2.1 รีเลย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลักก็คือ

1. ส่วนของขดลวด (coil) เหนียวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไป กระชกให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนียวนำนี้ เมื่อขดลวด ได้รับแรงดัน(ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่คุณผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ แกนโลหะด้านในไปกระชกให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน

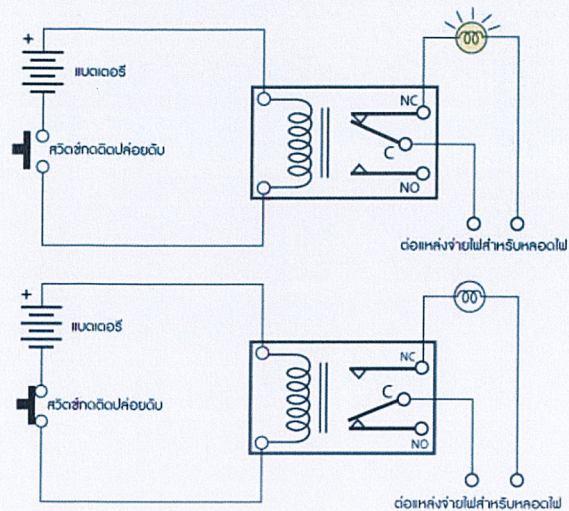
2. ส่วนของหน้าสัมผัส (contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการ<sup>[5]</sup>

### 2.3.2.2 จุดต่อใช้งานมาตรฐาน

จุดต่อ NC ย่อมาจาก normal close หมายความว่าปกติปิด หรือ หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวด เหนียวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงาน ตลอดเวลาเช่น

จุดต่อ NO ย่อมาจาก normal open หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวด เหนียวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุม การเปิดปิดเช่น โคมไฟสนามหน้าบ้าน

จุดต่อ C ย่อมาจาก common คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ<sup>[6]</sup>



รูปที่ 2.14 วงจรภายในอุปกรณ์รีเลย์

### 2.3.2.3 ข้อจำกัดในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป

1. แรงดันใช้งาน หรือแรงดันที่ทำให้รีเลย์ทำงานได้ หากเราดูที่ตัวรีเลย์จะระบุค่า แรงดันใช้งานไว้ (หากใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมากจะใช้แรงดันกระแสตรงในการใช้งาน) เช่น 12VDC คือต้องใช้แรงดันที่ 12 VDC เท่านั้นหากใช้มากกว่านี้ ขดลวดภายใน ตัวรีเลย์อาจจะขาดได้ หรือหากใช้แรงดันต่ำกว่ามาก รีเลย์จะไม่ทำงาน ส่วนในการต่อวงจรนั้นสามารถต่อขั้วใดก็ได้ครับ เพราะตัวรีเลย์ จะไม่ระบุขั้วต่อไว้ (นอกจากชนิดพิเศษ)
2. การใช้งานกระแสผ่านหน้าสัมผัส ซึ่งที่ตัวรีเลย์จะระบุไว้ เช่น 10A 220AC คือ หน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสามารถทนกระแสได้ 10 แอมแปร์ที่ 220VAC ครับ แต่การใช้ก็ควรจะใช้งานที่ระดับกระแสต่ำกว่านี้จะเป็นการดีกว่าครับ เพราะถ้ากระแสมากกว่าหน้าสัมผัส ของรีเลย์จะละลายเสียหายได้
3. จำนวนหน้าสัมผัสการใช้งาน ควรดูว่ารีเลย์นั้นมีหน้าสัมผัสให้ใช้งานกี่อัน และมีขั้วคอมมอนด้วยหรือไม่

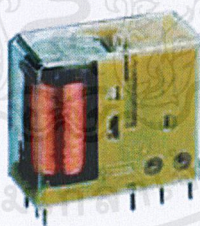
### 2.3.2.4 Solid State Relay

การใช้รีเลย์ขับโหลดปกติอาจจะมีปัญหาตามมาหลายๆ อย่าง เช่น การกระชากของไฟรุนแรงเกิดไปตอบสนองช้า สัญญาณรบกวน ขอแนะนำทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ คือ Solid State Relay (โซลิต สเตท รีเลย์) แนวคิดสำคัญ คือ ใช้ไทรแอก BTA41600 แทนรีเลย์ ย่อมนุ่มนวลกว่า ทำงานในความเร็วสูงๆ ได้ดี และทนกระแสเช่นเดียวกับรีเลย์ทั่วไป ส่วนไอซี MOC3041 เป็นไอซีควบคุมการทำงานของไทรแอกอีกทีหนึ่ง รับไฟต่ำๆ ก็ควบคุมไฟสูง (ไฟบ้าน) ให้ทำงานได้แล้ว<sup>[7]</sup>



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างอุปกรณ์ Solid State Relay

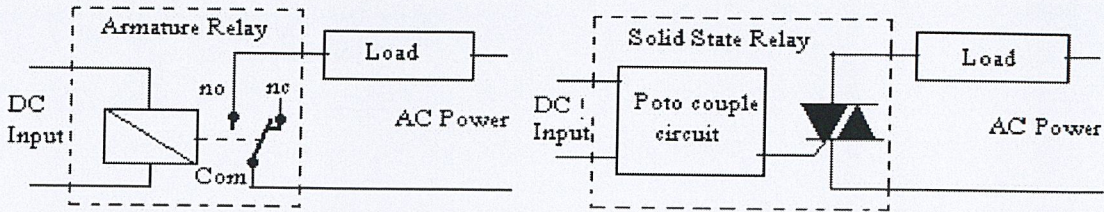
Solid State Relay หรือเรียกกันอย่างย่อๆว่า SSR นั้นก็คือ สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง แต่แตกต่างจาก Relay ทั่วไปที่เป็นแบบ electromechanical



รูปที่ 2.16 Relay แบบ Electromechanical

SSR คือรีเลย์ที่ไม่ใช้หน้าสัมผัสที่ ซึ่งใช้เทคโนโลยีของ Semiconductor ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากรีเลย์แบบหน้าสัมผัส และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระยะยาว โซลิตสเตทรีเลย์ (Solid state Relay) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างภาคควบคุม (Control) ซึ่งเป็นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ กับวงจรภาคไฟฟ้ากำลัง (Power) โดยที่ภาคทั้ง

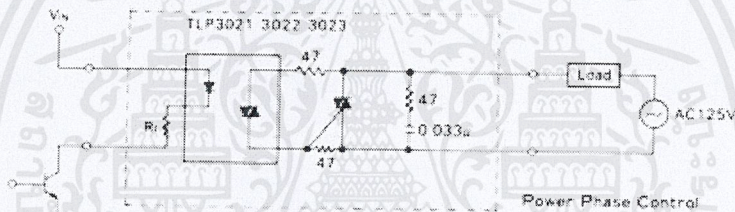
สองจะมีระบบกราวด์ (Ground) ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร (Short circuit) และการรบกวนซึ่งกันและกันได้ โวลติสเตรรีเลย์ อาจถือได้ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แทนอาร์เมเจอร์รีเลย์ (Armature Relay) แต่มีข้อดีกว่าคือ มีขนาดเล็กกว่า มีความไวในการทำงานที่สูงกว่า มีอายุการทำงานนานกว่า เป็นต้น



รูปที่ 2.17 วงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์มาเจอร์รีเลย์ และ โวลติสเตรรีเลย์

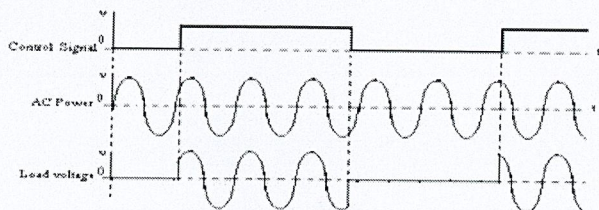
องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของโวลติสเตรรีเลย์

### 1.1 แบบ Non-Zero Crossing Type



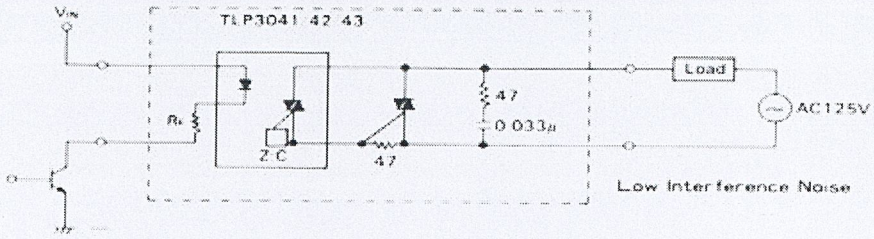
รูปที่ 2.18 องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของโวลติสเตรรีเลย์ แบบ Non Zero Crossing Type

จากรูปที่ 2.18 จะเห็นว่า โวลติสเตรรีเลย์ แบบ Non Zero Crossing Type มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ Photo Couple , Main Triac , Snuber circuit การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้จาก กราฟรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตามรูปที่ 2.19 ซึ่งกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะปรากฏทันที ที่สัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าเป็นบวก



รูปที่ 2.19 รูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าแสดงการทำงานของวงจรโวลติสเตรรีเลย์ แบบ Non Zero Crossing Type

## 1.2 แบบ Zero Crossing Type



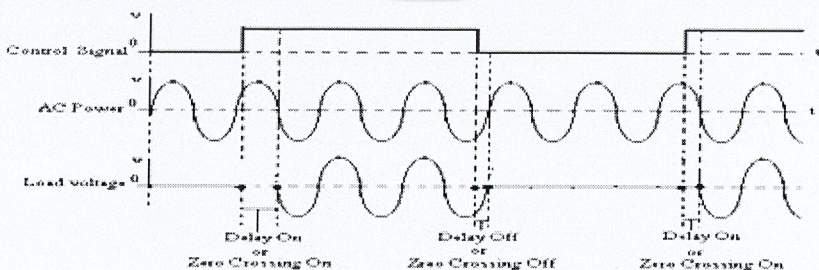
รูปที่ 2.20 องค์ประกอบและวงจรพื้นฐานของ โซลิดสเตตรีเลย์ แบบ Zero Crossing Type

Recommended R<sub>f</sub> Value

Type	Recommended R <sub>f</sub> (Power Rating(W))		
	∅ V <sub>IN</sub> = 5V	∅ V <sub>IN</sub> = 12V	∅ V <sub>IN</sub> = 32V
TLP3021 TLP3041	120Ω (1/2)	390Ω (1/2)	1.2KΩ (2)
TLP3022 TLP3042	180Ω (1/4)	560Ω (1/2)	1.8KΩ (1)
TLP3023 TLP3043	360Ω (1/8)	1.2KΩ (1/4)	3.6KΩ (1/2)

จากรูปที่ 2.20 จะเห็นว่าโซลิดสเตตรีเลย์แบบนี้ มีองค์ประกอบ ที่สำคัญคือ Photo Couple ที่เป็นแบบ Zero Crossing Circuit , Main Triac และ Snuber circuit

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้จาก กราฟรูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตามรูปที่ 2.21 ซึ่งกระแสไฟฟ้าและ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะไม่ปรากฏทันที ที่สัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าเป็นบวกแต่จะหน่วงไปจนถึงจุดที่แรงดัน AC power เป็นศูนย์จึงจะให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรโหลด (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Zero Crossing On ) และเมื่อสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าเป็นศูนย์ก็ยังไม่ตัดกระแสไฟฟ้าในวงจรโหลดทันทีแต่จะหน่วงไปจนถึงจุดที่แรงดัน AC power เป็นศูนย์จึงจะตัดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรโหลด(ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Zero Crossing Off )



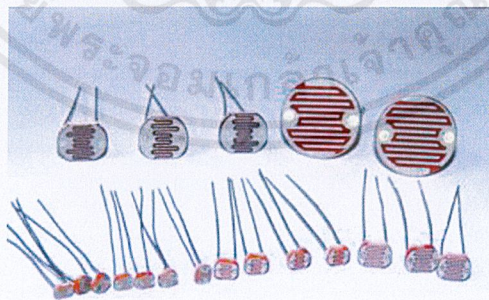
รูปที่ 2.21 รูปคลื่นสัญญาณและแรงดันไฟฟ้าแสดงการทำงานของวงจร Solid State Relay แบบ Zero Crossing Type

## หมายเหตุ ข้อเสนอแนะการใช้งาน

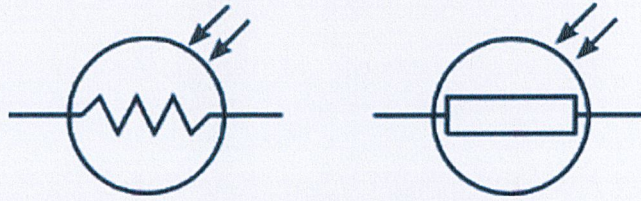
- (1) ควรใช้ Heat sink ระบายความร้อนติดตั้งกับ SSR ด้วยทุกครั้งและไม่ควรใช้เกิน 40 % เช่น ถ้าระบุไว้ 40 A. ไม่ควรใช้เกิน 16 A.(40%)
- (2) ควรใช้ซิลิโคนเหลวทาระหว่าง Heat Sink และตัว SSR เพื่อระบายความร้อนก่อนยึด SSR กับ Heat Sink
- (3) ควรติดตั้งในที่ ๆ มีอากาศถ่ายเทความร้อนได้ดี หรือใช้พัดลมช่วยระบายความร้อน
- (4) ถ้าไม่มี Heat Sink ไม่ควรใช้เกิน 10 % ของค่ากระแสสูงสุด
- (5) ควรใช้ฟิวส์ที่ทนกระแสได้ไม่เกิน 50 % ของค่าสูงสุด ต่ออนุกรมไว้กับ SSR เช่นถ้า SSR 40 A. ควรใช้ฟิวส์ 20 A. ชนิด FAST BLOW FUSES (ฟิวส์หลอมละลายเร็ว)

### 2.3.3 การทำงานเซนเซอร์รับแสง

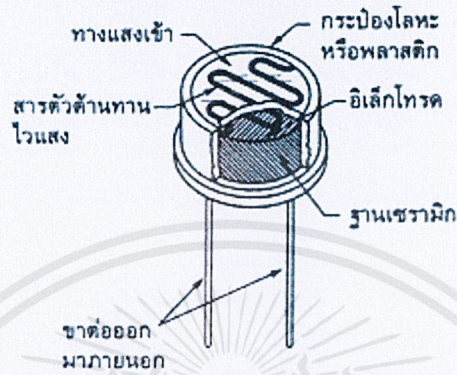
แอลดีอาร์(LDR) หรือชื่อเต็มๆคือ Light Dependent Resistor โดยแปลความหมายตรงตัวคือ "ต้านทาน ขึ้นอยู่กับ แสง" LDR คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้า ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์ ( Photo Resistor) หรือ โฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ ( Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ ( CdSe : Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบ ไข่ออกมา [8]



