ไฟถนนอัจฉริยะสำหรับเมืองอัจฉริยะ
INTELLIGENT ROADWAY LIGHTING FOR SMART CITY

กฤษฎ์ชนม์ กองจำปา
นราวิชญ์ บัณฑิตเวชกร
ศุภากร มหายศนันท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ไฟถนนอัจฉริยะสำหรับเมืองอัจฉริยะ

INTELLIGENT ROADWAY LIGHTING FOR SMART CITY

กฤษฎ์ชนม์ กองจำปา

นราวิชญ์ บัณฑิตเวชกร

ศุภากร มหายศนันท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

INTELLIGENT ROADWAY LIGHTING FOR SMART CITY

KITCHON KONGJAMPA

NARAVICH BUNDITVAJCHAKORN

SUPAKORN MAHAYOSSANUNT

THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ไฟถนนอัจฉริยะสำหรับเมืองอัจฉริยะ

INTELLIGENT ROADWAY LIGHTING FOR SMART CITY

ผู้จัดทำ นายกฤษฎ์ชนม์ กองจำปา 57010037

นายนราวิชญ์ บัณฑิตเวชกร 57010666

นางสาวศุภากร มหายศนันท์ 57011282

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์)

ไฟถนนอัจฉริยะสำหรับเมืองอัจฉริยะ

โดย

นายกฤษฎ์ชนม์ กองจำปา 57010037

นายนราวิชญ์ บัณฑิตเวชกร 57010666

นางสาวศุภากร มหายศนันท์ 57011282

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้มีการออกแบบ และสร้างแบบจำลองไฟถนนอัจฉริยะ ซึ่งได้นำมาประยุกต์ให้ไฟถนนมีฟังก์ชันการทำงานมากขึ้น นอกเหนือจากการให้ความสว่างเพียงอย่างเดียว อาทิเช่น การทำงานโดยอัตโนมัติ การสร้างเครือข่ายระหว่างไฟถนนแต่ละดวง และการส่งข้อมูลให้ส่วนกลางได้จากระยะไกล ระบบไฟฉุกเฉิน การใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งลดปริมาณของการใช้ไฟฟ้า เพื่อนำไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในขณะที่ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ลดลง สามารถประหยัดพลังงาน ลดอาชญากรรม ลดสภาวะโลกร้อน รองรับเหตุการณ์ฉุกเฉินได้ ซึ่งระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ เป็นสิ่งที่ตอบโจทย์ปัญหาเหล่านี้ได้ ในบางประเทศได้มีการนำระบบนี้มาใช้แล้ว

INTELLIGENT ROADWAY LIGHTING FOR SMART CITY

By

Mr. Kitchon Kongjampa 57010037

Mr. Naravich Bunditvajcaakorn 57010666

Miss. Supakorn Mahayossanunt 57011282

Advisor

Asst.Prof.Dr.Kongsak Anuntahirunrat

Academic Year 2017

ABSTRACT

This project is design and make model for Intelligent street lighting. We applied some interesting functions beyond just on/off the street light. For example, Automation and Mesh Network which is controlling and connecting between each street light and sending data to the center, In the emergence situation, Solar cell which is using the electrical energy to maximize the benefit while reducing energy consumption of street light. The key will be the development of lighting systems that can think, providing exactly the right light where and when it is needed. Thus, this project can be energy saving, reducing crime, and support for emergency, Intelligent street lighting is the answer in many countries.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ดร.เฉลิมภัณฑ์ ฟองสมุทร อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิฝฝฝฝทยาลัยบูรพา ซึ่งท่านได้ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงาน อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นด้วย

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม รวมถึงเพื่อนๆ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีมาตลอด

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณผู้ปกครองและครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ และคอยเป็นกำลังใจมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งสำหรับทุกความช่วยเหลือ และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นายกฤษฎ์ชนม์ กองจำปา

นายนราวิชญ์ บัณฑิตเวชกร

นางสาวศุภากร มหายศนันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดหวังจะได้รับ	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล	4
2.1.1 ซิกบี	4
2.1.2 เอ็กซ์บี	5
2.2 เซนเซอร์	7
2.2.1 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว	7
2.2.2 ตัวต้านทานไวแสง	9
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.4 หลอดไดโอดเปล่งแสง	12
2.5 ลำโพง	12
2.6 วงจรลดทอนแรงดัน	12
2.7 เซลล์แสงอาทิตย์	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร	21
3.1 โครงสร้างการทำงานของไฟถนนอัจริยะ	21
3.2 วงจรควบคุม (Control Circuit)	22
3.3 การทำงานของโปรแกรมในการประมวลผล	24
3.4 การเชื่อมต่อ XBee	31
3.5 การออกแบบโมเดล	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม DIALux	37
4.2 ผลการจำลองด้วยโมเดลจำลอง	39
4.2.1 ผลการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWork และพิมพ์ด้วย 3D Printer	39
4.2.2 ผลการทำงานของวงจรไฟถนนอัจฉริยะ	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 XBee Series 2	5
2.2 Star Network	5
2.3 Cluster Tree Network	6
2.4 Mesh Network	6
2.5 หลักการทำงานของ PIR Sensor	7
2.6 การตรวจจับคลื่นของอัลตราโซนิกเซนเซอร์	8
2.7 LDR และโครงสร้างของ LDR	9
2.8 การทำงานของ LDR	10
2.9 โครงสร้างภายนอกของ Microcontroller Arduino Uno R3	10
2.10 ตำแหน่งของขาบน ATMEGA328	10
2.11 หลอดไดโอดเปล่งแสง	11
2.12 ลำโพง	11
2.13 วงจรลดทอนแรงดัน	13
2.14 วงรลดทอนแรงดันเมื่อสถานะสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อวงจร	13
2.15 วงรลดทอนแรงดันเมื่อสถานะสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ตัดวงจร	14
2.16 กราฟแสดงรูปแบบของคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรลดทอนแรงดัน	15
2.17 รูปสัญญาณกระแสและแรงดันของวงจรลดทอนแรงดันไฟฟ้า	17
2.18 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.19 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	20

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของไฟถนนอัจฉริยะ	21
3.2 การทำงานของวงจรควบคุมระดับความเข้มแสง	22
3.3 การทำงานของวงจรควบคุมการส่งสัญญาณ	23
3.4 ฟังก์ชัน Void Setup	24
3.5 ฟังก์ชัน Void Loop และฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบกรณีฉุกเฉิน (Emergency Case)	25
3.6 ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของแสงภายนอก	26
3.7 ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระยะห่างของวัตถุ	27
3.8 ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของแสงภายนอก ในส่วนของ Else	28
3.9 ฟังก์ชัน Void Setup	29
3.10 ฟังก์ชัน If-else เพื่อปรับค่าสัญญาณเสียง	30
3.11 การต่อวงจรการควบคุม	31
3.12 แผนภาพการเชื่อมต่อ XBee แบบไม่ผ่านบอร์ด Arduino	31
3.13 การเชื่อมต่อ Coordinator เข้ากับ PC	32
3.14 ข้อมูลรับส่งระหว่าง XBee	32
3.15 แผนภาพการเชื่อมต่อ XBee ผ่านบอร์ด Arduino	33
3.16 โค้ดโปรแกรม Arduino ของ XBee	33
3.17 ประกาศตัวแปร	34
3.18 ฟังก์ชัน setup()	34
3.19 ฟังก์ชัน loop()	34
3.20 ข้อมูลที่รับส่งผ่านบอร์ Arduino	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 โมเดลส่วนฐานที่นำไปแปลงไฟล์	35
3.22 โมเดลส่วนเสาไฟที่นำไปแปลงไฟล์	36
3.23 โมเดลส่วนโคมไฟที่นำไปแปลงไฟล์	36
4.1 Throne Lighting 96263828 DYANA LED	37
4.2 การกระจายของแสงของหลอดไฟ Dyana, Urba, R2L2 ตามลำดับ	38
4.3 ผลการจำลองไฟถนนด้วยหลอดไฟ Throne Lighting 96263828 DYANA LED	38
4.4 ฐานเสาไฟ	39
4.5 เสาไฟ	40
4.6 โคมไฟ	40
4.7 เสาไฟฟ้าจากการประกอบชิ้นส่วนทั้ง 3 ชิ้น	40
4.8 ไฟสีขาวติดในเวลากลางคืน เมื่อมีวัตถุผ่านระยะตรวจจับ	41
4.9 ไฟไซเรนสีน้ำเงิน-แดง ติดตลอดเวลาเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน	41
4.10 โมเดลแบบจำลองเมืองไฟถนนอัจฉริยะ	42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงงานระหว่างเดือนสิงหาคม 2560 ถึงเดือนเมษายน 2561	3
2.1 เปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายแบบต่างๆ	4
4.1 เปรียบเทียบหลอดไฟ LED แบบต่างๆ	35
4.2 เปรียบเทียบอัตราการคืนทุน	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

แสงสว่างมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวัน ดังนั้นแสงสว่างที่พอเหมาะต่อคนก็สำคัญเช่นกัน ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายแบบ ในที่นี้คือ แสงสว่างบนท้องถนน ซึ่งต้องมีความสว่างที่เหมาะสมต่อผู้ขับขี่ และสภาพแวดล้อมโดยรอบ

ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบและสร้างแบบจำลองไฟถนนอัจฉริยะ ซึ่งได้นำมาประยุกต์ให้ไฟถนน มีฟังก์ชันการทำงานมากขึ้น นอกเหนือจากการให้ความสว่างเพียงอย่างเดียว อาทิเช่น การทำงานโดยอัตโนมัติ การสร้างเครือข่ายระหว่างไฟถนนแต่ละดวง และการส่งข้อมูลให้ส่วนกลางได้จากระยะไกล ระบบไฟฉุกเฉิน การใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งลดปริมาณของการใช้ไฟฟ้า เพื่อนำไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในขณะที่ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ลดลง สามารถประหยัดพลังงาน ลดอาชญากรรม ลดสภาวะโลกร้อน รองรับเหตุการณ์ฉุกเฉินได้ ซึ่งระบบไฟฟ้าอัจฉริยะเป็นสิ่งที่ตอบโจทย์ปัญหาเหล่านี้ได้ในบางประเทศได้มีการนำระบบนี้มาใช้แล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อจำลองระบบไฟถนนอัจฉริยะซึ่งอาจจะมีการพัฒนาในอนาคต

2. เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน และการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) สำหรับโคมไฟถนน เพื่อเกิดความประหยัดพลังงาน

3. เพื่อเป็นแนวทางต่อผู้สนใจและศึกษาการออกแบบ ระบบไฟฟ้าอนุรักษ์พลังงาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สามารถเปิด/ปิด ระบบไฟฟ้าตามแสงสว่างสภาพแวดล้อม
2. สามารถเปิด/ปิด ระบบไฟฟ้าตามการเคลื่อนไหวของวัตถุ
3. สามารถใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ มาเป็นแหล่งพลังงานหลักให้ระบบ
4. สามารถสร้างเครือข่ายของระบบโคมไฟโดยใช้ ZigBee