รูปที่ 2.22 LDR



รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ LDR



รูปที่ 2.24 โครงสร้างภายในของ LDR

### 2.3.3.1 คุณสมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR เพราะว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาเมื่อแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงาน ให้กับสาร ที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน. การที่มีโฮล กับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่ง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสง ประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ด้วย หรือ ถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่นที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลาย ความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม. ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียว ไปจนถึงสีเหลือง สำหรับ บางตัวแล้ว ความ ยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก ( ตาคนไวต่อความยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม ) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสง ในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ก็จะไวต่อ ความ ยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ใน ช่วงอินฟราเรดแล้ว

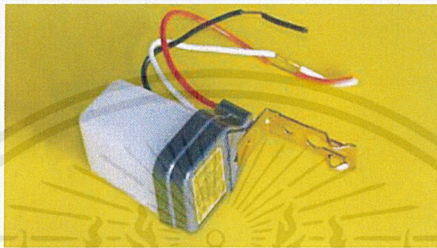
### 2.3.3.2 หลักการทำงานของ Photo switch

Photo Switch คือสวิตซ์ที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยแสงแดดให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานก็ต่อเมื่ออยู่ในที่มีมืดหรือแสงสลัวเท่านั้น ตัวอย่างการใช้งานเช่น ไฟถนน หรือ ไฟรั้วที่ต้องการให้ไฟติดในเวลา

กลางคืนและไฟดับในเวลากลางวัน การทำงานอย่างอัตโนมัตินี้เพิ่มความสะดวกสบายและประหยัดพลังงานให้กับผู้ใช้งานเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไป Photo Switch มีสองประเภท คือ<sup>[9]</sup>

### 2.3.3.2.1 สวิตช์แสงแบบ mechanic

มีหลักการทำงานคือ ใช้ค่าความเข้มของแสงแดดในการเปลี่ยนความต้านทานของ LDR ซึ่งต่ออยู่กับ Bimetal โดยความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้กระแสไหลผ่านผ่าน LDR มากขึ้นหรือน้อยลง กระแสเหล่านี้จะทำให้ค่าความร้อนของ Bimetal เปลี่ยนแปลงทำให้แผ่นโลหะงอแล้วมาสัมผัสกัน ซึ่งไปควบคุมการทำงานของหน้า contact ที่เอาไปต่อวงจรโหลดอีกที



รูปที่ 2.25 สวิตช์แสงแบบ mechanic

### 2.3.3.2.2 สวิตช์แสงแบบ electronic

ใช้ LDR ในการตรวจจกระดับความเข้มของแสงเช่นเดียวกัน แต่ขนาดจะเล็กกว่า และความต้านทานที่เปลี่ยนไปนี้จะเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่ปรับตั้งมาแล้วจากโรงงาน ซึ่งจะนำไปควบคุม Relay แล้วนำไปควบคุมการทำงานของโหลดต่อไป ซึ่งสวิตช์แสงประเภทนี้เป็นประเภทเดียวกับสวิตช์แสงของ Step



รูปที่ 2.26 สวิตช์แสงแบบ electronics

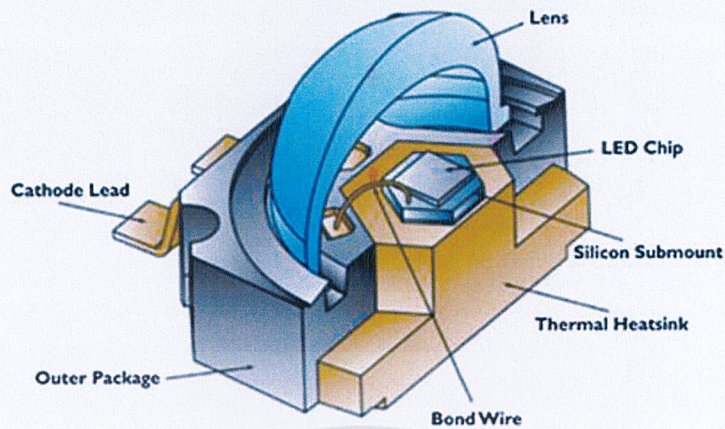
## 2.4 หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode , LED)

หลอด LED (Light Emitting Diode) หรือไดโอดเปล่งแสง จุดกำเนิดคือ ไดโอด ไดโอดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดสองขั้วที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้าโดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวและกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อกล่าวถึงไดโอด มักจะหมายถึงไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (semiconductor diode) ซึ่งก็คือผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ทางขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว<sup>[10]</sup>

ส่วนหลอด LED หรืออาจเรียกว่า solid-state lighting (SSL) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอดที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบในรูปของอิเล็กทรอนิกส์ (electroluminescence) สีของแสงที่ เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้และเปล่งแสงได้ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ช่วงแสงที่มองเห็น (visible light) และช่วงอินฟราเรด (infrared) ผู้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงขึ้นเป็นคนแรก คือ Nick Holonyak Jr. แห่งบริษัทเจเนรัลอิเล็กทริก (General Electric Company) โดยได้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงแสงสีแดงที่มองเห็นและสามารถใช้งานได้ ในเชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรก เมื่อ ค.ศ. 1962 จนกระทั่งช่วงทศวรรษที่ 1970 George Craford จึงได้คิดค้น LED สีเหลือง (amber) ขึ้นเป็นครั้งแรกและได้พัฒนาความสว่างของ LED สีแดงและสีแดงอมส้มด้วย

ในช่วงแรกๆ นั้นหลอด LED ใช้เป็นตัวบ่งบอกสัญญาณ (indicator light) ในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข รีโมทคอนโทรล และกระดิกน้ำร้อน เป็นต้น เพราะตัวหลอด LED มีขนาดเล็กจิ๋ว และใช้กระแสไฟฟ้า น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแสงที่ออกมา ทำให้ในเวลาต่อมา มีผู้พัฒนาหลอด LED อย่างต่อเนื่อง จากแรกเริ่มที่ให้สีโทนร้อน คือ สีแดง ส้มเหลือง ต่อมาได้มีการคิดค้นวิธี การสร้างหลอดที่ให้ สีโทน เย็น คือ สีเขียวและน้ำเงินและได้แสงขาวโทนเย็นขึ้น จึงมีการนำมาใช้งานทดแทนหลอดไฟฟ้านิดอื่นอย่างจริงจังทั้งที่ ใช้เป็นแสงขาวโทนสีต่างๆ รวมทั้งใช้ เป็นไฟเปลี่ยนสีจากการผสมสี RGB

## 2.4.1 โครงสร้างหลอดไดโอดเปล่งแสง



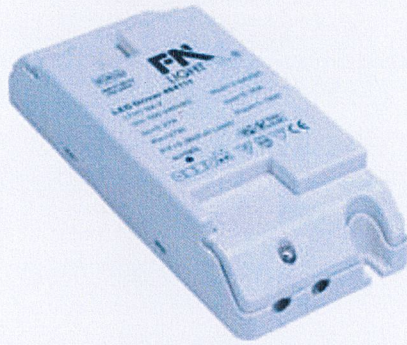
รูปที่ 2.27 โครงสร้างหลอดไดโอดเปล่งแสง

1. LED module อาจประกอบด้วย LED เม็ดเดียว หรือหลายเม็ดรวมกันในแผงเดียวกัน โดย LED แต่ละเม็ดประกอบด้วยชิป (chip) ของสารกึ่งตัวนำ ตัวฐาน และขาสำหรับใช้ต่อกับวงจรทั้งหมด หุ้มเคลือบด้วยวัสดุอีพ็อกซีเรซิน (epoxy resin) ที่มีลักษณะโปร่งใสเหมือนเลนส์ เพื่อป้องกันชิ้นส่วนภายในตัว LED และกำหนดทิศทางการกระจายแสง



รูปที่ 2.28 LED module

2. Driver เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ เปลี่ยนระดับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า จากปริมาณสูงให้น้อยลงก่อนจ่ายเข้าสู่ตัวหลอด นอกจากนี้ยังควบคุมความเข้มแสง โดยการเปลี่ยนความถี่ และจังหวะความสว่างของเม็ด LED



รูปที่ 2.29 LED Driver

3. Heat sink เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนจากหลอด LED ซึ่งคุณภาพการระบายความร้อนขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เช่นทองแดง



รูปที่ 2.30 Heat sink

#### 2.4.2 หลักการทำงานของหลอด LED

เมื่อเปิดสวิตช์ไฟ กระแสไฟฟ้าจะผ่าน driver เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และเปลี่ยนจากความต่างศักย์ไฟฟ้าส่งไปสู่ ความต่างศักย์ ไฟฟ้า ที่ค่อนข้างต่ำ ประมาณ 2.5-3 โวลต์แล้วจึงจ่ายเข้าตัวชิปของหลอด LED ซึ่งมีเพียงตัวนำแคโทดและแอนโนดเท่านั้น โดยหลอด LED จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยมาก ประมาณ 20 มิลลิแอมป์

ในตัวชิปของ LED ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชั้นประจุบวกชนิด P (Positively charged material) ที่อยู่ห่างจากสารกึ่งตัวนำชั้นประจุลบชนิด N (Negatively charged material) เล็กน้อย จุดนี้เรียกว่ารอยต่อ (junction) เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านหลอด LED ตัวนำแอนโนดจะไปดันชั้นประจุบวกและตัวนำแคโทดไปดันชั้นประจุลบให้มาชนกันเมื่อประจุบวกและประจุลบมาชนกันที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดก็จะจับตัวกันและคายพลังงานออกมาในรูปของแสงสว่างซึ่งเรียกว่า “อเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์” ทำให้เกิดแสงสว่างที่บริเวณด้านหน้าตัวหลอด ซึ่งมีอุณหภูมิในการทำงานที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป แสงสว่างที่

ออกมาจะลดลงแสงจากหลอด LED มีลักษณะพุ่งออกในทิศทางเดียว แต่ในกรณีที่ต้องการให้แสงกระจายออกในมุมแคบหรือกว้างเพิ่มขึ้นก็จะใช้อุปกรณ์ครอบหลอด LED ในลักษณะของเลนส์(package) ไว้เพื่อบังคับทิศทางของการกระจายแสง

หลอด LED สามารถเปิดปิดได้ทันทีไม่ต้องใช้ระยะเวลาในการจุดติดเหมือนหลอดไส้ที่ต้องเผาไส้หลอด หรือหลอดดิสชาร์จที่ต้องปรับแรงดันก๊าซภายใน หลอด LED สามารถปรับความเข้ม ของแสงได้ด้วย อุปกรณ์หรี่ไฟ (dimmer) โดยขึ้นอยู่กับรุ่นและอุปกรณ์ควบคุมซึ่งจะต้องตรวจสอบ ให้แน่ใจก่อนเลือกใช้

ปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ได้ถูกพิสูจน์ว่าเหนือกว่าทางด้านประสิทธิภาพการให้พลังงาน ประสิทธิภาพด้านมูลค่า และประหยัดกว่าหลอดไฟแบบดั้งเดิม ทำให้หลอด LED เป็นตัวเลือกต้นๆ ในการประหยัดพลังงานด้านแสงสว่าง หลอด LED ที่ใช้ในการให้ แสงสว่างบนท้องถนนมีอายุการใช้งานมากกว่า 50000 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งมากกว่าอายุการใช้งานของ หลอดโซเดียมความดันไอสูง ถึงสี่เท่า และหลอด LED ยังมีค่าซ่อมบำรุงและค่าเปลี่ยนหลอดที่ต่ำกว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูง

#### 2.4.3 คุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสง

- 1.) อายุการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีอายุการใช้งานมากกว่าหลอดชนิดอื่นๆ ที่ 50,000 – 100,000 ชั่วโมง
- 2.) ประสิทธิภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสง 70 - 150 ลูเมนต่อวัตต์
- 3.) ให้อุณหภูมิของแสง 3,200K - 6,400K และให้ค่าความถูกต้องของสีสูงที่สุดที่ 85 – 90
- 4.) ราคาของอุปกรณ์ค่อนข้างสูง

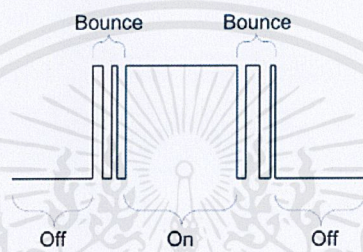
Light Technology	Incandescent Light	Low Pressure Sodium	High Pressure Sodium	Mercury Vapor Light	LED Light
Life Time(hrs)	1,000 - 5,000	10,000 - 18,000	12,000 - 24,000	12,000 - 24,000	50,000 - 100,000
Lumens per watt	11 - 15	80 - 180	45 - 130	13 - 48	70 - 150
Color Temperature	2,800K	1,800K	2,000K	4,000K	3,200K - 6,400K
CRI (color rendering index)	40	0	25	15 - 55	85 - 90
Ignition time	Instant	Up to 15 min	Up to 15 min	Up to 15 min	instant
Consideration	Very inefficient , short life time	low CRI with yellow light , Contain mercury and lead	low CRI with yellow light , Contain mercury and lead	Very inefficient , Generate ultraviolet radiation , contains mercury	relative higher initial cost

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีการให้แสงสว่าง

จากข้อมูลของหลอดแต่ละชนิดดังตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า ในยุคที่หลอด LED ยังไม่เป็นที่นิยม หลอดชนิดโซเดียมความดันไอสูงจะถูกใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับหลอดชนิดอื่นๆ เนื่องจากหลอดให้ค่าประสิทธิภาพลูเมนต่อวัตต์ที่สูงเมื่อเทียบกับหลอดไส้ และหลอดความดันไอปรอท ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ แต่หลอดโซเดียมความดันไอสูงก็ให้ค่าความถูกต้องของสีมากกว่าหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ และอายุการใช้งานยังสูงอีกด้วย ดังนั้นหลอดชนิดนี้จึงเป็นที่นิยมใช้มาก ต่อมาเมื่อหลอด LED ได้เข้ามามีบทบาท เนื่องจากประสิทธิภาพที่สูงกว่า ทั้งทางด้าน การให้แสงสว่าง ความถูกต้องของสีและอายุการใช้งานทำให้เริ่มมีการนำหลอด LED มาใช้เพื่อให้ความสว่างแทนการใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงมากขึ้น

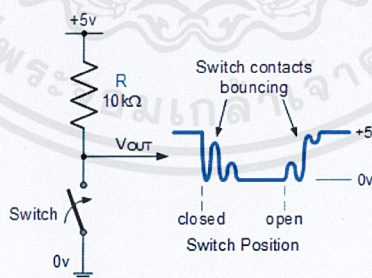
## 2.5 Debounce

สวิตช์นั้นมียู้อยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ แต่ถ้าหากเราจะจำแนกตามลักษณะการกดจะสามารถจำแนกได้เป็นสวิตช์กดปล่อย (Push button) และ สวิตช์เปิดปิดทั่วๆ ไปแต่ถ้าหากจำแนกตามหน้าสัมผัสของสวิตช์แล้ว เราจะแบ่งสวิตช์ได้เป็น สวิตช์ 1 และ 2 หน้าสัมผัส ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นสวิตช์ในลักษณะใดก็ตามหากเป็นสวิตช์ Mechanic แล้วต่างก็จะมีปัญหาการ Bounce ของสัญญาณทั้งสิ้น ซึ่งเมื่อมีการนำสวิตช์มาต่อเข้ากับวงจร Digital ที่ทำงานด้วยความเร็วสูงแล้ว อาจจะทำให้เกิดผิดพลาดในการประมวลผลได้ ดังนั้นเอกสารนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่ออธิบายลักษณะของสวิตช์ การ Debounce สัญญาณและการทำวงจร Edge Detection อย่างง่าย เพื่อใช้ตรวจจับขอบสัญญาณขาขึ้นและขาลง<sup>[11]</sup>