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาวงจรของระบบไฟฟ้าและทดลองให้หลอดไฟ เปิด/ปิด อัตโนมัติได้

2. ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์แสง LDR เพื่อวัดความเข้มของแสง บริเวณรอบๆ และนำมาคำนวณแล้วจะส่งผลให้โคมไฟทำงาน/ดับ

3. ศึกษาระบบ Motion Sensors ที่จะตรวจจับความเคลื่อนไหวของสิ่งรอบข้าง แล้วสามารถส่งผลให้หลอดไฟติดขึ้นมา

4. ศึกษาระบบการทำงานของ Solar Cell ที่จะเป็นแหล่งพลังงานหลักของวงจร

5. ศึกษาการสั่งการระยะไกลแบบไร้สาย ZigBee ซึ่งจะเป็นการสื่อสารระหว่างเสา และการเก็บค่าระยะไกล

1.5 ประโยชน์ที่คาดหวังจะได้รับ

1. โครงงานนี้เป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาระบบไฟถนนในอนาคต
2. สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนและการประหยัดพลังงาน
3. ลดปัญหาต่างๆ เช่น อาชญากรรม อุบัติเหตุ เป็นต้น

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงงานระหว่างเดือนสิงหาคม 2560 ถึงเดือนเมษายน 2561

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560					2561			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. กำหนดหัวข้อในการทำงาน									
2. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง									
3. ออกแบบระบบส่วนประกอบ									
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรม									
5. ทดลองใช้งานพื้นฐาน									
6. ทดลองการผนวกระบบเบื้องต้น									
7. ออกแบบโมเดลจำลอง									
8. ประกอบโมเดลทั้งระบบ									
9. ทดสอบระบบทั้งหมด									
10. ตรวจสอบและแก้ไขปัญหา									
11. สรุปผลการดำเนินงาน									

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wire Personal Area Network : WPAN)

เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล หรือ WPAN เป็นเครือข่ายไร้สายส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณ มีราคาถูกและใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ นำไปใช้งานเพื่อทดแทนเทคโนโลยีสายเคเบิล เพื่อสร้างข้อมูลที่เหมือนกันเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ

2.1.1 ซิกบี (ZigBee)

Zigbee จัดอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีจุดเด่นกว่าเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่นๆ กล่าวคือ ราคาต่ำ ใช้พลังงานน้อย จึงสามารถติดตั้งไว้ได้นาน และสามารถสร้างเครือข่ายได้ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานด้านเซนเซอร์ไร้สาย ตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ และตรวจสอบสภาพแวดล้อม ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายแบบต่างๆ

Standard	Zigbee® 802.15.4	Wi-Fi™ 802.11b	Bluetooth™ 802.15.1
Transmission Range (meters)	1-100	1-100	1-10
Battery Life(days)	100-1,000	0.5-5.0	1.7
Network Size (# of node)	>64,000	32	7
Application	Monitoring & Control	Web, Email, Video	Cable Replacement

จากตารางที่ 2.1 พบว่าเทคโนโลยีไร้สายแต่ละแบบนั้นจะมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยซิกบี (ZigBee) จะมีความโดดเด่นในเรื่องของการส่งสัญญาณระยะไกลและอายุการใช้งานยาวนาน

2.1.2 เอ็กซ์บี (XBee)

XBee เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย และสร้างเครือข่ายโดยใช้มาตรฐานแบบ ZigBee ภายใน XBee มีไมโครคอนโทรลเลอร์ และ RF IC ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (Transceiver) ย่านความถี่ 2.4 GHz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย

XBee มีอยู่ 2 แบบคือ แบบธรรมดา (1-2 mW) มีระยะส่งสัญญาณ 100-120 เมตร และแบบ PRO (50-60 mW) จะมีระยะประมาณ 1500 เมตร อีกทั้งยังควรใช้ในรุ่น Series 2 เนื่องจากสามารถทำเครือข่ายแบบ Mesh ได้ด้วย ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 XBee Series 2

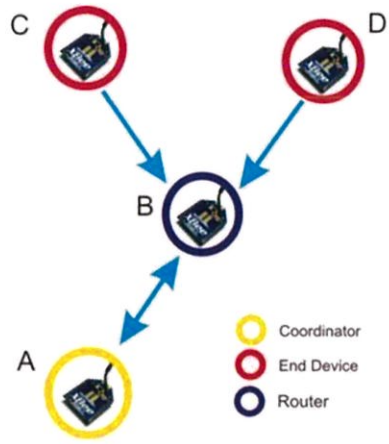
2.1.3 แบบโครงข่ายของเอ็กซ์บี (XBee Topology)

การสร้างโครงข่ายไร้สายของซิกบีจะต้องประกอบด้วยโหนดจำนวนอย่างน้อยที่สุด 2 ตัว คือ Coordinator Node และ Node ลูกข่ายชนิดใดชนิดหนึ่ง (Router/End Device) จึงจะสามารถสื่อสารทำงานในรูปแบบ PAN (Personal Area Network) โดยจะแบ่ง 3 รูปแบบ ดังนี้

1. Star Network เป็นการรับส่งแบบไม่เฉพาะเจาะจงจุดหมายปลายทาง หรือ XBee ทุกตัวที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกันสามารถรับข้อมูลได้ ดังรูปที่ 2.2

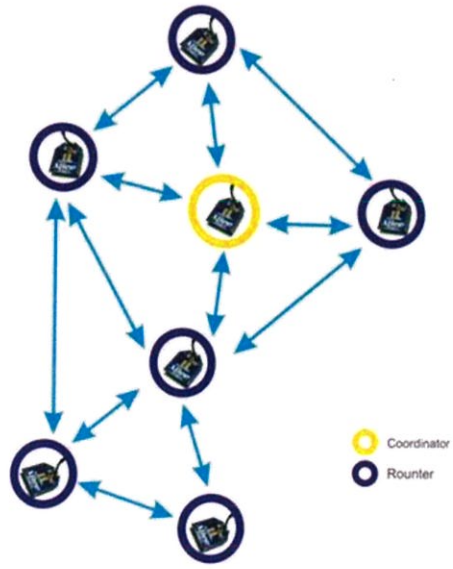
รูปที่ 2.2 Star Network

2. Cluster Tree Network เป็นการรับส่งข้อมูลแบบส่งผ่าน เช่น A ต้องการติดต่อกับ C แต่ C อยู่ไกลจาก A จนไม่สามารถติดต่อถึง A ได้ แต่พอดีมี B อยู่ระหว่าง A กับ C Cluster Tree จึงใช้ B เสมือนเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่าง A กับ C ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Cluster Tree Network

3. Mesh Network เป็นเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายเส้นทาง ทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังเป้าหมายปลายทางได้ ถึงแม้จะเกิดความเสียหายบางส่วนก็ตาม จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมมาก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Mesh Network

2.2 เซนเซอร์ (Sensor)

เซนเซอร์ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับ รับความรู้สึกตัวแปรกายภาพตัวใดตัวหนึ่งแล้วเปลี่ยนค่าทางด้านเอาต์พุตให้เป็นตัวแปรทางกายภาพตัวอื่น

2.2.1 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Sensor)

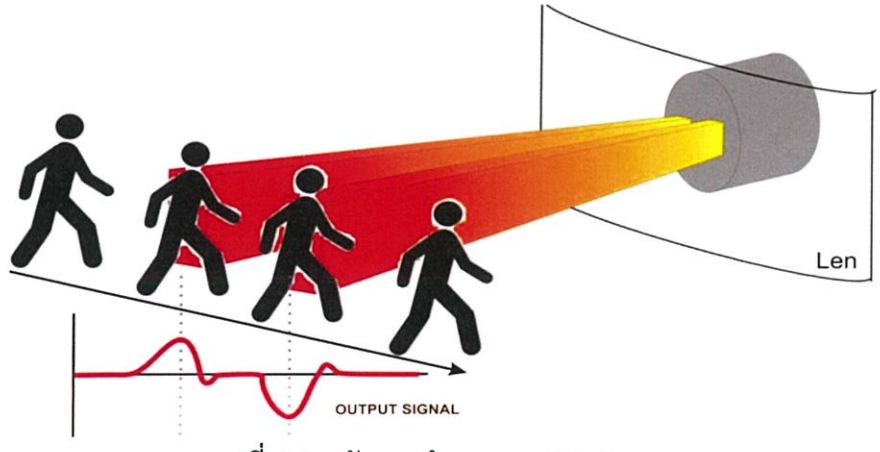
เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว เป็นอุปกรณ์ที่แปลงการตรวจจับความเคลื่อนไหวเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวมี 3 ประเภทคือ

1. Passive Infrared Sensors (PIR) เป็นเซนเซอร์ที่รับความร้อนจากร่างกายเมื่อเคลื่อนที่ ไม่มีการปล่อยพลังงานออกมาจากเซนเซอร์
2. Ultrasonic เป็นเซนเซอร์ที่มีการปล่อยคลื่นอัลตร้าโซนิกออกมา และตรวจวัดการสะท้อนของคลื่นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่
3. Microwave เป็นเซนเซอร์ที่มีการปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมา และตรวจวัดการสะท้อนของคลื่นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่

ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวประเภท Ultrasonic Sensor

2.2.1.1 Passive Infrared Sensors (PIR Sensor)

เป็นอุปกรณ์ที่ตรวจจับความเคลื่อนไหวด้วยการตรวจวัดความร้อนในพื้นที่ที่ต้องการ ความร้อนวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับรังสีอินฟราเรดที่ปล่อยออกมาจากวัตถุ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ (สิ่งมีชีวิตทุกชนิด จะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาจากตัวเอง การแผ่รังสีดังกล่าวเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอม ปริมาณรังสีจะมีมากน้อยตามแต่โครงสร้างทางเคมี และอุณหภูมิของวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตนั้นๆ) จึงทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณลอจิกที่เปลี่ยนแปลงที่ขาเอาต์พุตได้ ดังรูปที่ 2.5



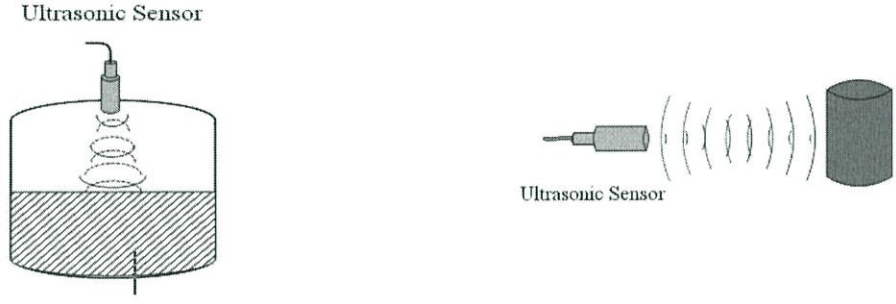
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของ PIR Sensor

ส่วนประกอบที่สำคัญของ PIR Sensor

1. เลนส์ - สำหรับควบคุมหรือโฟกัสพื้นที่ในการตรวจจับความเคลื่อนไหว
2. เซนเซอร์ - เป็นตัวแปลงพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรด มาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

2.2.1.2 อัลตราโซนิกเซนเซอร์ (Ultrasonic Sensor)

เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ต (kHz) ซึ่งเป็นคลื่นในย่านที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียง เซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกทำงานโดยอาศัยการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงไปกระทบกับพื้นผิวของตัวกลาง ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลว บางส่วนของคลื่นเสียงจะแทรกผ่านเข้าไปในตัวกลางนั้น และส่วนใหญ่ของคลื่นความถี่สูงนี้จะสะท้อนกลับเรียกว่า "Echo" โดยช่วงเวลาของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ ดังรูปที่ 2.6



(ก) ตรวจจับระดับความสูงของของเหลว (ข) ตรวจจับระยะห่างของวัตถุ

รูปที่ 2.6 การตรวจจับคลื่นของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

โดยทั่วไปนิยมใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์สำหรับการวัดระยะทาง (Distance Measurement) ของวัตถุหรือการวัดระดับ (Level Measurement) ของเหลว สามารถใช้งานกับวัตถุทั้งชนิดโลหะและอโลหะทุกเฉดสี โปร่งใส โปร่งแสงหรือทึบแสง ตรวจจับวัตถุได้หลายขนาด ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีคุณสมบัติการยืดหยุ่นหรือคุณสมบัติการดูดซับเสียง เช่น ผ้า ฝุ่นผง โฟมหรือฟองน้ำ ซึ่งจะดูดซับคลื่นเสียงไม่ให้สะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ และเนื่องจากลักษณะการสะท้อนกลับของเสียงขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบที่ทำให้เสียงกระจายไปในทิศทางต่างๆ จึงไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะเป็นก้อนๆ ไม่สม่ำเสมอ ผลที่ได้จากการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้กับวัตถุลักษณะนี้จะมีความเที่ยงตรง (Precision) ต่ำ สำหรับวัตถุที่มีผิวเรียบคลื่นเสียงที่มาตกกระทบส่วนใหญ่จะสะท้อนออกจากพื้นผิวนั้นอย่างมีระเบียบ ค่าความเที่ยงตรงที่ได้จากการวัดจะมีค่าสูงมากกว่า โดยตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุ จะให้ประสิทธิภาพในการสะท้อนคลื่นกลับมายังตัวรับมากที่สุด

ในสภาวะแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองหรือมีไอน้ำในอากาศ เสียงอาจถูกดูดซึมไปบ้างและสูญเสียพลังงานไปในรูปของพลังงานความร้อน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ชนิดแสง (Optical Sensor/Photo Sensor) เซนเซอร์ชนิดนี้ได้รับผลกระทบจากละอองไอน้ำที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัตถุ พบว่าวัตถุที่มีอุณหภูมิ (Temperature) สูงจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของการวัดขึ้น โดยทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง ผลที่ได้จะไม่แน่นอน เนื่องจากเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีความเร็วสูงกว่าเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

การติดตั้งเซนเซอร์ชนิดใช้เสียงตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ต้องระวังการสอดแทรกหรือการกวนกันของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัว โดยระยะห่างระหว่างตัวเซนเซอร์พิจารณาจากรัศมีของการแผ่กระจายคลื่นความถี่ที่ส่งออกไป และในการติดตั้งเซนเซอร์ต้องระวังมุมอับที่สัญญาณเสียงไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ หรือเรียกว่า บริเวณ "Blind Zone หรือ Dead Zone"

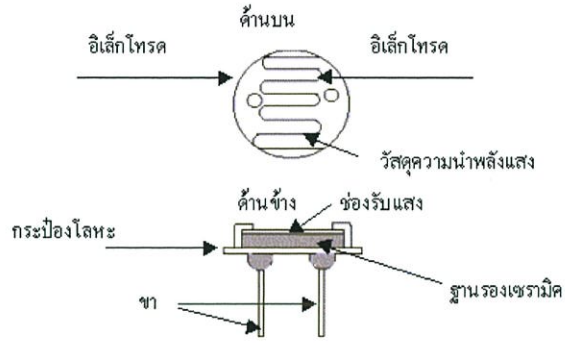
2.2.2 ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor)

ตัวต้านทานไวแสง ตัวต้านทานชนิดนี้สามารถเปลี่ยนความนำไฟฟ้าได้ เมื่อมีแสงมาตกกระทบโฟโตรีซีสเตอร์ (Photo Resistor) หรือโฟโตคอนดัคเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมี่ยมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมี่ยมซิลินายส์ (CdSe : Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 LDR และโครงสร้างของ LDR

2.2.2.1 การทำงานของ LDR

เมื่อเวลามีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเองยิ่ง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น ดังนั้นเมื่อ LDR ถูกแสงตกประทบจะทำให้ตัว LDR มีความต้านทานลดลง และเมื่อไม่มีแสงตกประทบจะมีความต้านทานมากขึ้น LDR มักถูกนำมาใช้ในวงจร Switch ทางแสงปิด-เปิดไฟด้วยแสง วัดความเข้มแสง ฯลฯ ดังรูปที่ 2.8

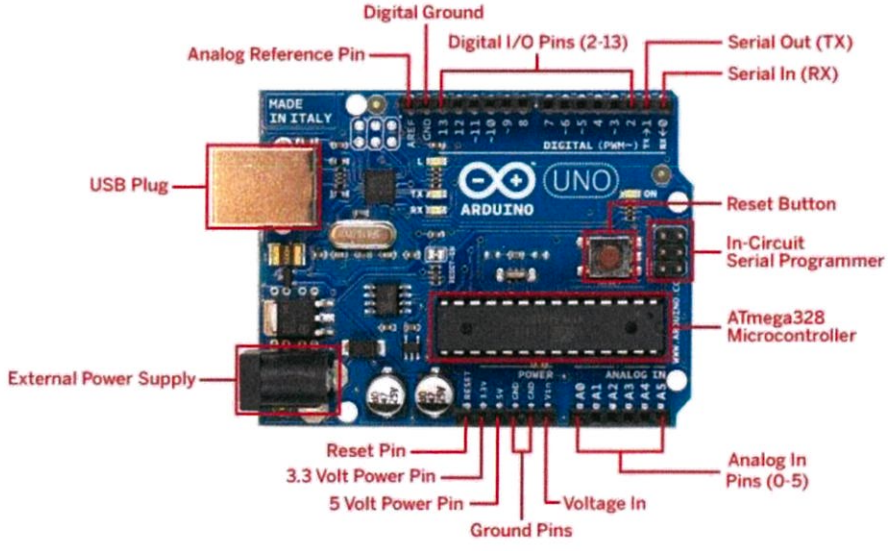


รูปที่ 2.8 การทำงานของ LDR

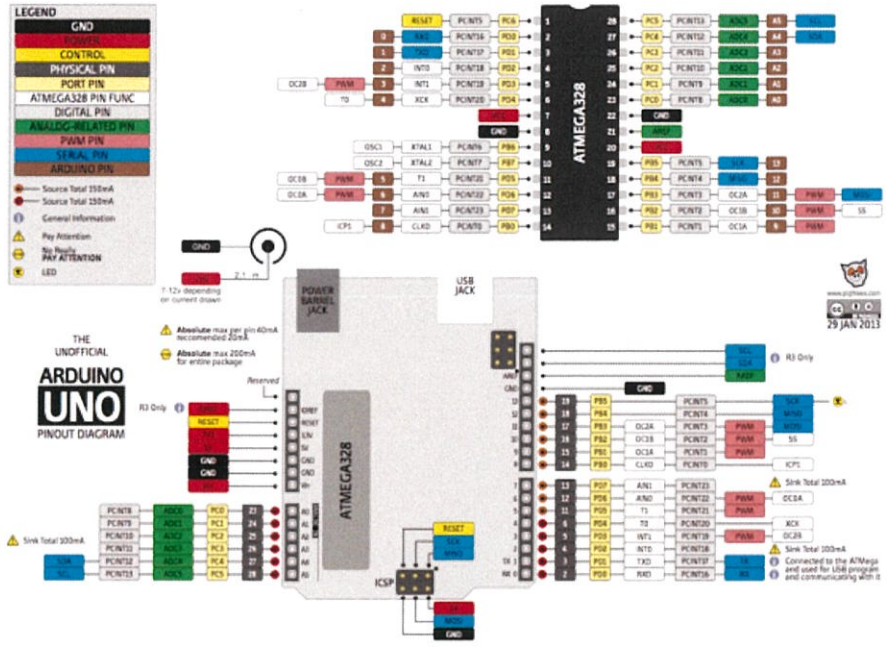
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

2.3.1 คุณสมบัติและการต่อใช้งาน Microcontroller Arduino Uno R3

Microcontroller Arduino Uno R3 เป็น Microcontroller Board ที่ใช้ ATmega328 เป็น MCU หลักที่รวบรวมอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานของ CPU ไว้มากมาย อาทิเช่น Analog to Digital, SPI, UART, Timer, Counter และ PWM ซึ่งอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานเหล่านี้ทำให้ MCU สามารถทำงานได้กว้างขวาง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีขา Digital 14 ขา อินพุต/เอาต์พุต และมีขา Analog อินพุตได้อีก 6 ขา, Run ที่ความถี่ 16 MHz มี USB Connector และ Power Jack DC ดังรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายนอกของ Microcontroller Arduino Uno R3



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งของขาบน ATMEGA328

2.3.1.1 ฟังก์ชัน ADC

โดยปกติใน CPU ของ AVR-ATMEGA32 นั้น จะมีฟังก์ชัน ADC อยู่ภายในตัวไอซี สำหรับฟังก์ชัน ADC นี้สามารถรับสัญญาณอนาล็อคได้สูงสุด 8 Channel โดยรับสัญญาณเข้ามาทางพอร์ท A ซึ่งสามารถเลือกฟังก์ชันนี้ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อคทีละ Channel อย่างต่อเนื่อง หรือจะให้ทำการแปลงสัญญาณเฉพาะ Channel ที่ต้องการได้เช่นกัน โดยสัญญาณดิจิตอลที่แปลงได้จะมีความละเอียด 10 บิต โดยการรับสัญญาณแต่ละขาของพอร์ท A

2.3.1.2 ฟังก์ชัน PMW

เนื่องจากว่า PMW เป็นฟังก์ชันการทำงานหนึ่งในโหมด PMW ของ Timer/Counter ที่อยู่ภายใน AVR-ATMEGA32 ดังนั้นจึงเกี่ยวข้องกับการทำงานของ Timer/Counter ของ AVR-ATMEGA32