รูปที่ 2.31 การเกิด Bounce ของสัญญาณ

Bounce คือ สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการที่การกดปุ่มแต่ละครั้ง เมื่อกดปุ่มหน้าสัมผัสที่ทำการสัมผัสกันนั้นยังไม่แนบสนิท จะทำให้เกิดสัญญาณวิ่งขึ้นวิ่งลง หรือ ก็คือ สัญญาณไม่นิ่ง ซึ่งจะทำให้ค่าที่ส่งออกไปนั้นคงาคเคลื่อน จึงต้องมีการทำ Debounce ขึ้นเพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นนี้



รูปที่ 2.32 การเกิด Bounce ของสัญญาณ

จากรูปจะเห็นได้ว่าช่วง Switch Contracts จะเกิดการ Bouncing ที่วงจรเกิดการ เปิด หรือ ปิด ซึ่ง หลักการทำงานของ Debounce คือ จะทำการนับลูกคลื่นของสัญญาณนั้นไปเรื่อยๆ จนสัญญาณนั้นเกิดการนิ่งแล้วซึ่งก็คือตรงกลางของรูปตัวอย่าง เพื่อค่าที่ส่งนั้นจะเกิดความถูกต้องไม่คลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

ชุดจำลองไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (obstruction Light for HRSG Stack) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดจำลองสำหรับชุดไฟแจ้งเตือนโดยประกอบด้วยชุดวงจรควบคุมและชุดหลอดไฟชนิดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode : LED) โดยจะใช้ชุดวงจรควบคุมประกอบไปด้วย Arduino Uno R3 , Solid State Relay และ LDR Sensor โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 ศึกษาข้อมูลด้านเทคนิค

ชุดไฟแจ้งเตือนที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้าหนองแขง เป็นชุดวงจรไฟสำเร็จรูปยี่ห้อ Philips Flash Guard 3000B โดยมีพื้นที่การติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนของปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (obstruction Light for HRSG Stack) ซึ่งเกิดปัญหาคือชุดวงจรสำเร็จรูปนี้เมื่อเกิดการเสียหาย จะต้องทำการเปลี่ยนชุดวงจรควบคุมใหม่ทั้งหมด ซึ่งมีราคาสูงและต้องใช้เวลาในการสั่งซื้อที่นาน จึงได้เกิดโครงการชุดทดลองไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง เกิดขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและติดตั้งจริงในอนาคต

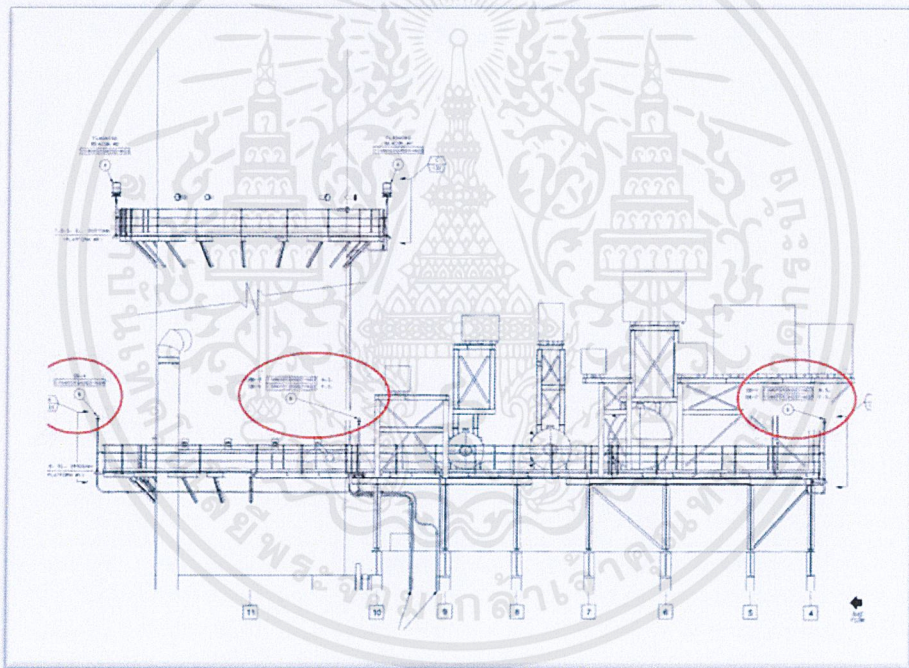
#### 3.2 วิเคราะห์สาเหตุด้านเทคนิค

ชุดไฟแจ้งเตือนที่โรงไฟฟ้าหนองแขงได้มีการติดตั้งใช้งานเป็นชุดอุปกรณ์สำเร็จรูปรุ่น Philips Flash Guard3000B โดยภายในชุดอุปกรณ์นี้ประกอบไปด้วยชุดโคมไฟ Obstruction Light และ บอร์ดวงจรควบคุม โดยปัญหาที่ไดพบเจอคือเมื่อเกิดความเสียหายของชุดบอร์ดวงจรควบคุมอันประกอบด้วยตัวเก็บประจุใหม่ , ชุดหม้อแปลงเสียหาย , ชุด IC เสียหาย หรือปัญหาอื่นๆ ซึ่งจากการได้ตรวจสอบสถานะหน้างานแล้วปัญหาเกิดจากความร้อนในขณะที่เกิดการทำงานเป็นหลัก และในการทำงานของชุดไฟแฟลช วงจรคาปาซิเตอร์และหม้อแปลงต้องทำงานอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมและความเสียหายได้

### 3.3 ศึกษารูปแบบการทำงาน

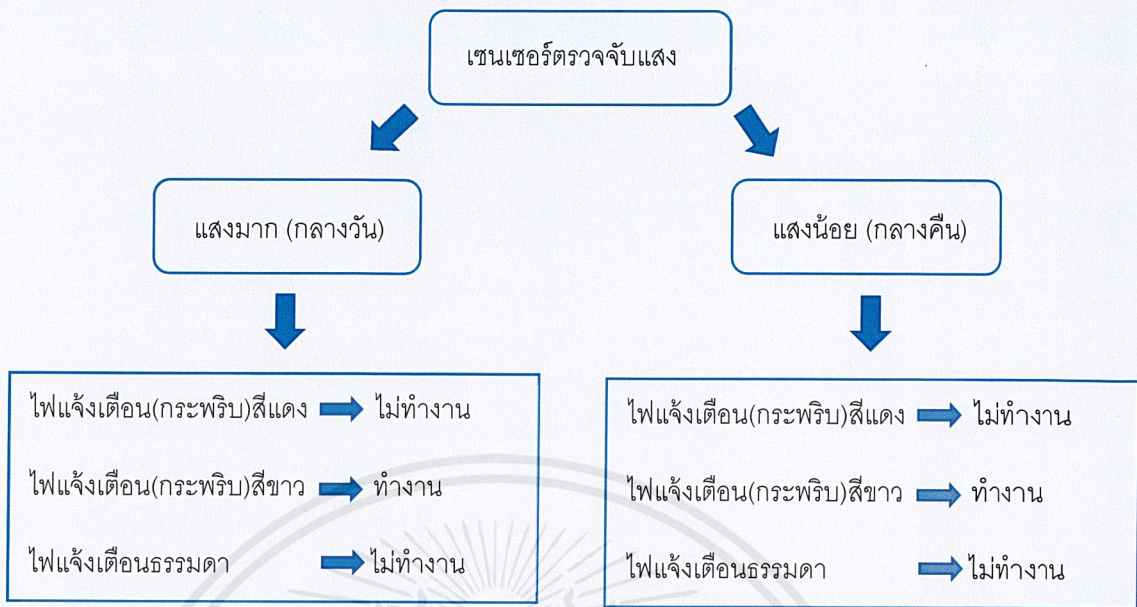
สำหรับรูปแบบการทำงานของระบบไฟแจ้งเตือนนี้มีการทำงานเป็นลำดับที่ต่อเนื่องกันตลอดเวลา โดยวงจรควบคุมไฟแจ้งเตือนนี้จะรับค่าสัญญาณมาจากเซนเซอร์ตรวจจับแสง (photocell) ที่เชื่อมต่อกับคอนแทคเตอร์ เพื่อส่งสัญญาณให้กับวงจรควบคุมว่าสถานะปัจจุบันมีแสงมากน้อยเพียงใด โดยเมื่อเซนเซอร์นี้ตรวจจับสถานะแสงเมื่อมีแสงมากหน้าสัมผัสจะไม่ทำงาน ทำให้แรงดันที่เกิดขึ้นเป็น 0 โวลต์ แต่เมื่อแสงน้อยหน้าสัมผัสนี้จะทำงานทำให้เกิดค่าแรงดันกระแสสลับ 120 โวลต์ เพื่อส่งสัญญาณไปให้ชุดวงจรควบคุม

สำหรับโคมไฟแจ้งเตือนที่ใช้ติดตั้งจริงนั้น มีไฟอยู่ 2 ชนิดคือไฟแจ้งเตือนกระพริบที่ถูกติดตั้งอยู่บนยอดปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง และไฟแจ้งเตือนปรกติจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณด้านล่างไฟกระพริบ ซึ่งไฟแจ้งเตือนแบบกระพริบมีอยู่ 2 หลอดด้านบนบนปล่อง และ ไฟแจ้งเตือนปรกติจะติดตั้ง 5 หลอดบริเวณฐานปล่องด้านล่างรองลงมาตามรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง

รูปแบบการทำงานจะเป็นไปตามนี้



### 3.4 จำลองอุปกรณ์ในสภาวะการทำงานจริง

ในการสร้างชุดทดลองไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง จะเป็นการจำลองการทำงานในสภาวะจริงก่อนทำการติดตั้ง โดยชุดวงจรที่ใช้จำลองสภาวะการทำงานเลือกใช้ Arduino Uno ในการประมวลผลคำสั่ง มีการตรวจจับสภาวะแสงโดยการใช้ LDR Sensor ส่วนการแสดงผลใช้เป็นชุดหลอดไฟ LED 2 ขนาดคือ 40วัตต์ จำนวน 2 หลอด และขนาด 14.5วัตต์ จำนวน 5 หลอด แต่ละหลอด ซึ่งรูปแบบการทำงานของระบบไฟ Obstruction Light จะเป็นดังนี้

ไฟแจ้งเตือน(กระพริบ)สีแดง แทนด้วย หลอดไฟ LED ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 1 หลอด

ไฟแจ้งเตือน(กระพริบ)สีขาวยาว แทนด้วย หลอดไฟ LED ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 1 หลอด

ไฟแจ้งเตือนธรรมดาสีขาวยาว แทนด้วย หลอดไฟ LED ขนาด 14.5 วัตต์ จำนวน 5 หลอด

ชุดวงจรควบคุมจะถูกบรรจุอยู่ในกล่องควบคุมเหมือนกับชุดวงจรควบคุมจริง

### 3.5 สร้างชุดคำสั่งให้กับวงจรควบคุม

จากชุดรูปแบบการทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนชุดคำสั่งให้กับ Arduino ได้ดังนี้

- กำหนดพอร์ทที่ใช้โดยเลือกพอร์ท 3 4 และ 5 สำหรับส่งสัญญาณออกจาก Arduino และกำหนดขารับสัญญาณจากเซนเซอร์เป็นขาที่ 5

```
const int ledW_Pin = 3;
const int ledR_Pin = 4;
const int ledY_Pin = 5;
const int signalPin = 5;
int signalState = 0;
```

- กำหนดตัวแปรชื่อว่า lastDebounceTime เพื่อเป็นตัวจับค่า Debounce ของสัญญาณ พร้อมกำหนดค่าระยะเวลา Debounce สัญญาณไว้ที่ 50 ms

```
long lastDebounceTime = 0;
long debounceDelay = 50;
```

- ตั้งค่าพอร์ททั้ง 3 พอร์ทของ Arduino ประกอบไปด้วย LED สีเหลือง LED สีแดง และ LED สีขาว

```
void setup() {
  pinMode(ledW_Pin, OUTPUT);
  pinMode(ledR_Pin, OUTPUT);
  pinMode(ledY_Pin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
```

- กำหนดรูปแบบการทำงาน ให้ตัวแปร signalState รับค่าดิจิตอลจากเซนเซอร์ พร้อมทั้งให้แสดงค่าพารามิเตอร์

```
void loop () {
  signalState = digitalRead(signalPin);
  Serial.print("signalState = ");
  Serial.println(signalState);
}
```

- กำหนดเงื่อนไข หากช่วงเวลาการรับสัญญาณมีการเปลี่ยนค่าในเวลาที่ยาวกว่าช่วงเวลาดีเลย์ ถึงให้เข้าทำเงื่อนไขต่อไป โดยเงื่อนไขถัดมาคือถ้าอ่านค่าสัญญาณ ถ้าค่าสัญญาณมากกว่า 0 (กลางวัน) ให้เข้าเงื่อนไขการทำงานคือ ให้ไฟ LED สีเหลือง ดับ ไฟ LED สีแดง ดับ ไฟ LED สีขาว กระพริบ จากนั้นให้เก็บค่าการรับสัญญาณในตัวแปร millis

```

if ( ( millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
    if (signalState >0) {
        digitalWrite(ledY_Pin,HIGH);
        digitalWrite(ledW_Pin,LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledW_Pin,HIGH);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledR_Pin,HIGH);
        lastDebounceTime = millis();
    }
}

```

- ถ้าอ่านค่าสัญญาณไม่ได้ตามที่กำหนด (กลางคืน) ให้ทำงานคือ ให้ไฟ LED สีเหลือง ดับ ไฟ LED สีแดง กระพริบ ไฟ LED สีขาว ดับ จากนั้นให้เก็บค่าการรับสัญญาณในตัวแปร millis

```

Else {
    digitalWrite(ledY_Pin,LOW);
    digitalWrite(ledR_Pin,LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(ledR_Pin,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(ledW_Pin,HIGH);
    lastDebounceTime = millis();
}

```

```

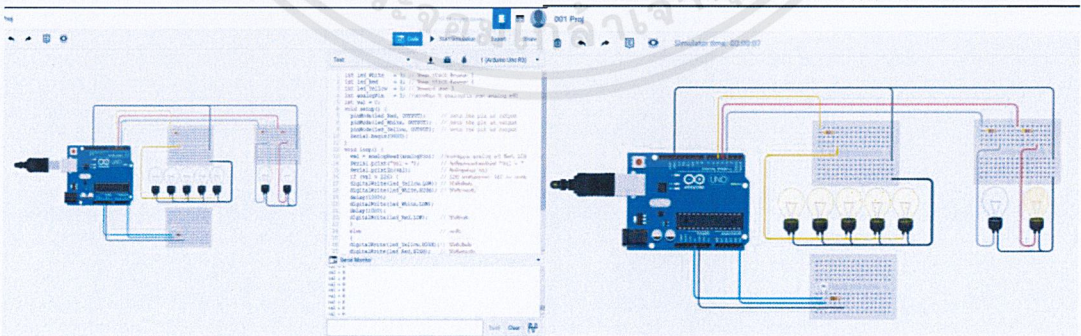
const int ledW_Pin = 3;
const int ledR_Pin = 4;
const int ledY_Pin = 5;
const int signalPin = 5;
int signalState = 0;

long lastDebounceTime = 0;
long debounceDelay = 50;

void setup() {
  pinMode(ledW_Pin, OUTPUT); // sets the pin as output
  pinMode(ledR_Pin, OUTPUT); // sets the pin as output
  pinMode(ledY_Pin, OUTPUT); // sets the pin as output
  Serial.begin(9600);
}

void loop () {
  signalState = digitalRead(signalPin);
  Serial.print("signalState = "); // พิมพ์ข้อความส่งเข้าคอมพิวเตอร์
  Serial.println(signalState); // พิมพ์ค่าของตัวแปร
  if ( (millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
    if (signalState >0) { // กลางวัน
      digitalWrite(ledY_Pin,HIGH); // ให้ไฟสีเหลืองดับ ขาวกระพริบ แดงดับ
      digitalWrite(ledW_Pin,LOW);
      delay(1000);
      digitalWrite(ledW_Pin,HIGH);
      delay(1000);
      digitalWrite(ledR_Pin,HIGH);
      lastDebounceTime = millis(); //set the current time
    }
    else // กลางคืน
      digitalWrite(ledY_Pin,LOW); // ให้ไฟสีเหลืองดับ ขาวดับ แดงกระพริบ
      digitalWrite(ledR_Pin,LOW);
      delay(1000);
      digitalWrite(ledR_Pin,HIGH);
      delay(1000);
      digitalWrite(ledW_Pin,HIGH);
      lastDebounceTime = millis(); //set the current time
    }
  }
}

```



รูปที่ 3.2 แสดงการจำลองการทำงานของโปรแกรมผ่าน [www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 จัดทำชิ้นงาน

สำหรับขั้นตอนการจัดทำชิ้นงานนั้น ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ชุดวงจรควบคุม และ ชุดหลอดไฟ

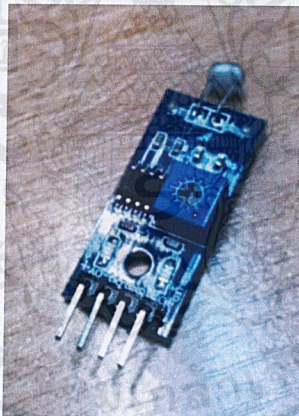
#### 3.6.1 ชุดวงจรควบคุม

สำหรับชุดวงจรควบคุมมีอุปกรณ์ดังนี้ 1.Arduino Uno R3 2.LDR Sensor

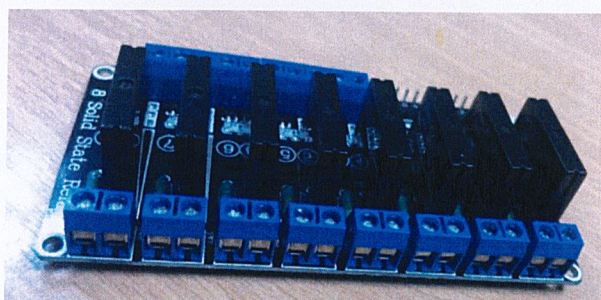
3.Solid State Relay 4. Terminal 5. กล้องวงจร 6.สายไฟ 7.อุปกรณ์เครื่องมืออื่นๆ



รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ Arduino Uno R3

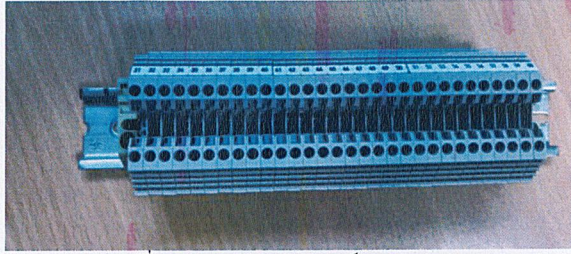


รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ LDR Sensor



รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์ Solid State Relay

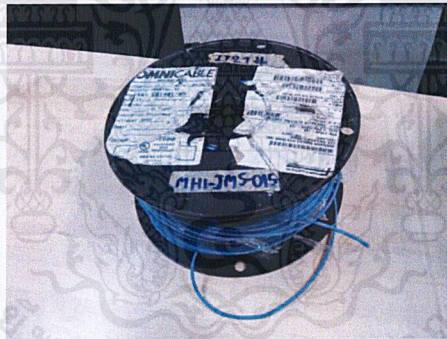
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์ Terminal



รูปที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์กล่องวงจร



รูปที่ 3.8 แสดงอุปกรณ์สายไฟ

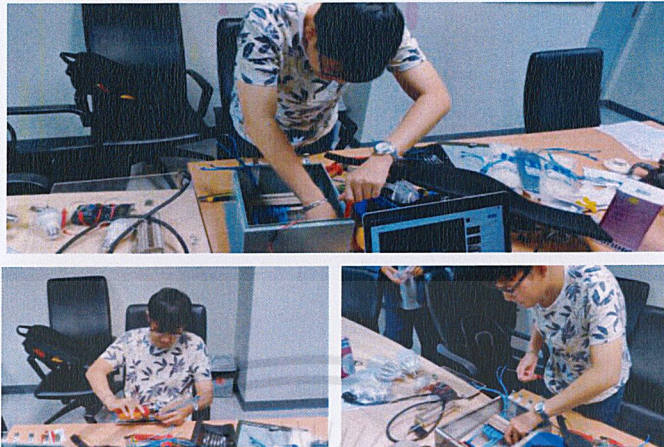


รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์เครื่องมืออื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

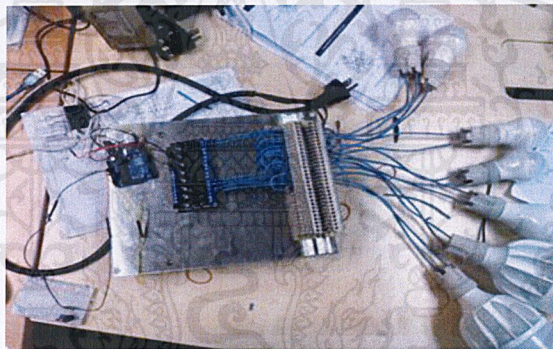
## ขั้นตอนการทำงาน

1. เชื่อมต่อ Arduino เข้ากับ LDR Sensor , โมดูล Solid State Relay และ Terminal



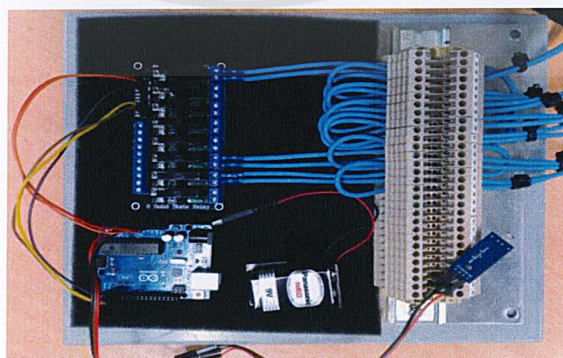
รูปที่ 3.10 แสดงการทำงาน

2. ทดสอบวงจรกับหลอดไฟเพื่อทำการทดสอบวงจร

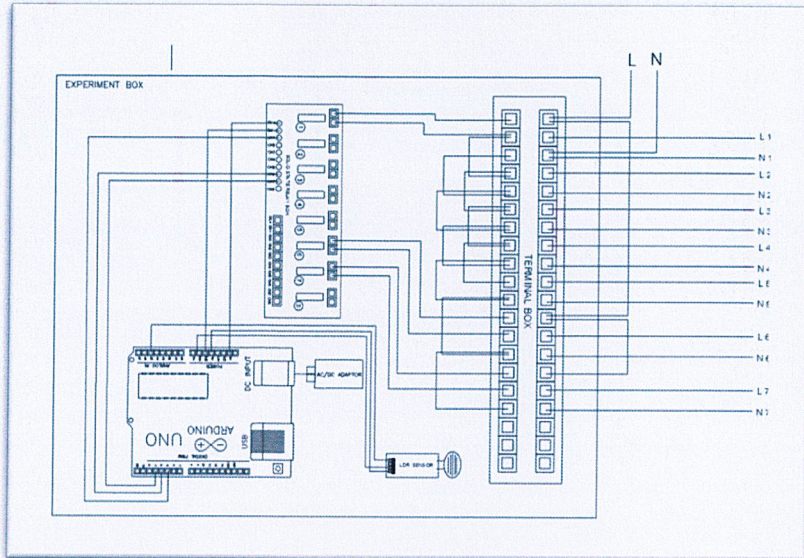


รูปที่ 3.11 แสดงการทำงาน

3. ประกอบชุดวงจรควบคุมเข้ากับกล่องวงจร



รูปที่ 3.12 แสดงการทำงาน

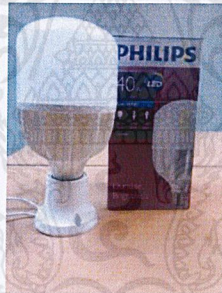


รูปที่ 3.13 แสดงผังวงจรการติดตั้ง

### 3.6.1 ชุดหลอดไฟ

สำหรับชุดหลอดไฟมีอุปกรณ์ดังนี้ 1.หลอดไฟ LED 40W 2.หลอดไฟ LED 14.5 W

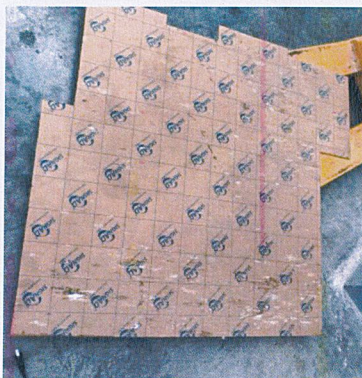
3. แผ่นอะคลิลิก



รูปที่ 3.14 แสดงอุปกรณ์หลอดไฟ LED 40W



รูปที่ 3.15 แสดงอุปกรณ์หลอดไฟ LED 14.5W



รูปที่ 3.16 แสดงอุปกรณ์แผ่นอะคลิลิก

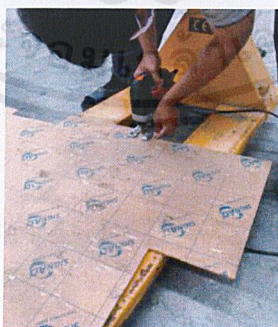
### ขั้นตอนการทำงาน

1. ถอดฝากล่องเพื่อเตรียมทำฐานรองชุดหลอดไฟ



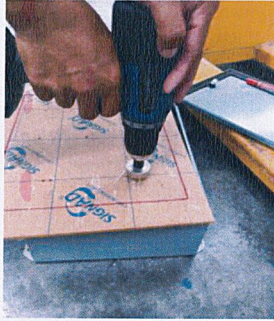
รูปที่ 3.17 แสดงการทำงาน

2. วัดขนาดฝากล่องอันเดิม เพื่อตัดแผ่นอะคลิลิกให้มีขนาดเท่ากับฝากล่อง



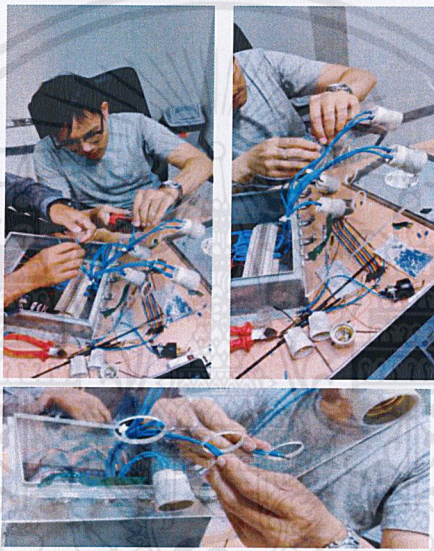
รูปที่ 3.18 แสดงการทำงาน

3. เจาะแผ่นอะคริลิกให้มีขนาดเท่ากับหัวหลอดไฟ เพื่อใช้ติดตั้ง



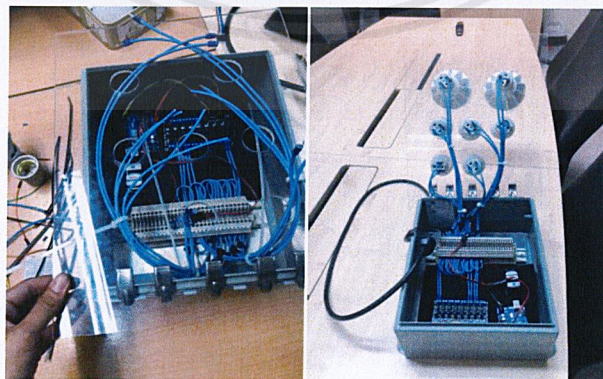
รูปที่ 3.19 แสดงการทำชิ้นงาน

4. ประกอบแผ่นอะคริลิกเข้ากับกล่องวงจรพร้อมต่อสายจาก Terminal เข้ากับหัวหลอดไฟ



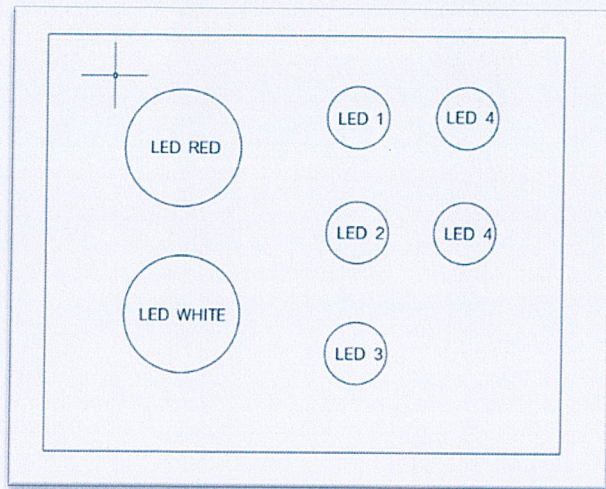
รูปที่ 3.20 แสดงการทำชิ้นงาน

5. จัดสายไฟให้สวยงาม ด้วย Cable Tie พร้อมใส่หลอดไฟตามหัวหลอดไฟ

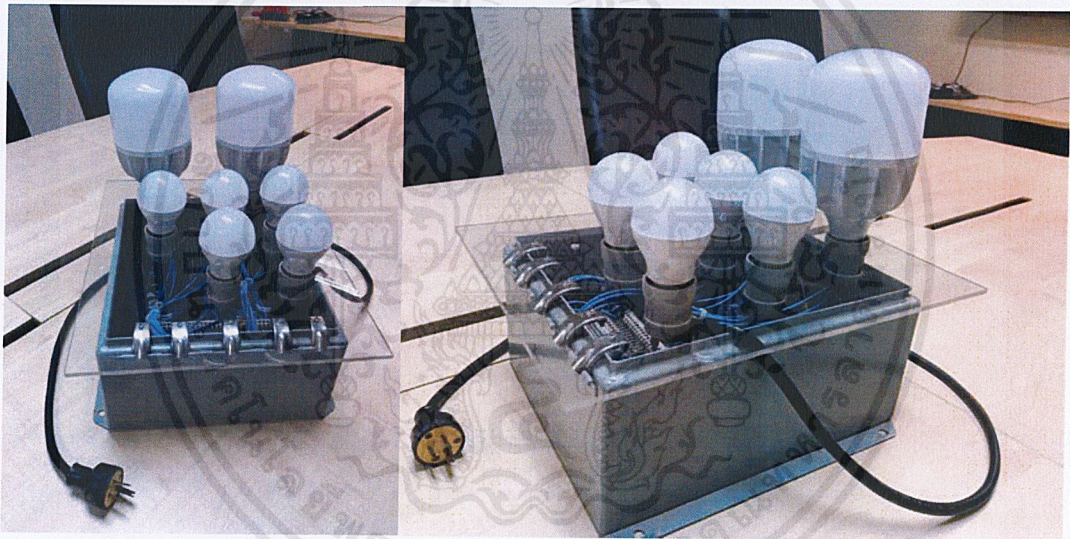


รูปที่ 3.21 แสดงการทำชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แสดงผังการติดตั้งหลอดไฟ