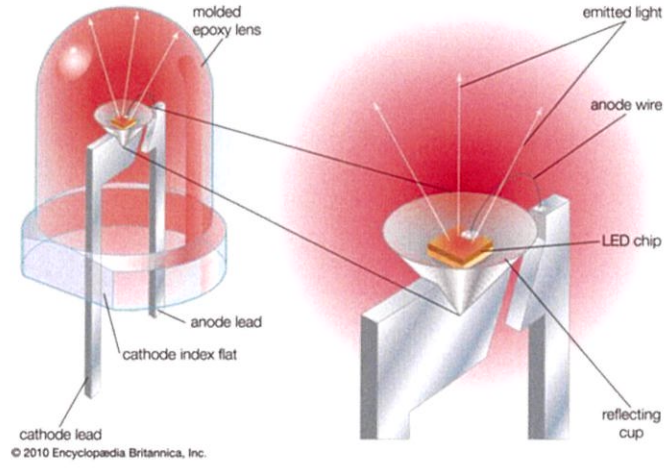
2.3.1.3 ฟังก์ชัน PMW

ภายใน AVR-ATMEGA32 จัดให้มี Timer/Counter 3 ชุด โดยจัดเป็น Timer/Counter ขนาด 8 บิต 2 ชุด และ Timer/Counter ขนาด 16 บิต 1 ชุด ได้แก่ Timer/Counter2, Timer/Counter0 และ Timer/Counter1 ตามลำดับ ซึ่ง Timer/Counter2 สามารถรับสัญญาณ Clock จากภายนอก ซึ่งเป็น Option ที่จะแนะนำ Timer/Counter2 มาเป็นฐานเวลา

Timer/Counter0 และ Timer/Counter1 ใช้วงจร Prescaling ขนาด 10 บิตร่วมกัน ส่วน Timer/Counter2 ใช้วงจร Prescaling ต่างหาก

2.4 หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode)

แสงที่เปล่งออกมาจะประกอบด้วยคลื่นความถี่เฟสเดียวและเฟสต่อเนื่องกัน โดยหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถเปล่งแสงได้ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ประสิทธิภาพของแสงที่เปล่งออกมาสามารถให้ความสว่างสูง จึงมีข้อดีในเรื่องของความประหยัดไฟ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หลอดไดโอดเปล่งแสง

2.5 ลำโพง (Buzzer)

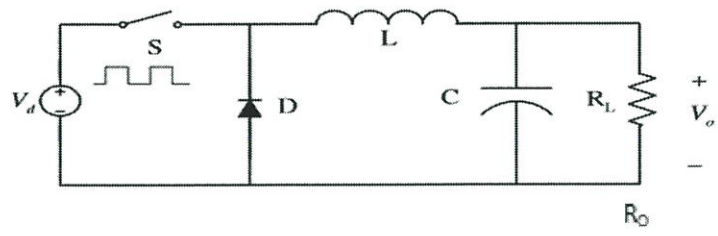
ลำโพงแบบแม่เหล็กหรือแบบเปียโซที่มีวงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) อยู่ภายในตัวใช้ไฟเลี้ยง 3.3 - 5V สามารถสร้างเสียงเตือนหรือส่งสัญญาณที่เป็นรูปแบบต่างๆ ดังรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 ลำโพง

2.6 วงจรลดทอนแรงดัน (Buck Converter)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ปรับลดแรงดัน (Step Down Converter) โดยจะทำให้แรงดันด้านขาออกของวงจร (Output Voltage) ให้มีค่าต่ำกว่าแรงดันด้านขาเข้า (Input Voltage) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาต่ำลงเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยจะมีสวิตช์ที่ควบคุมการทำงานของวงจร ซึ่งชนิดของสวิตช์ จะ

นิยมใช้ MOSFET, BJT เป็นต้น และนอกจากนี้มีวงจรกรองความถี่โดยผ่านวงจร LC ซึ่งจะได้ความถี่ที่ต่ำ ดังรูปที่ 2.13



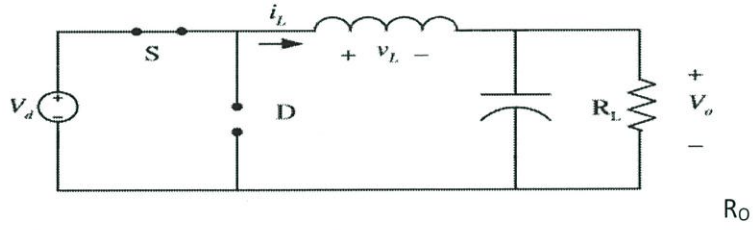
รูปที่ 2.13 วงจรลดทอนแรงดัน

หลักการทำงานของสวิตช์

การควบคุมการทำงานจะถูกควบคุมโดยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งมีช่วงการทำงานอยู่ในสองสถานะสลับกันคือ สวิตช์ที่อยู่ในสถานะต่อวงจร และสวิตช์ที่อยู่ในสถานะตัดวงจร

2.4.1 สถานะสวิตช์ต่อวงจร

เมื่อสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ในสถานะต่อวงจร ในช่วงเวลาที่มีค่าเวลาอยู่ระหว่าง t = 0 ถึง t = t_{on} เขียนแทนด้วยวงจร ดังรูปที่ 2.14 และไดโอด D จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร เนื่องจากได้รับกระแสไบแอส จนกว่าสวิตช์จะกลับไปอยู่ในช่วงตัดวงจรอีกครั้ง



รูปที่ 2.14 วงรลดทอนแรงดันเมื่อสถานะสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ต่อวงจร

ในสถานะที่สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ต่อวงจรกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจาก i_s ซึ่งจะเพิ่มตามตัวเหนี่ยวนำ L ตัวเก็บประจุ C และโหลดซึ่งนำมาเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_D = V_S$$

$$V_L + V_O = V_S$$

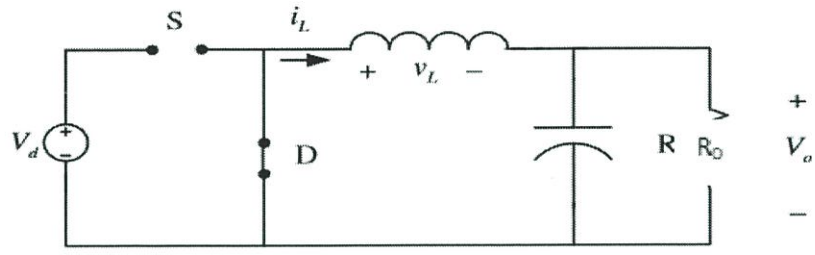
$$L\frac{dI_L}{dt} + V_O = V_S$$

เมื่อ dI_L คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในช่วงสวิตช์ต่อวงจร $(\Delta I_L)_{closed}$ และ dt คือ การเปลี่ยนแปลงของเวลา มีค่าเท่ากับ DT ดังนั้นจะสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$(\Delta I_L)_{closed} = \frac{(V_S - V_O)}{L} DT$$

2.4.2 สถานะสวิตซ์ตัดวงจร

เมื่อสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ในสถานะตัดวงจร ในช่วงเวลาที่มีค่าเวลาอยู่ระหว่าง t > DT ถึง t = T เขียนแทนด้วยวงจร ดังรูปที่ 2.15 และไดโอด D จะอยู่ในสถานะปิดวงจร



รูปที่ 2.15 วงรลดทอนแรงดันเมื่อสถานะสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ตัดวงจร

เมื่อสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ตัดวงจร จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในรูปแบบเชิงเส้น จาก I_{max} ไป I_{min} ซึ่งพลังงานมาจากพลังงานที่สะสมไว้ในช่วงสถานะต่อวงจรจะถูกส่งไปยังภาระ R_O โดยกระแสที่ได้จะกลับขั้วทางไฟฟ้ากับสถานะต่อวงจร สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_D = 0$$

$$V_L + V_O = 0$$

$$L\frac{dI_L}{dt} = -V_O$$

เมื่อ dI_L คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในช่วงสวิตซ์ตัดวงจร $(\Delta I_L)_{opened}$ และ dt คือ การเปลี่ยนแปลงของเวลามีค่าเท่ากับ (1-D)T ดังนั้นจะสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$(\Delta I_L)_{opened} = -\frac{V_O}{L}(1-D)T$$

เมื่อวงจรเข้าสู่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ (I_L) จะมีค่าเป็นศูนย์

$$(\Delta I_L)_{closed} + (\Delta I_L)_{opened} = 0$$

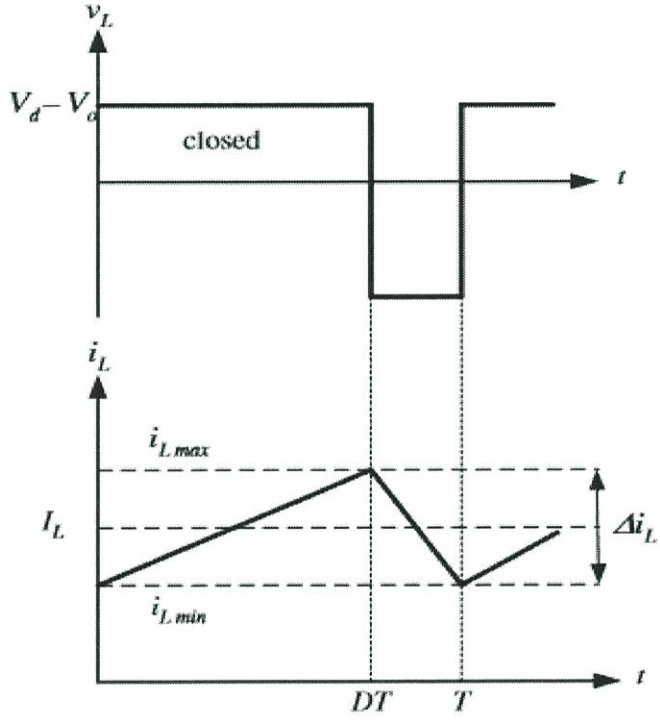
จะได้

$$\frac{(V_S - V_O)}{L} DT - \frac{V_O}{L} (1 - D)T = 0$$

$$\therefore V_O = D V_S$$

จากสมการ จะเห็นได้ว่า ค่าวัฏจักรการทำงาน (Duty Cycle : D) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านขาออก (V_O) สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับแรงดันฝั่งด้านขาเข้า (V_S) และสามารถหาอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้ ดังรูปที่ 2.16

$$\frac{V_O}{V_S} = D$$



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงรูปแบบของคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรลดทอนแรงดัน

2.4.3 การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ L

เมื่อวงจรมีค่าความเหนี่ยวนำ L และการเก็บประจุของ C เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงกระแสที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (I_C) จะเท่ากับศูนย์ และกระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (I_L) เท่ากับกระแสด้านขาออก (I_O) จะเขียนสมการกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

$$I_O = I_L$$

$$I_O = \frac{V_O}{R_O}$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแส ซึ่งจะได้ค่ากระแสสูงสุดและกระแสต่ำสุดที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ได้ดังนี้

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำสูงสุด

$$I_{L\,max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2}$$

$$I_{L\,max} = \frac{V_O}{R_O} + \frac{1}{2}\left[\frac{V_O}{L}(1-D)T_S\right]$$

$$I_{L\,max} = \left[\frac{1}{R_O} + \frac{(1-D)}{2Lf_S}\right]$$

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด

$$I_{L\,min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2}$$

$$I_{L\,min} = \frac{V_O}{R_O} - \frac{1}{2}\left[\frac{V_O}{L}(1-D)T_S\right]$$

$$I_{L\,min} = V_O\left[\frac{1}{R_O} - \frac{(1-D)}{2Lf_S}\right]$$

เมื่อกำหนดให้ $I_{L\,min}$ เท่ากับศูนย์ ดังนั้นสามารถหาค่าขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่ต่ำที่สุดได้จากสมการต่อไปนี้

$$L_{min} = \frac{(1-D)R_O}{2f_S}$$

2.4.4 การกระเพื่อมของแรงดันด้านขาออก (Ripple Voltage)

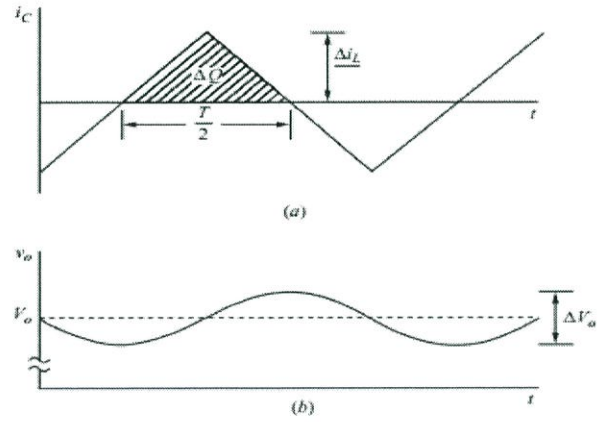
การกระเพื่อมของแรงดันฝั่งขาออกหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และกระแสที่ตัวเก็บประจุ C_O ซึ่งการอัดประจุจะเกิดก็ต่อเมื่อกระแสที่เข้าตัวเก็บประจุเป็นบวก ($I_{C\,O}$) ดังสมการ

$$I_{C\,O} = I_L - I$$

จากนิยามของตัวเก็บประจุ

$$Q = CV_{\circ}$$

$$\Delta V_{\circ} = \frac{\Delta Q}{C}$$



รูปที่ 2.17 รูปสัญญาณกระแสและแรงดันของวงจรลดทอนแรงดันไฟฟ้า

หาค่า ΔQ จากพื้นที่ใต้กราฟที่แรเงา ดังรูปที่ 2.17 จะได้สมการ

$$\Delta Q = \frac{1}{2}\left(\frac{T_S}{2}\right)\left(\frac{\Delta I_L}{2}\right)$$

$$\Delta Q = \frac{T_S \Delta I_L}{8}$$

$$\Delta V_{\circ} = \frac{T_S \Delta I_L}{8C}$$

แทนค่า ΔI_L ในสมการ จะได้

$$\Delta V_{\circ} = \frac{T_S}{8C} \times \frac{V_{\circ}}{L} (1 - D) T_S$$

$$\Delta V_{\circ} = \frac{(1 - D) V_{\circ}}{8CLf_S^{\,2}}$$

2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเลคทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้น เพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์

และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

2.7.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นคือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนากระบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7% ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

2.7.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

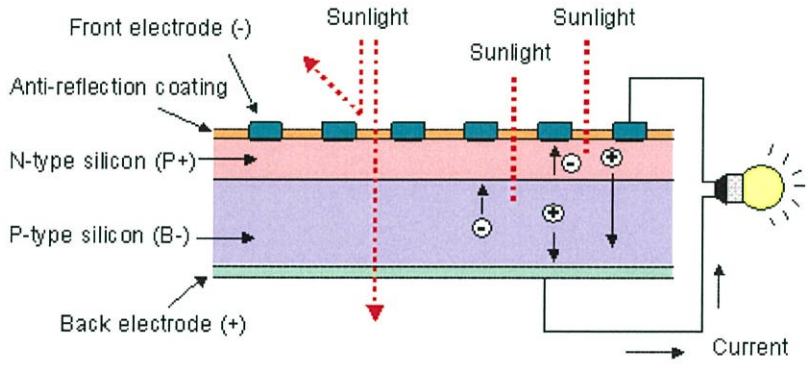
1. ความเข้มของแสงกระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก

2. อุณหภูมิกระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้

แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.7.3 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ ดังรูปที่ 2.18



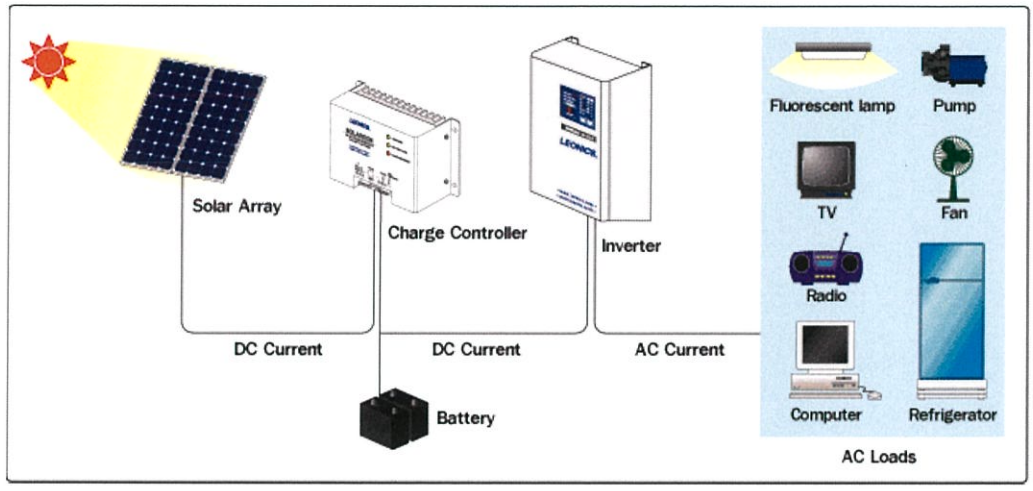
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

1. n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์

2. p-type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p-n Junction จึงทำให้เกิดเป็น "เซลล์แสงอาทิตย์" ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2.7.4 ระบบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น ดังรูปที่ 2.19



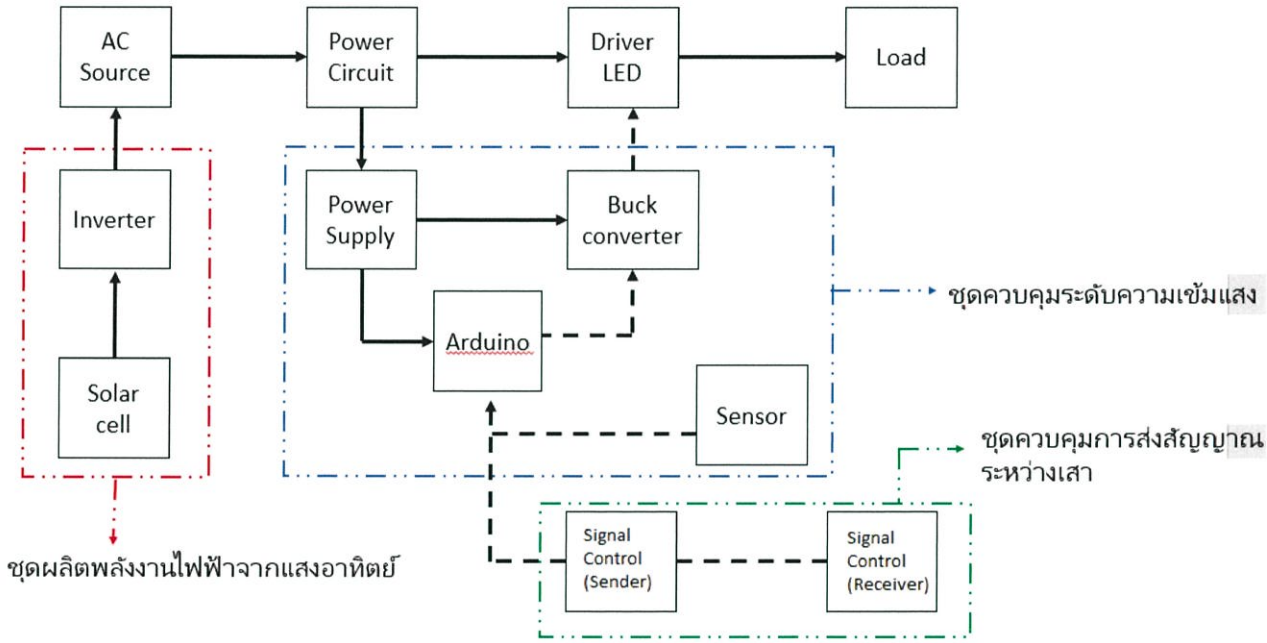
รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจร

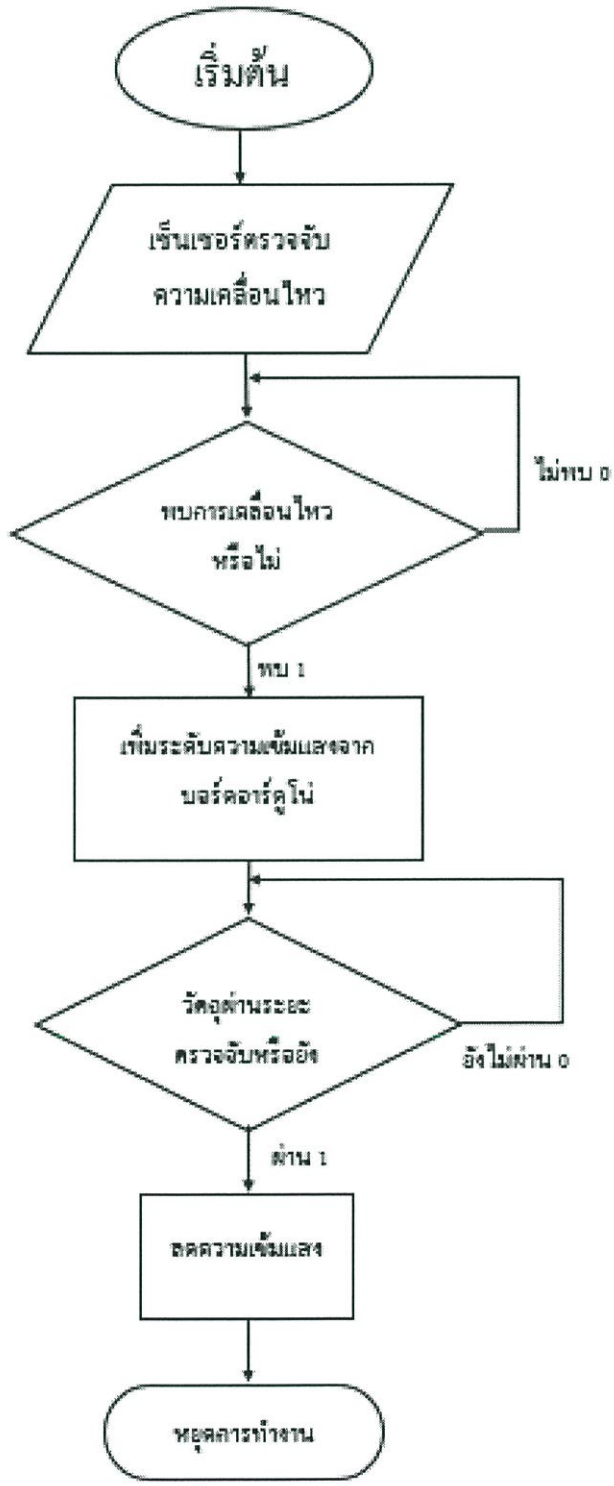
การออกแบบไฟถนนอัจฉริยะขั้นต้นได้ผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์นำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักให้กับวงจรควบคุม โดยวงจรควบคุมนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 วงจรคือ วงจรกำลัง (Power Circuit) ที่ใช้ในการเปิด-ปิด และวงจรควบคุม (Control Circuit) ซึ่งจะแบ่งการควบคุมย่อยออกเป็น 2 ชุดการควบคุม ได้แก่ ชุดควบคุมระดับความเข้มแสงและชุดควบคุมสัญญาณระหว่างเสาแต่ละต้น