รูปที่ 3.23 แสดงชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 52 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

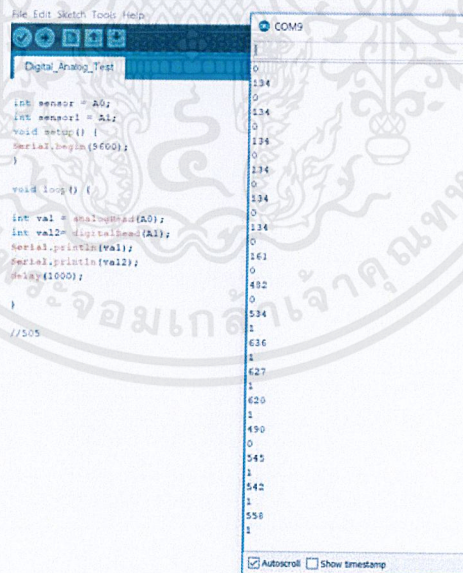
### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 วิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของอุปกรณ์วงจรควบคุมอย่าง Arduino Uno R3 ที่ใช้รับค่าสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์ LDR Sensor ซึ่งค่าสัญญาณที่อ่านได้ จะเป็นการบันทึกค่าและการแสดงค่าของสัญญาณในส่วนของ monitor ของโปรแกรม Arduino ผ่านส่วนของโปรแกรมที่ได้เขียนไว้

```
void loop () {  
  signalState = digitalRead(signalPin);  
  Serial.print("signalState = ");           // พิมพ์ข้อความส่งเข้าคอมพิวเตอร์  
  Serial.println(signalState);             // พิมพ์ค่าของตัวแปร
```

รูปที่ 4.1 แสดงส่วนของโปรแกรมรับค่าสัญญาณ



รูปที่ 4.2 แสดงค่าสัญญาณที่รับมาจาก sensor

ซึ่งข้อมูลที่จะทำการเปรียบเทียบกันจะเป็นข้อมูล 2 ชุด เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่าง 1.ข้อมูลแบบไม่มีการกำจัด Debounce กับ 2.ข้อมูลแบบมีการกำจัด Debounce ทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์คือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ดทดลอง Arduino Uno R3 และ LDR Sensor เหมือนกัน 2 ชุดทดลอง ทำการทดสอบพร้อมกัน ด้วย ระยะเวลาเดียวกัน พร้อมบันทึกค่าและแสดงค่าข้อมูลด้วยแผนภาพผ่านโปรแกรม Microsoft Excel

```

void loop () {
    signalState = digitalRead(signalPin);
    Serial.print("signalState = ");
    Serial.println(signalState);
    if ( ( millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
    if (signalState > 0) {
        digitalWrite(ledY_Pin, HIGH);
        digitalWrite(ledW_Pin, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledW_Pin, HIGH);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledR_Pin, HIGH);
        lastDebounceTime = millis();
    }
    else
        digitalWrite(ledY_Pin, LOW);
        digitalWrite(ledR_Pin, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledR_Pin, HIGH);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledW_Pin, HIGH);
        lastDebounceTime = millis();
    }
}

```

รูปที่ 4.3 แสดงส่วนของโปรแกรมแบบไม่มีการกำจัด Debounce

```

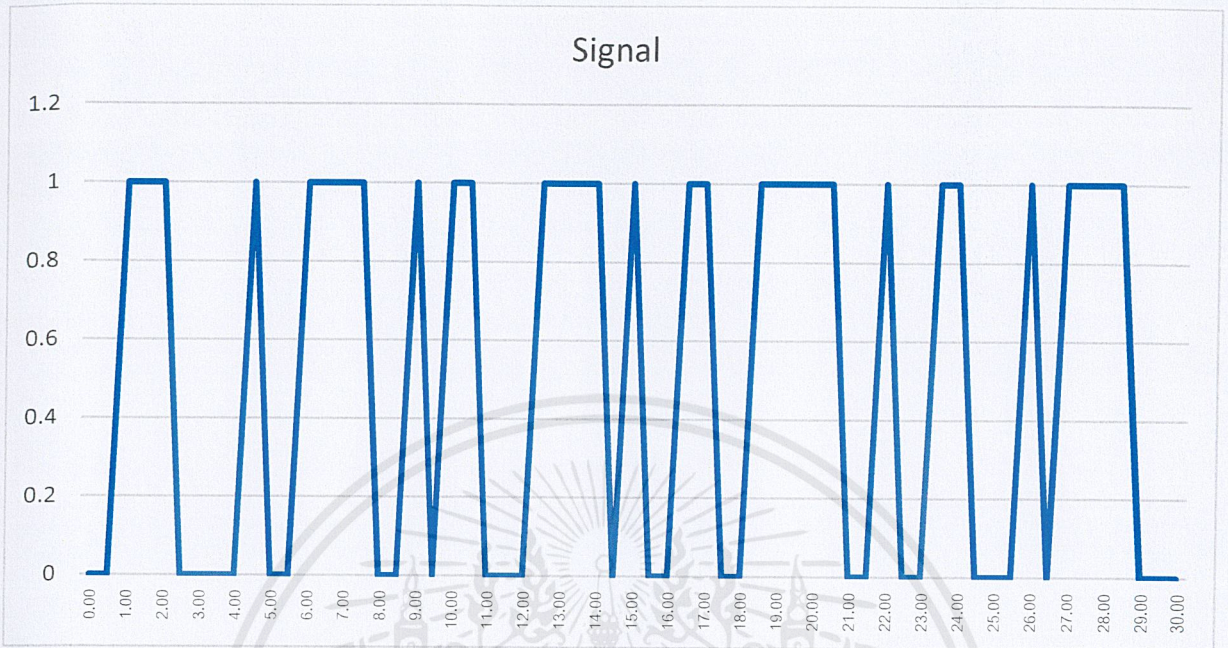
void loop() {
    signalState = digitalRead(signalPin);
    Serial.print("signalState = ");
    Serial.println(signalState);
    if (signalState > 0) {
        digitalWrite(ledY_Pin, HIGH);
        digitalWrite(ledW_Pin, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledW_Pin, HIGH);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledR_Pin, HIGH);
    }
    else
        digitalWrite(ledY_Pin, LOW);
        digitalWrite(ledR_Pin, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledR_Pin, HIGH);
        delay(1000);
        digitalWrite(ledW_Pin, HIGH);
    }
}

```

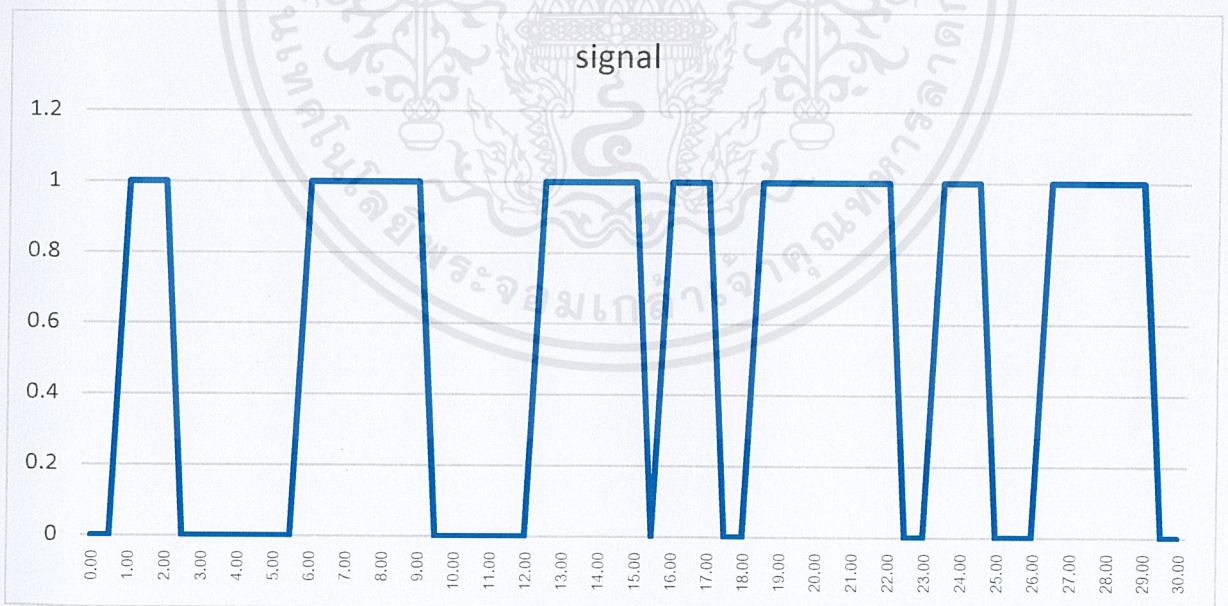
รูปที่ 4.4 แสดงส่วนของโปรแกรมแบบกำจัด Debounce

โดยทำการทดสอบที่สภาวะเดียวกัน จำนวน 5 ครั้งได้ผลดังนี้

ครั้งที่ 1



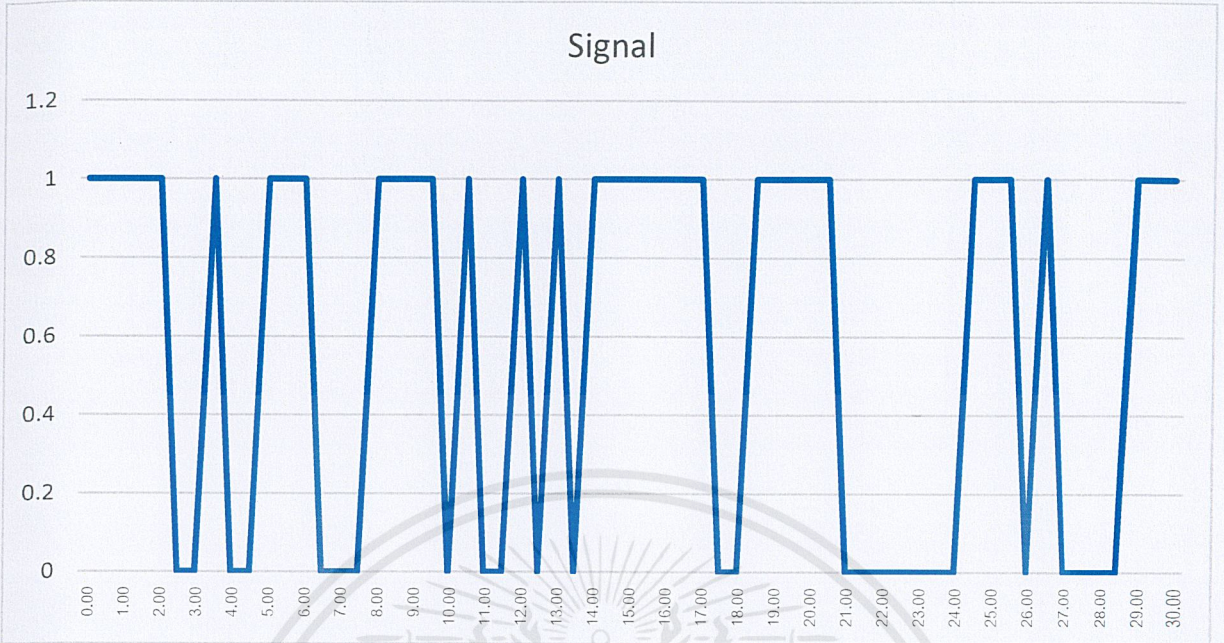
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 1



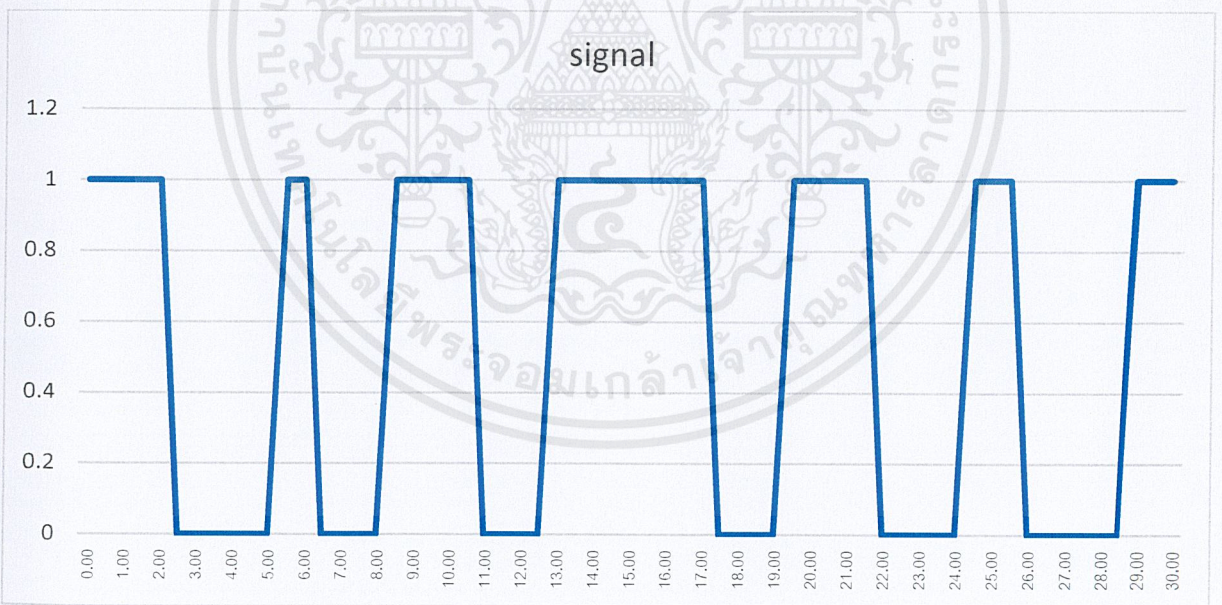
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2