3.1 โครงสร้างการทำงานของไฟถนนอัจฉริยะ ดังรูปที่ 3.1

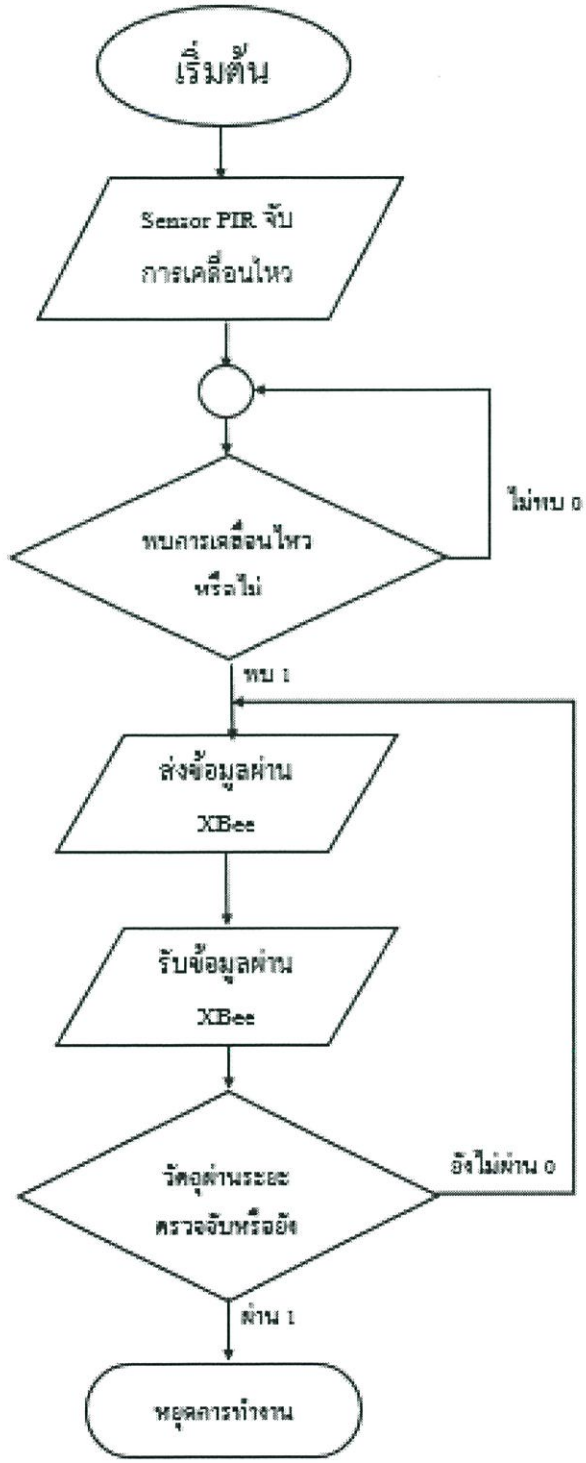


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของไฟถนนอัจฉริยะ

3.2 วงจรควบคุม (Control Circuit)



รูปที่ 3.2 การทำงานของวงจรควบคุมระดับความเข้มแสง



รูปที่ 3.3 การทำงานของวงจรควบคุมการส่งสัญญาณ

3.3 การทำงานของโปรแกรมในการประมวลผล

การทำงานของโปรแกรมในการประมวลผล โดยผ่านอาร์ดูโน่ (Arduino) เป็นตัวกลางในการประมวลผล และการแสดงสัญญาณไฟแบบต่างๆ และสัญญาณเสียง

3.3.1 การทำงานของเสาไฟ

เป็นการส่งสัญญาณแสง ซึ่งจะประกอบไปด้วย การตรวจสอบกรณีฉุกเฉิน การตรวจสอบระดับความเข้มแสง การตรวจสอบระยะห่างระหว่างเสาไฟกับวัตถุ มีการทำงานดังนี้

ฟังก์ชัน Void Setup

```
int EMERGENCY = A1; // รับค่ามาจาก Zigbee
unsigned int signalEMERGENCY = 0;
int sensorPin = A0;                // select the input pin for the ldr
unsigned int sensorValueLDR = 0;  // variable to store the value coming from the ldr
const int trigPinA = 9;
const int echoPinA = 10;

long durationA;
int distanceA;
unsigned int sensorValueULTRASONICA = 0;

void setup()
{
  pinMode(trigPinA, OUTPUT);
  pinMode(echoPinA, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);  //White
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);  //RED
  pinMode(3, OUTPUT);  //BLUE

  Serial.begin(9600);
}
```

รูปที่ 3.4 ฟังก์ชัน Void Setup

ฟังก์ชัน Void Loop และฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบกรณีฉุกเฉิน (Emergency Case)

เป็นฟังก์ชันคำสั่งการตรวจสอบการทำงานว่าเป็นกรณีฉุกเฉิน (Emergency Case) หรือไม่ ถ้าใช่จะเข้าสู่ Void Loop ต่อไปแสดงสัญญาณไฟฉุกเฉิน แต่ถ้าไม่จะเข้าสู่ Void Loop ถัดไป โดยฟังก์ชัน Else ดังรูปที่ 3.5

```
void loop()
{
 signalEMERGENCY = analogRead(EMERGENCY);
  if(EMERGENCY > 550) //ถ้าต้องการให้เป็น emergency case ใส่ +550
                      //ถ้าต้องการให้เป็น Normal case    ใส่ >550
  {
  void loop() ;
  {
   digitalWrite(13, HIGH);
   digitalWrite(12, HIGH);
   digitalWrite(2, HIGH);
   digitalWrite(3, LOW);// turn the LED on (HIGH is the voltage level)
   delay(200); // wait for a second
   digitalWrite(13, HIGH);
   digitalWrite(12, HIGH);
   digitalWrite(2, LOW);
   digitalWrite(3, HIGH);// turn the LED off by making the voltage LOW
   delay(200); // wait for a second
  }
}
```

รูปที่ 3.5 ฟังก์ชัน Void Loop และฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบกรณีฉุกเฉิน (Emergency Case)

ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของแสงภายนอก

เป็นการทำงานต่อจากฟังก์ชัน If-else ของการตรวจสอบกรณีฉุกเฉิน ในส่วนของ Else ซึ่งจะทำงานเมื่อไม่ใช่กรณีฉุกเฉิน จะเข้าสู่ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มแสงภายนอก โดยค่าของระดับความเข้มแสงที่วัดได้ หมายถึงระดับความมืดของแสงภายนอก ซึ่งถ้าค่าที่วัดได้ยิ่งมากแสดงว่าแสงภายนอกน้อย แต่ถ้าค่าที่วัดได้น้อยแสดงว่าแสงภายนอกมาก ซึ่งจะมีค่าระดับความเข้มแสงที่กำหนดการทำงานของฟังก์ชันนี้อยู่ที่ 750 ค่านี้สามารถปรับได้จากสภาพแวดล้อมโดยรอบของพื้นที่ติดตั้งการทำงานจริง ถ้าค่าที่วัดได้มากกว่าค่าที่กำหนดจะเข้าสู่ในส่วนของ If เพื่อวัดค่าระยะห่างระหว่างเสาไฟกับวัตถุ แต่ถ้าไม่จะเข้าสู่ในส่วนของ Else ดังรูปที่ 3.6

```
else
{

// read the value from the ldr:
sensorValueLDR = analogRead(sensorPin);
if(sensorValueLDR>750) // ระดับความเข้มแสงภายนอก

  {

    digitalWrite(trigPinA, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(trigPinA, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPinA, LOW);

    durationA = pulseIn(echoPinA, HIGH);
    distanceA = durationA * 0.034 / 2;
    Serial.print("Distance A: ");
    Serial.println(distanceA);
```

รูปที่ 3.6 ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของแสงภายนอก

ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระยะห่างระหว่างเสาไฟกับวัตถุ

เป็นการทำงานต่อจากฟังก์ชัน If-else ของการตรวจสอบกรณีฉุกเฉิน ในส่วนของ Else ซึ่งจะทำงานเมื่อไม่ใช่กรณีฉุกเฉิน จะเข้าสู่ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระยะห่างระหว่างเสาไฟกับวัตถุ ว่ามีวัตถุผ่านในระยะหรือไม่ โดยใช้อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) จะมี 2 ค่า ค่าแรกคือ ค่าที่วัดระยะห่างระหว่างเสาไฟกับวัตถุ ค่าสองคือ ค่าที่กำหนด ซึ่งจะกำหนดโดยระยะห่างของถนนรวมฟุตบาท ค่านี้จะถูกปรับตามสภาพของพื้นที่ติดตั้งจริง

ถ้าค่าที่วัดได้น้อยกว่า ค่าที่กำหนดแสดงว่ามีวัตถุผ่าน จะสั่งให้หลอดไฟของเสาไฟติดขึ้นมา แต่ถ้าค่าที่วัดได้มากกว่า ค่าที่กำหนดแสดงว่าวัตถุอยู่เกินระยะที่ต้องการใช้แสงไฟ จะสั่งให้หลอดไฟของเสาไฟไม่ติด ซึ่งจุดนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 3.7

```
sensorValueULTRASONICA = analogRead(distanceA);
if(distanceA<22) //ระยะทางที่ Ultrasonics ตรวจจับวัตถุ

    {
       digitalWrite(13, HIGH);   // set the LED on

      Serial.print("          ");
      Serial.println("High A");
       delay(1000);

    }
       else
    {
     digitalWrite(13, LOW);   // set the LED off from ULTRASONIC
    }
delay(10);
}
```