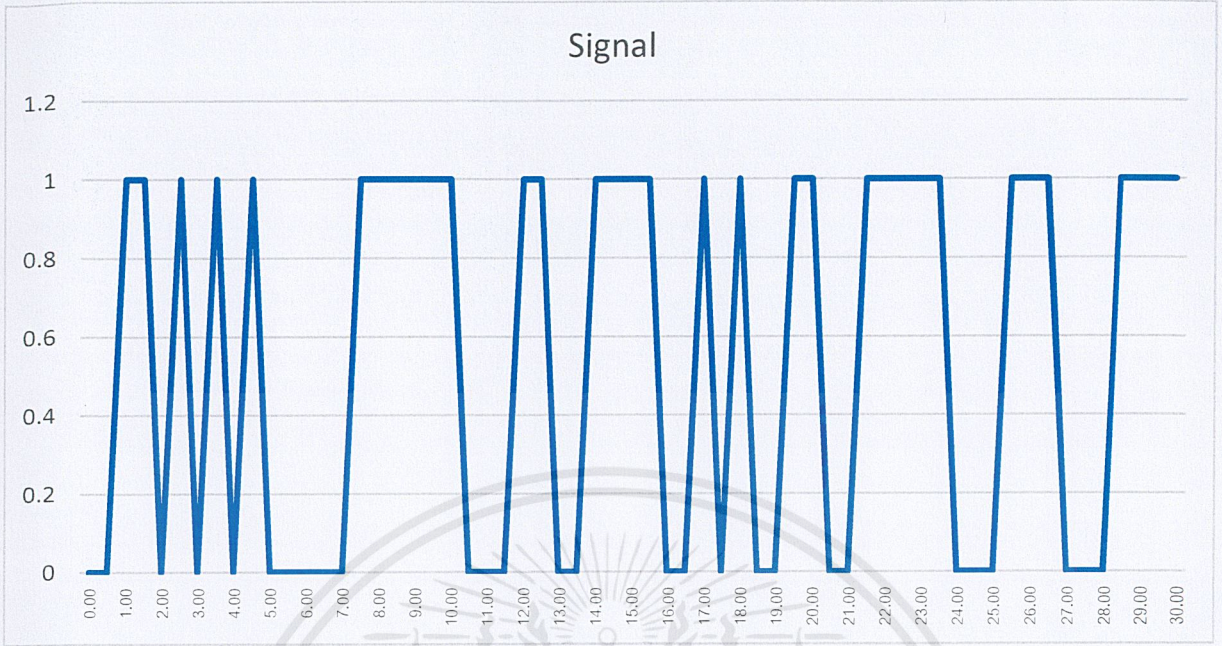


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 2

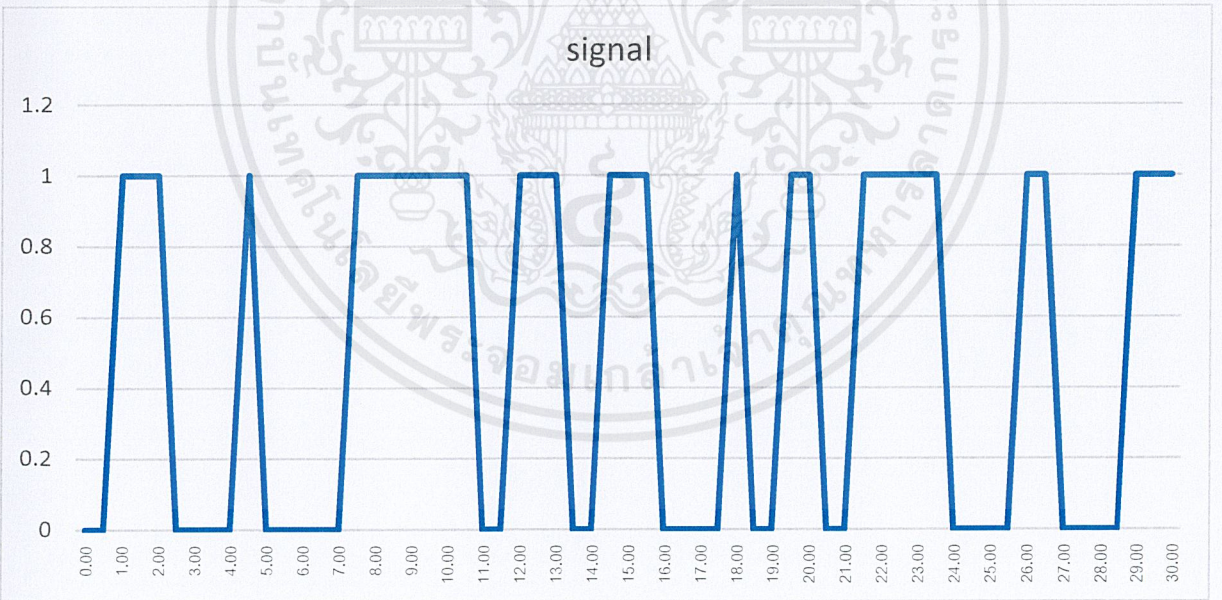


รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 2

ครั้งที่ 3

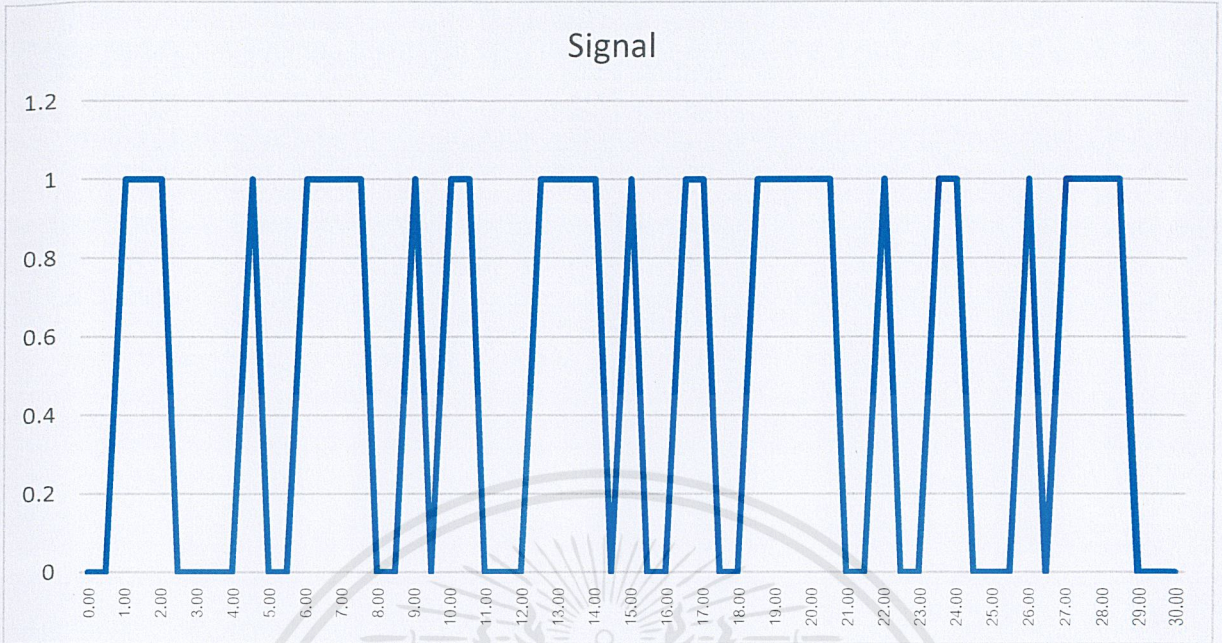


รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 3

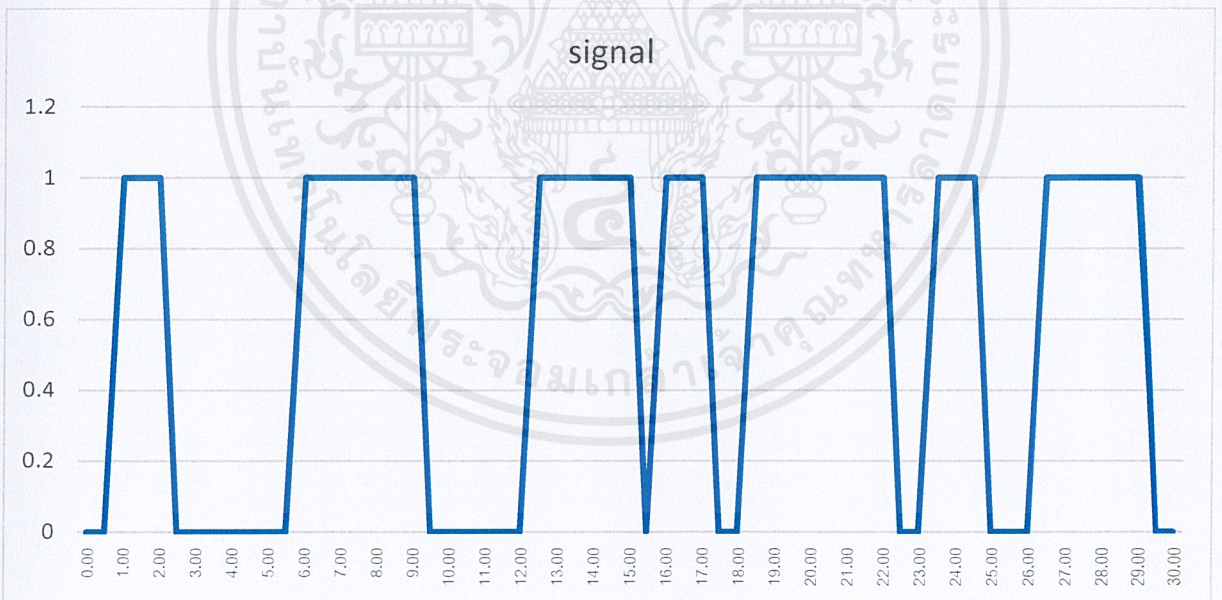


รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 3

ครั้งที่ 4

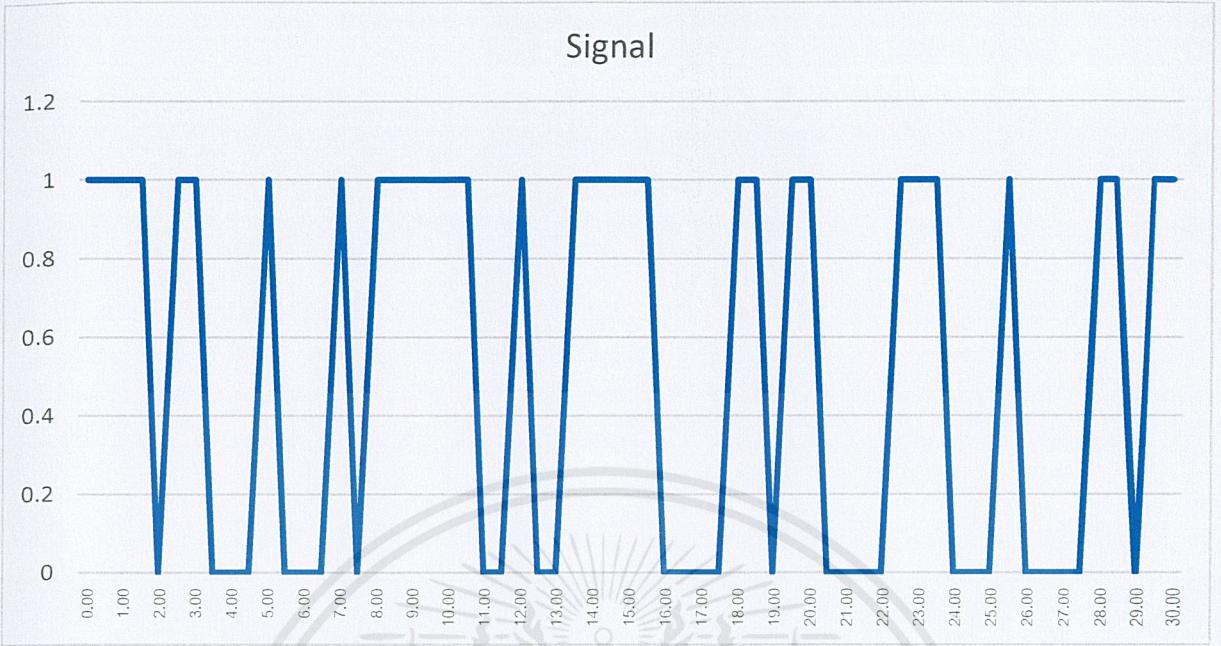


รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 4

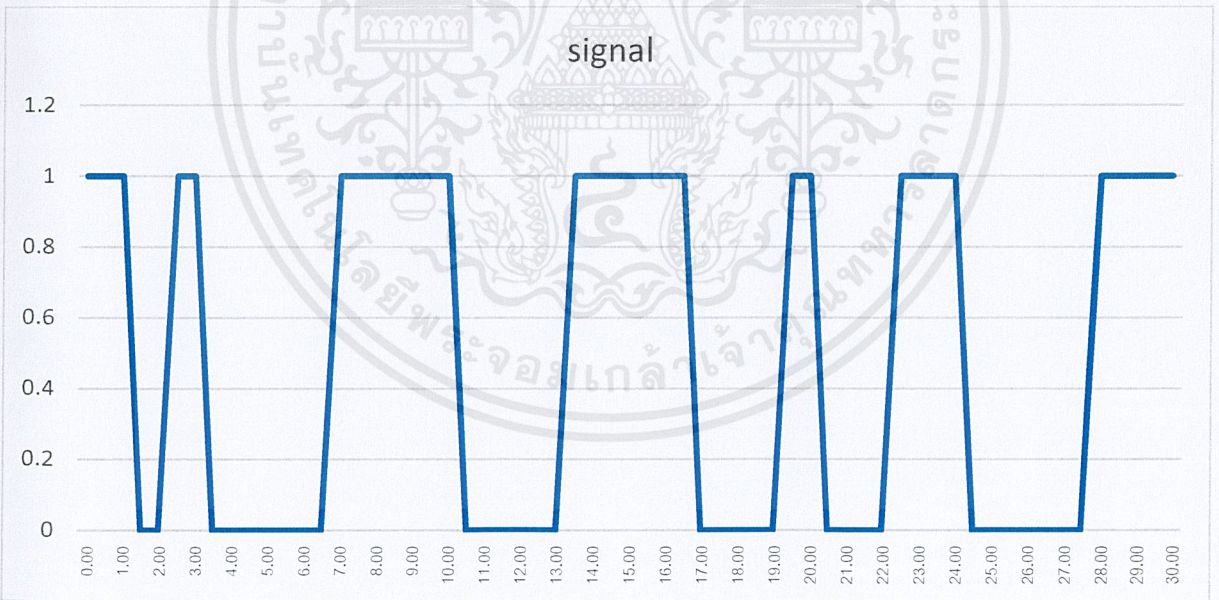


รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณแบบไม่มีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 5



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณแบบมีการกำจัด Debounce ครั้งที่ 5

สรุปผลจากการทดสอบในช่วงการเปลี่ยนสัญญาณจาก 0 ไป 1 หรือ 1 ไป 0 ค่าของสัญญาณมีการแกว่ง ซึ่งในสภาวะจริงอาจเกิดจากสภาพแวดล้อม หรือ จากการทำงานของอุปกรณ์ การใส่ชุดคำสั่งการกำจัดสัญญาณ Debounce ทำให้ช่วงการเปลี่ยนสัญญาณอย่างฉับพลันลดลงได้ ทำให้รูปแบบการทำงานมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

#### 4.2 ค่าใช้จ่ายโครงการ

ในการจัดทำโครงงานไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (obstruction Light for HRSG Stack) ได้มีการจัดทำขึ้นงานทดสอบขึ้น โดยมีอุปกรณ์ทั้งหมดคือสำหรับชุดวงจรควบคุมมีอุปกรณ์ดังนี้ 1.Arduino Uno R3 2.LDR Sensor 3.Solid State Relay 4. Terminal 5. กล่องวงจร 6.สายไฟ 7.หลอดไฟ LED 40W 8.หลอดไฟ LED 14.5 W 9. แผ่นอะคริลิก 10.cable tie 11.อุปกรณ์เครื่องมืออื่นๆ

รายการอุปกรณ์	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1.Arduino Uno R3	1	250	250
2.LDR Sensor	1	55	55
3.Solid State Relay	1	695	695
4.Terminal	1	0	0
5.Box	1	0	0
6.wire	1	0	0
7.Lamp LED 40 W	2	0	0
8.Lamp LED 14.5 W	5	0	0
9. Acrylic plate	1	0	0
10.Cable Tie	14	0	0
			1,000

\*\*หมายเหตุ ราคาต่อหน่วย 0 หมายถึง มีอุปกรณ์ที่ให้ใช้ภายในหน่วยงาน \*\*

### 4.3 แนวทางการพัฒนาก่อนการใช้งานจริง

สำหรับชุดทดสอบไฟแรงเทียนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง เพื่อการใช้งานจริงในอนาคตมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

#### 4.3.1 Photocell

ในปัจจุบันวงจรควบคุมที่ใช้สำหรับไฟแรงเทียน การตรวจจับสัญญาณจะใช้ Photocell ในการตรวจจับ โดยเชื่อมต่อกับ Magnetic Contactor ในการตัดต่อวงจร โดย Photocell นี้มีความแข็งแรงทนทาน และ แม่นยำมากกว่า LDR Sensor ในวงจรทดสอบ



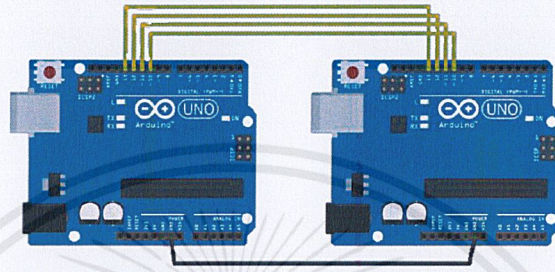
รูปที่ 4.15 แสดงอุปกรณ์ photocell และการเชื่อมต่อ

#### 4.3.2 AC/DC Converter

เนื่องจากสัญญาณจาก photocell ที่ได้กล่าวว่ามีหลักการทำงานคือ เมื่อเซนเซอร์นี้ตรวจจับสถานะแสงเมื่อมีแสงมากหน้าสัมผัสจะไม่ทำงาน ทำให้แรงดันที่เกิดขึ้นเป็น 0 โวลต์ แต่เมื่อแสงน้อยหน้าสัมผัสนี้จะทำงานทำให้เกิดค่าแรงดันกระแสสลับ 120 โวลต์ เพื่อส่งสัญญาณไปให้ชุดวงจรควบคุม ซึ่งในการส่งสัญญาณเข้ากับวงจรควบคุมอย่าง Arduino Uno R3 จะต้องเป็นสัญญาณกระแสตรงแรงดันต่ำ จึงต้องมีการแปลงสัญญาณจากแรงดันกระแสสลับ 120 โวลต์เป็นขนาดแรงดันต่ำกระแสตรง จึงต้องมีการเพิ่มวงจร AC/DC Converter

### 4.3.3 Master / Slave Function

จากวงจรไฟเลี้ยงเตือนสำหรับชุดทดสอบ ในวงจรควบคุม 1 วงจรประกอบด้วย Arduino 1 ตัว แต่ในการติดตั้งจริงควรเพิ่มระบบวงจรสำรองไว้ โดยทำการเพิ่มระบบ Master / Slave โดยการจัดทำวงจรเพิ่มขึ้นไปอีก 1 ชุด พร้อมเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมให้สามารถสลับการทำงานได้ เพื่อสามารถสลับการทำงานของอุปกรณ์ หรือ สลับการใช้งานเมื่อระบบอุปกรณ์หลักอยู่ในช่วงซ่อมบำรุง และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์



รูปที่ 4.16 แสดงการเชื่อมต่อ Master/Slave ของ Arduino

### 4.3.4 การระบายความร้อน

สำหรับวงจรที่เลือกใช้นั้นเป็นระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ที่เห็นได้ชัดคือระบบความร้อน ทั้งความร้อนสะสมที่เกิดจากการทำตลอดเวลา หรืออาจเป็นความร้อนจากสภาพแวดล้อม ซึ่งปัญหานี้เราสามารถแก้ไขได้โดยติดตั้งหม้อน้ำระบายอากาศให้กับวงจรควบคุม และติดตั้ง Heat sink ให้กับ Solid State Relay เพื่อช่วยระบายความร้อน ส่งผลให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการจัดทำโครงการงานชุดไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (Obstruction Light for HRSG Stack) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและติดตั้งชิ้นงานจริงภายในโรงไฟฟ้าหนองแขง ในบทนี้เป็นการสรุปให้เห็นภาพรวมโดยผู้วิจัยได้สรุปให้เห็นเป็นภาพรวมได้ดังต่อไปนี้

##### 5.1.1 วัตถุประสงค์

โครงการงานชุดไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (Obstruction Light for HRSG Stack) มีวัตถุประสงค์หลักของโครงการนี้เพื่อแก้ปัญหาระบบไฟแจ้งเตือนโดยใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับงานสามารถทำงานทดแทนวงจรเดิมทั้งรูปแบบการติดตั้งรวมถึงฟังก์ชันการทำงาน โดยลดค่าใช้จ่าย, ง่ายต่อการบำรุงรักษาในอนาคต และเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนา ก่อนการติดตั้งจริงในอนาคต

##### 5.1.2 ผลการศึกษา

ในการทำโครงการงานชุดไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (Obstruction Light for HRSG Stack) ได้มีการศึกษาถึงข้อกำหนดในการติดตั้งไฟแจ้งเตือน และคำนึงถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้ทำชิ้นงานจำลองไฟแจ้งเตือน โดยอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทำชิ้นงานนี้ เป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย สะดวกต่อการบำรุงรักษา และมีค่าใช้จ่ายในการทำโครงการนี้ที่ไม่สูง สามารถติดตามผลการทำงานได้

โดยผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานทดลองนี้ สามารถทำงานด้วยรูปแบบการทำงานเดียวกันกับชิ้นงานเดิม แต่ง่ายต่อการบำรุงรักษาในอนาคตทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและการหาอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุง เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้นั้นสามารถหาซื้อได้สะดวกในประเทศไทย ต่างกับระบบเดิมที่ต้องมีการสั่งซื้อจากต่างประเทศโดยมีราคาสูงและใช้ระยะเวลาในการได้รับสินค้า

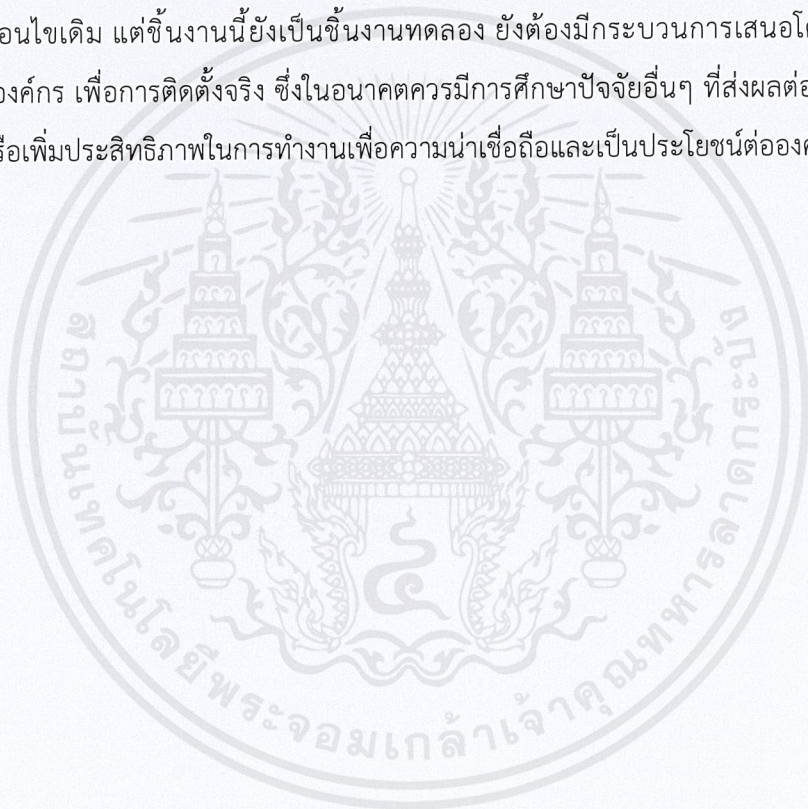
#### 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไข้ปัญหา

5.2.1 เนื่องจากการทดสอบชิ้นงานทดสอบเมื่อสมบูรณ์แล้วหาสถานที่กลางแจ้งที่ใช้ทดสอบได้ยาก และยากต่อการตรวจจับข้อมูล (monitor) เพื่อตรวจสอบค่าสัญญาณจาก LDR Sensor มีแนวทางในการแก้ปัญหาคือ เลือกช่วงเวลาทดสอบครั้งละ 5-10 นาที ด้วยสถานที่ที่แตกต่างกัน และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

5.2.2 เนื่องจากการเปรียบเทียบโปรแกรมก่อนและหลังใส่ Code Debounce ในวงจรควบคุม เป็นการเปรียบเทียบ Arduino และ LDR Sensor 2 อุปกรณ์ ทำให้การทดสอบความไวต่อการเปลี่ยนสัญญาณ อาจมีความคลาดเคลื่อนได้ มีแนวทางในการแก้ปัญหาคือ ใช้อุปกรณ์เดียวกันทุกประการ และหาตำแหน่ง ทดสอบ LDR Sensor ตำแหน่งเดียวกันทดสอบพร้อมกันพร้อมเปรียบเทียบเพื่อหาความถูกต้อง

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการจัดทำโครงงานชุดไฟแจ้งเตือนสำหรับปล่องเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้ง (Obstruction Light for HRSG Stack) ภายในโรงไฟฟ้าหนองแขงนี้ เป็นการศึกษารูปแบบการทำงานเพื่อ สร้างชิ้นงานที่จำลองการทำงานของระบบไฟแจ้งเตือน ซึ่งในชิ้นงานทดลองสามารถทำงานได้ถูกต้อง แม่นยำ และตรงตามเงื่อนไขเดิม แต่ชิ้นงานนี้ยังเป็นชิ้นงานทดลอง ยังต้องมีกระบวนการเสนอโครงการอีกหลาย ขั้นตอนภายในองค์กร เพื่อการติดตั้งจริง ซึ่งในอนาคตควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการทำงานเมื่อมีการติดตั้งจริงหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเพื่อความน่าเชื่อถือและเป็นประโยชน์ต่อองค์กร



## บรรณานุกรม

- [1] KMTEAMDCA Airport. “ข้อบังคับกฎหมายการบิน “. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.gotoknow.org/posts/467652> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 1 พฤศจิกายน 2562)
- [2] ทันพงษ์ ภูรักษ์. “ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP\\_Unit\\_1.pdf](http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf). (วันที่สืบค้นข้อมูล: 3 พฤษภาคม 2562).
- [3] Arduino Guru. “อาตูดูโนคืออะไร”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.gravitechthai.com/guru2.php?p=259>. (วันที่สืบค้นข้อมูล: 3 พฤษภาคม 2562).
- [4] Arduino Guru. “การเขียนโปรแกรมอาตูดูโน”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.gravitechthai.com/guru2.php?p=260>. (วันที่สืบค้นข้อมูล: 4 พฤษภาคม 2562)
- [5] PSPTECH. “หลักการทํางาน Relay และการประยุกต์ใช้”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.psptech.co.th/relay-15696.page> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 8 พฤษภาคม 2562).
- [6] MTEAAIRSUSPENSION. “คุณสมบัติและวงจร Relay”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mtecairsuspension.com/17120910> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 8 พฤษภาคม 2562).
- [7] Primusthai. “Solid State Relay”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=122> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 9 พฤษภาคม 2562).
- [8] MWIT. “การทํางานเซนเซอร์รับแสง”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: [http://www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI\\_electronics/image/LDR.HTM](http://www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI_electronics/image/LDR.HTM) (วันที่สืบค้นข้อมูล: 9 พฤษภาคม 2562).
- [9] RSU Academic. “Photo Switch”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://sites.google.com/a/rsu.ac.th/kar-peid-pid-fi-dwy-saeng/home/2222/hlak-karthangan-khxng-photo-switch> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 9 พฤษภาคม 2562).
- [10] LED Home. “LED”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: [https://ledhomeswang.com/Index\\_kunsomLED](https://ledhomeswang.com/Index_kunsomLED) (วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 พฤษภาคม 2562).
- [11] CPRE. “Debounce”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://cpre-highlevel.blogspot.com/2016/02/debounce.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 ธันวาคม 2562).