รูปที่ 3.7 ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระยะห่างของวัตถุ

ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของแสงภายนอก ในส่วนของ Else

เป็นการทำงานต่อจากฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของแสดงภายนอกในส่วนของ Else ซึ่งจะทำงานเมื่อค่าระดับความเข้มแสงที่วัดได้น้อยกว่าค่าระดับความเข้มแสง ที่กำหนดไว้ จะประมวลผลเป็นกลางวัน ซึ่งมีระดับความเข้มแสงเพียงพอ จึงไม่ต้องการความสว่างจากเสาไฟ ซึ่งจุดนี้สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 3.8

```
 else
 {
  digitalWrite(13, LOW);   // set the LED off from LDR
  digitalWrite(12, LOW);   // set the LED off from LDR
 }

  Serial.print("LDR : ");              // print the value (0 to 1024)
  Serial.println(sensorValueLDR);     // print carriage return
  delay(10);
}


 // For DEBUGGING - Print out our data, uncomment the lines below
  Serial.print("Normal Case : ");     // print the value (0 to 1024)
  Serial.println(signalEMERGENCY);    // print carriage return
  delay(100);
}
```

รูปที่ 3.8 ฟังก์ชัน If-else เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของแสงภายนอกในส่วนของ Else

3.3.2 การทำงานของบุซเซอร์ (Buzzer)

เป็นการส่งสัญญาณเสียงเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น ซึ่งเสียงของรถฉุกเฉินแต่ละแบบจะแตกต่างกัน อาทิเช่น เสียงสัญญาณของรถตำรวจ เสียงสัญญาณของรถพยาบาล ในที่นี้จะมีเฉพาะเสียงสัญญาณของรถพยาบาลเท่านั้น โดยจะใช้บุซเซอร์ (Buzzer) เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณเสียง

ฟังก์ชัน Void Setup

เป็นส่วนการประกาศตัวแปรของคำสั่งส่งสัญญาณเสียง ดังรูปที่ 3.9

```
int SPEAKER = 5;
int SPEAKER_ENABLED = 4;
unsigned long previousMillis;
unsigned long startMillis;
const long interval = 500;
const int soundMax = 70;
const int soundStart = 300;
int ledState = LOW;
int lastI = 0;

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup()
  {

  pinMode(SPEAKER, OUTPUT);
  pinMode(SPEAKER_ENABLED, INPUT_PULLUP);

  }
```

รูปที่ 3.9 ฟังก์ชัน Void Setup

ฟังก์ชัน If-else เพื่อปรับค่าสัญญาณเสียง

เป็นการปรับความถี่ของสัญญาณและคาบของสัญญาณ เพื่อให้ได้เสียงสัญญาณที่เหมือนกับรถพยาบาลมากที่สุด ดังรูปที่ 3.10

```
void loop()
{

  unsigned long currentMillis = millis();

  // if( digitalRead(SPEAKER_ENABLED) == LOW ) {
      if(lastI > soundMax)
      {
        tone(SPEAKER, soundStart + lastI*10);
      }
      else
      {
        tone(SPEAKER, soundStart + (2*soundMax-lastI)*10);
      }
  //}
  //else {
  //  noTone(SPEAKER);
  //}
  if(lastI == 2*soundMax) lastI = 0;
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;

    if (ledState == LOW)
    {
      ledState = HIGH;
    }
    else
    {
      ledState = LOW;
    }
  }

  lastI ++ ;

  delay(25);


}
```

รูปที่ 3.10 ฟังก์ชัน If-else เพื่อปรับค่าสัญญาณเสียง

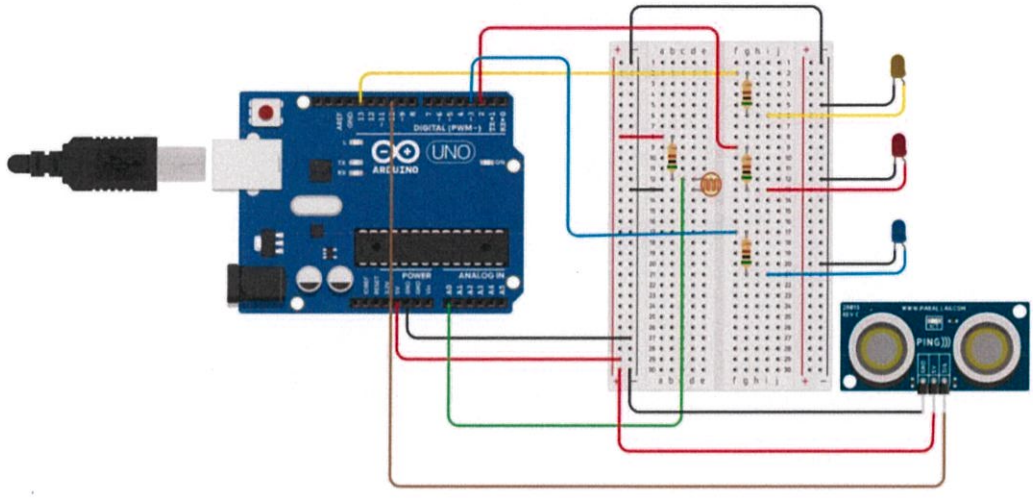
3.3.3 หลักการต่อวงจร

1. ต่อศักย์ไฟฟ้า ขนาด 5 V จากอาร์ดูโน่ (Arduino) จ่ายให้วงจรที่ขาบวกของวงจร และต่อกราวด์จากอาร์ดูโน่ (Arduino) เข้าที่ขาลบของวงจร

2. จ่ายไฟบวกเข้าที่ความต้านทานข้างหนึ่ง และอีกข้างต่อกับตัวต้านทานแสงและสัญญาณวัดตำแหน่ง A0 เพื่อประมวลผลการวัด

3. ต่ออัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) โดยขา GND ต่อเข้ากับกราวด์ของวงจรขา VCC ต่อเข้ากับไฟบวกของวงจร ส่วนขา Trig ต่อเข้ากับขาที่ 9 ของอาร์ดูโน่ (Arduino) และขา Eco ต่อเข้ากับขาที่ 10 ของอาร์ดูโน่ (Arduino)

4. ต่อหลอดไฟสีขาว, หลอดไฟสีแดง, หลอดไฟสีน้ำเงิน เข้าที่ขา 13, 2, 3 ของอาร์ดูโน่ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 การต่อวงจรการควบคุม

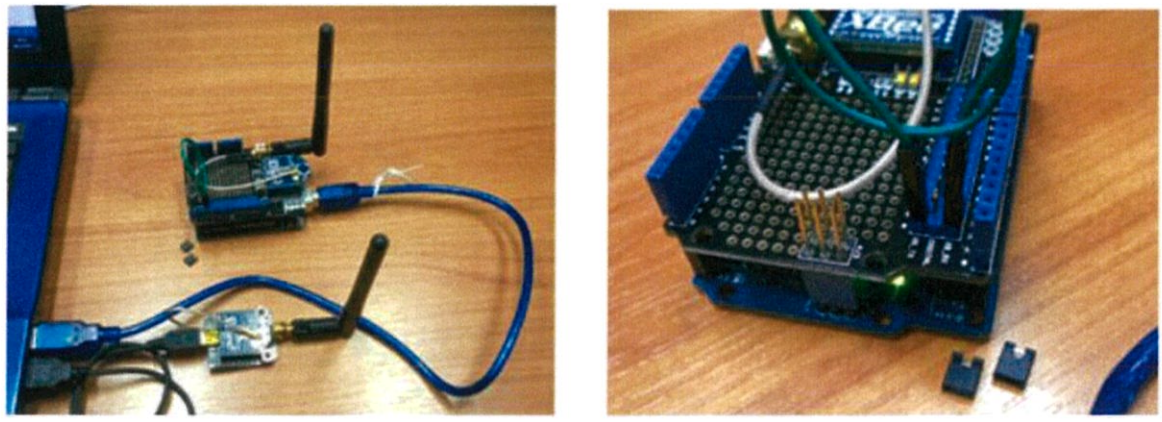
3.4 การเชื่อมต่อ XBee

2.3.1 การเชื่อมต่อโมดูล XBee เบื้องต้นโดยไม่ผ่านบอร์ด Arduino

ถ้าการตั้งค่า XBee ไม่มีข้อผิดพลาด Coordinator สามารถส่งข้อมูลไปยัง Router ได้ และในทางกลับกัน Router ก็สามารถส่งข้อมูลไปยัง Coordinator ได้

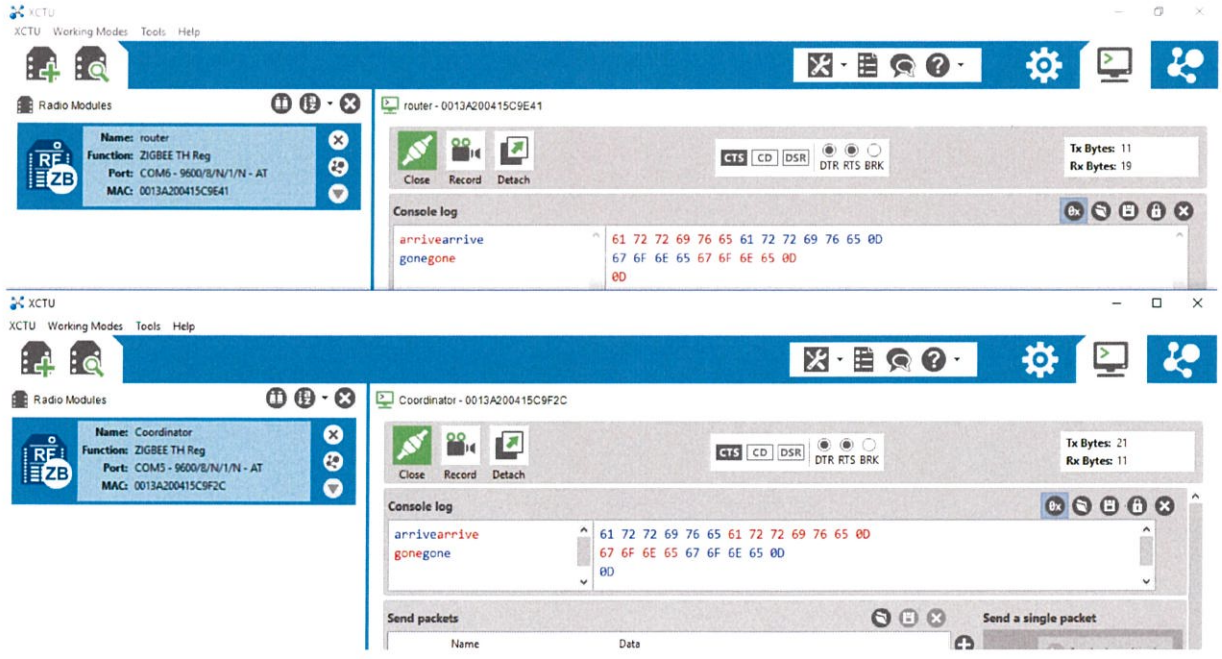
รูปที่ 3.12 แผนภาพการเชื่อมต่อ XBee แบบไม่ผ่านบอร์ด Arduino