## ภาคผนวก

### FAA Type: L-864 and L-865 Medium Intensity Lighting FlashGuard® 3000B



#### FLASHGUARD® 3000B SYSTEM DESCRIPTION

The FlashGuard® 3000B Medium Intensity Dual Lighting System combines a daytime white strobe light and a nighttime red flashing strobe into a single flashhead, eliminating the need for two separate lighting systems. The flashhead is powered and controlled by a power supply that can be mounted remotely at the base of the structure. The power supply constantly monitors the operation of the system, and provides alarm contact closure upon any failure. The system automatically switches between day and night intensities by the use of a calibrated photocell. FlashGuard® 3000B flashheads incorporate a light blocking strip that minimizes ground scatter light, resulting in a "community friendly" lighting system.

#### APPLICATION

Medium intensity obstruction lighting systems are typically used on structures between 150' (45M) and 500' (150M) above ground level to provide aviation safety. The use of a medium intensity white strobe during the daytime typically eliminates the need to paint the structure with aviation orange and white stripes. The use of a red flashing beacon at night provides a "community friendly" light. Hughes & Phillips' medium intensity obstruction lights are designed for lighting tall structures such as communication, television and radio towers, chimneys, cooling towers, tall buildings, catenary river crossings and bridges. This light is compatible with Enhanced Flight Vision Systems that use IR energy emissions for imaging, including NVG goggles.

**FAA Type:** L-864/865 Medium Intensity Lighting  
**ICAO Type:** Type A/B Medium Intensity Obstacle Light  
**ETL Certified:** FAA Advisory Circular 150/5345-43F  
**Compliant for use with:** ICAO Annex 14, MIL-C-7989  
DGAC of Mexico, CAR 621.19

#### PHOTOMETRIC SPECIFICATIONS

**Day Mode (White):** 20,000 candela  $\pm$  25%  
**Night Mode (White or Red):** 2,000 candela  $\pm$  25%  
**Beam Spread:** 3° minimum  
**Horizontal Coverage:** 360°, omni-directional  
**Ground Scatter:** <3% Light Output at -10° Vertical  
**Flash Rate:** 40 FPM Day & White Night, 24 FPM Red Night

#### ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

**Temperature:** -55°C to +55°C (-67°F to 130°F)  
**Humidity:** 95% Relative Humidity  
**Miscellaneous:** Will withstand exposure to wind-blown rain from any direction, salt-laden atmosphere and windspeeds of 240 kph (150 mph).

#### MECHANICAL

**Weight, Flashhead:** 16 kg (34 lbs)  
**Weight, Power Supply:** 32 kg (70 lbs)  
**Power Supply Enclosure:** 304 Stainless Steel - standard.  
316L Stainless Steel - optional  
**Flashhead Lens Material:** High Temp/UV Resistant Acrylic

#### ELECTRICAL

**Input Voltages:** 120, 230/240, 277, 480 VAC, 24VDC  
**Input Frequencies:** 50 or 60 Hz  
**Power Consumption, Day:** 208 Watts  
**Power Consumption, Night:** 133 Watts  
**Power Consumption, Backup:** 77 Watts  
**Peak Inrush Current:** 7A @ 120VAC  
**Available Alarm Contacts (form C dry-contact):** Power Failure, Mode Status, Strobe Failure, Sidelight #1 Fail, Sidelight #2 Fail

## FAA Type: L-864 and L-865 Medium Intensity Lighting FlashGuard® 3000B

### SYSTEM FEATURES:

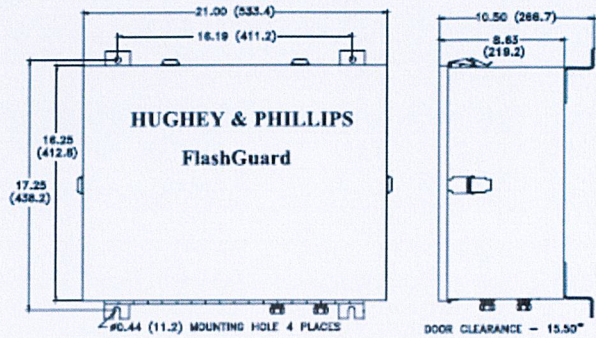
- Single flashhead provides white or red medium intensity operation with no moving parts
- Dual flashtubes and dual trigger transformers provide night time redundancy - no single point of failure in the flashhead
- Precise optics minimize ground scatter light
- Alarm contacts provided for connection to any monitoring system
- Rugged design of flashhead and power supply is suitable for outdoor installation in any climate

### FLASHHEAD FEATURES:

- Upper optics provides red flashing beacon lighting
- Lower optics provides medium intensity white strobe lighting
- Identical strobe tube for red and white eliminates extra spare parts
- Internally triggered Xenon strobe tubes utilized for long-life and maximum efficiency, without creating corrosive ozone
- Parabolic reflector optics and linear strobe tube optics combination provides very precise optics and blocks ground scatter light in both red or white operation
- Lens raises and locks in place, providing easy access to strobe tubes
- Only five components used in flashhead - minimal maintenance required at top of structure
- Dual flashtubes and trigger transformers provide night time redundancy
- Safety interlock switch included
- No moving parts
- High temperature, UV resistant acrylic flashhead lens

### POWER SUPPLY FEATURES:

- Provides power electronics, timing circuitry, and monitoring for lighting system
- Automatic day/night intensity control
- Manual intensity override
- Easily accessible components
- Plug-in-play circuit cards
- Control and monitoring for up two sidelight levels with four steady burning obstruction lights
- Fail-safe monitoring system with up to five remote alarm contacts
- Stainless steel NEMA 4X enclosure
- Low power consumption



DIMENSIONS ARE IN INCHES (MILLIMETERS)

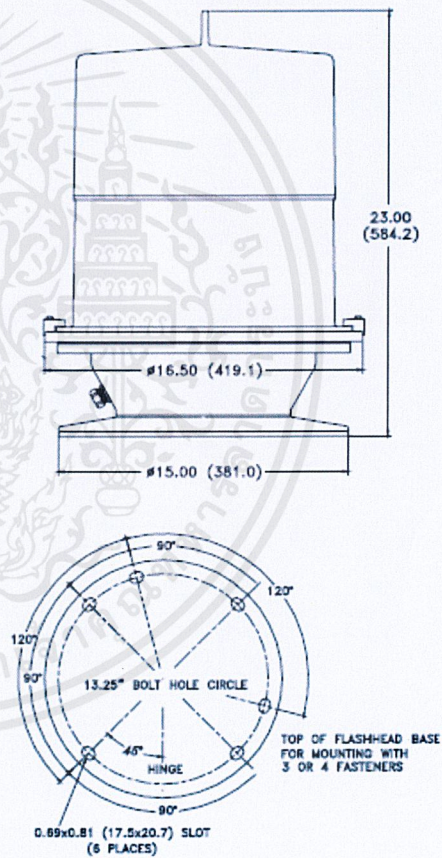
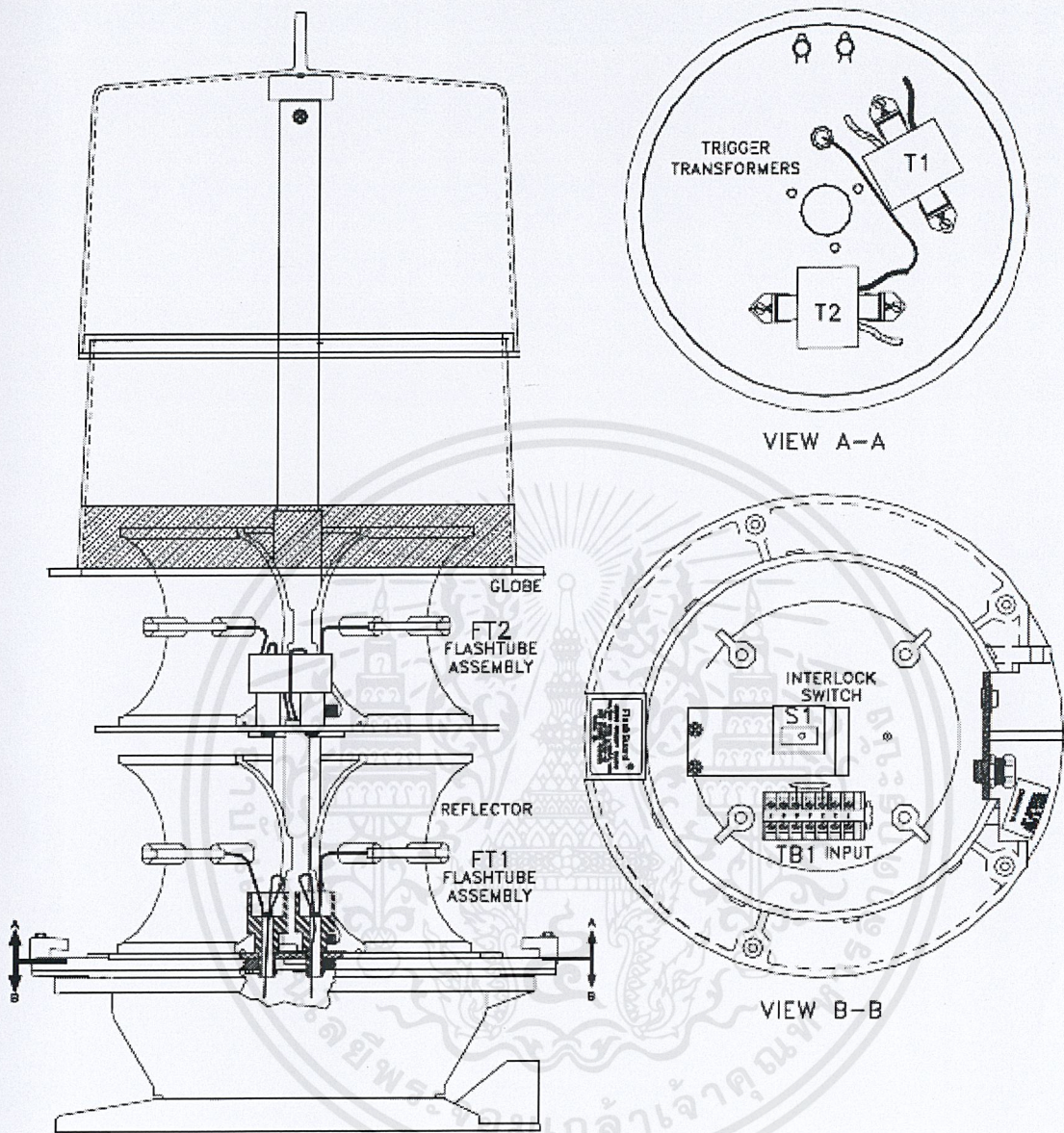


Figure 1 – Power Supply Component Locations



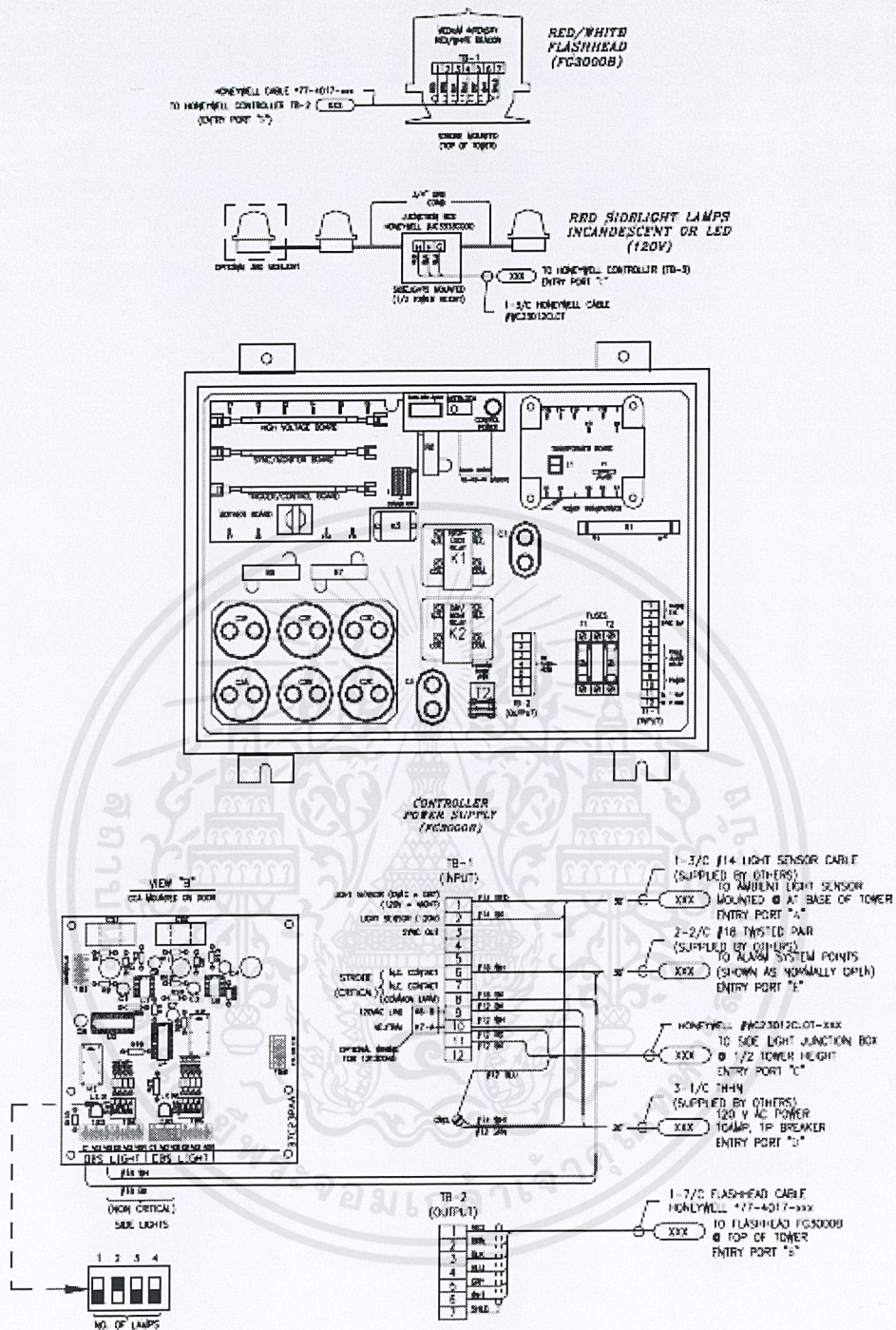


Figure 3 – Single FG3000B Interconnections

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล : นายอัครสร จิตตั้งสกุล

วัน เดือน ปีเกิด : 19 มีนาคม 2541

อีเมลล์ : 59011535@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา : ระดับมัธยมต้น โรงเรียนวิสุทธิรังษี จังหวัดกาญจนบุรี  
ระดับมัธยมปลาย โรงเรียนวิสุทธิรังษี จังหวัดกาญจนบุรี  
ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน : มิถุนายน - กรกฎาคม 2562

นักศึกษาฝึกงาน แผนก Maintenance Engineer

บริษัท บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

สิงหาคม - พฤศจิกายน 2562

นักศึกษาฝึกงาน แผนก Electrical Maintenance engineer

บริษัท กัลฟ์ เจพี เอ็นเอส จำกัด