ทดสอบโดยเชื่อมต่อ Coordinator เข้ากับ PC ส่งข้อมูลผ่านโปรแกรม XCTU ที่ฝั่ง Router จั้มขา Tx กับ Rx ของโมดูลเข้าด้วยกันหมายความว่าข้อมูลทั้งหมดที่ส่งจาก Coordinator จะถูกส่งกลับไปยัง Coordinator ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อ Coordinator เข้ากับ PC

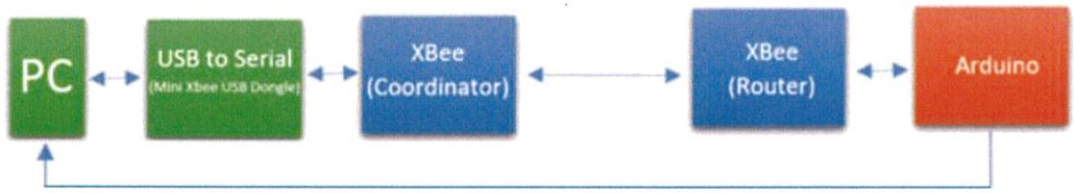
ใช้โปรแกรม XCTU ส่งข้อมูลเข้าไปที่ Coordinator จากภาพจะเห็นได้ว่าข้อมูลทั้งส่งและรับเป็นข้อมูลเดียวกัน



รูปที่ 3.14 ข้อมูลรับส่งระหว่าง XBee

2.3.1 การเชื่อมต่อโมดูล XBee เข้ากับบอร์ด Arduino

หลังจากทดสอบเฉพาะโมดูล XBee ว่าสามารถติดต่อกันได้แล้ว ลำดับต่อไปจะเป็นการนำบอร์ด Arduino มารับ-ส่งข้อมูลจากโมดูล XBee ในฝั่ง Router ให้บอร์ด Arduino รับข้อมูลที่มาจาก XBee ด้วย Software Serial แล้วส่งต่อไปที่ Hardware Serial เพื่อแสดงข้อมูลที่รับมาได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ในขณะเดียวกันก็ให้ Arduino รับข้อมูลจาก Hardware Serial ที่ส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วส่งผ่าน Software Serial ไปที่ XBee ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนภาพการเชื่อมต่อ XBee ผ่านบอร์ด Arduino

เนื่องจากบอร์ด Arduino Uno R3 มีพอร์ท Serial (Hardware Serial) เพียง 1 พอร์ทต่อกับชิพ USB to Serial เพื่อต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว จึงไม่สามารถนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่นได้ ต้องใช้ Software Serial ติดต่อกับ XBee แทน โดยในตัวอย่างนี้กำหนดขา Rx เป็นขา 2 เชื่อมต่อกับขา Tx ของ XBee และขา Tx เป็นขา 3 เชื่อมต่อกับขา Rx ของ XBee

โค้ดโปรแกรม Arduino เป็นดังนี้

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define RxD 2
#define TxD 3
SoftwareSerial mySerial(RxD,TxD); // RX, TX
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(RxD, INPUT);
    pinMode(TxD, OUTPUT);
    mySerial.begin(9600);
}

void loop() {
    if (mySerial.available()) {
        char incoming  = mySerial.read();
        Serial.write(incoming);
    }
    if (Serial.available()) {
        char incoming_2  = Serial.read();
        mySerial.write(incoming_2);
    }
}
```

รูปที่ 3.16 โค้ดโปรแกรม Arduino ของ XBee

จากโค้ด

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define RxD 2
#define TxD 3
SoftwareSerial mySerial(RxD,TxD); // RX, TX
```

รูปที่ 3.17 ประกาศตัวแปร

ประกาศเรียกใช้งานไลบรารี่ Software Serial โดย #include <SoftwareSerial.h> จากนั้นกำหนดออบเจ็กต์ SoftwareSerial mySerial จากขาได้กำหนดไว้ใน RxD ขา 2 และ TxD ขา 3

```
    Serial.begin(9600);
pinMode(RxD, INPUT);
pinMode(TxD, OUTPUT);
mySerial.begin(9600);
```

รูปที่ 3.18 ฟังก์ชัน setup()

ในฟังก์ชัน setup() กำหนด Hardware Serial Baud Rate เป็น 9600 bps กำหนดขา 2 เป็นอินพุตและขา 3 เป็นเอาต์พุตสำหรับติดต่อ Software Serial จากนั้นเรียกคำสั่ง SoftwareSerial mySerial Software กำหนดให้ Serial Baud Rate เป็น 9600 bps เช่นกัน

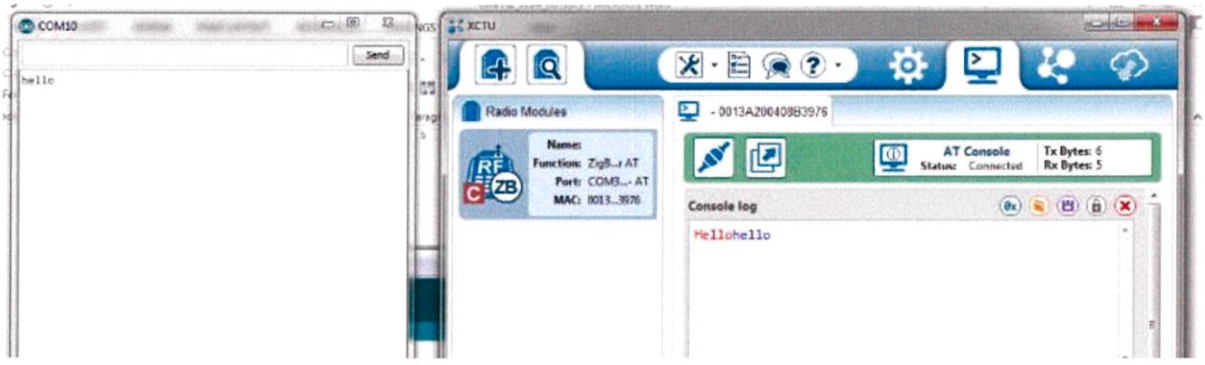
```
if (mySerial.available()) {
        char incoming  = mySerial.read();
        Serial.write(incoming);
    }
    if (Serial.available()) {
        char incoming_2  = Serial.read();
        mySerial.write(incoming_2);
    }
```

รูปที่ 3.19 ฟังก์ชัน loop()

ในฟังก์ชัน loop() ถ้าตรวจสอบได้ว่า มีตรวจสอบข้อมูลส่งเข้ามาที่ Software Serial ด้วยคำสั่ง mySerial.available() ให้โปรแกรมอ่านค่าด้วยคำสั่ง mySerial.read() และส่งต่อไปที Hardware Serial ด้วยคำสั่ง Serial.write(incoming)

เช่นเดียวกัน ถ้ามีข้อมูลส่งเข้ามาที่ Hardware Serial โปรแกรมจะอ่านค่าและส่งออกไปที SoftwareSerial mySerial

ให้อัพโหลดโปรแกรมไปที่บอร์ด Arduino จากนั้นเปิดโปรมแกรม XCTU เพื่อทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างกัน ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ข้อมูลที่รับส่งผ่านบอร์ด Arduino

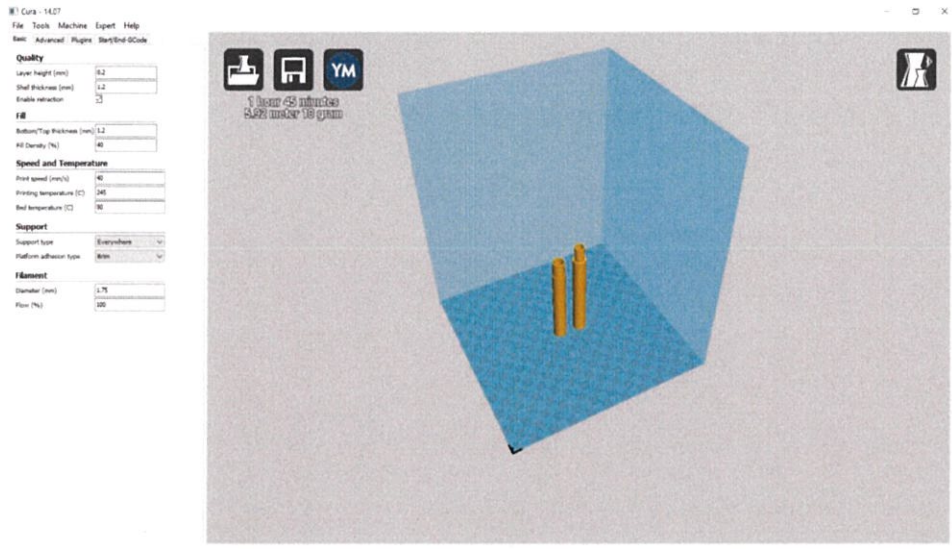
3.5 การออกแบบโมเดล

ใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 ในการออกแบบและนำมาแปลงไฟล์ผ่านโปรแกรม Cura เพื่อพิมพ์งานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

3.5.1 ส่วนฐาน

รูปที่ 3.21 โมเดลส่วนฐานที่นำไปแปลงไฟล์

3.5.2 ส่วนเสาไฟ



รูปที่ 3.22 โมเดลส่วนเสาไฟที่นำไปแปลงไฟล์

3.5.3 ส่วนโคมไฟ

รูปที่ 3.23 โมเดลส่วนโคมไฟที่นำไปแปลงไฟล์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

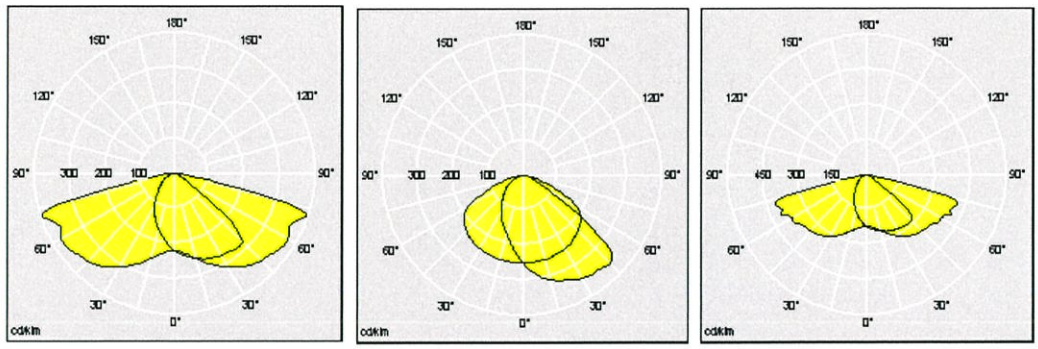
4.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม DIALux

ในการจำลองจะใช้โปรแกรม DIALux สำหรับจำลองผลการทดลองในคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาโปรแกรมและเพื่อศึกษาการออกแบบโคมสำหรับใช้ภายนอก เลือกใช้หลอดไฟ Throne Lighting 96263828 DYANA LED เนื่องจากมีค่ามาตรฐานความสว่างตามที่กฎหมายกำหนดและประหยัดพลังงาน

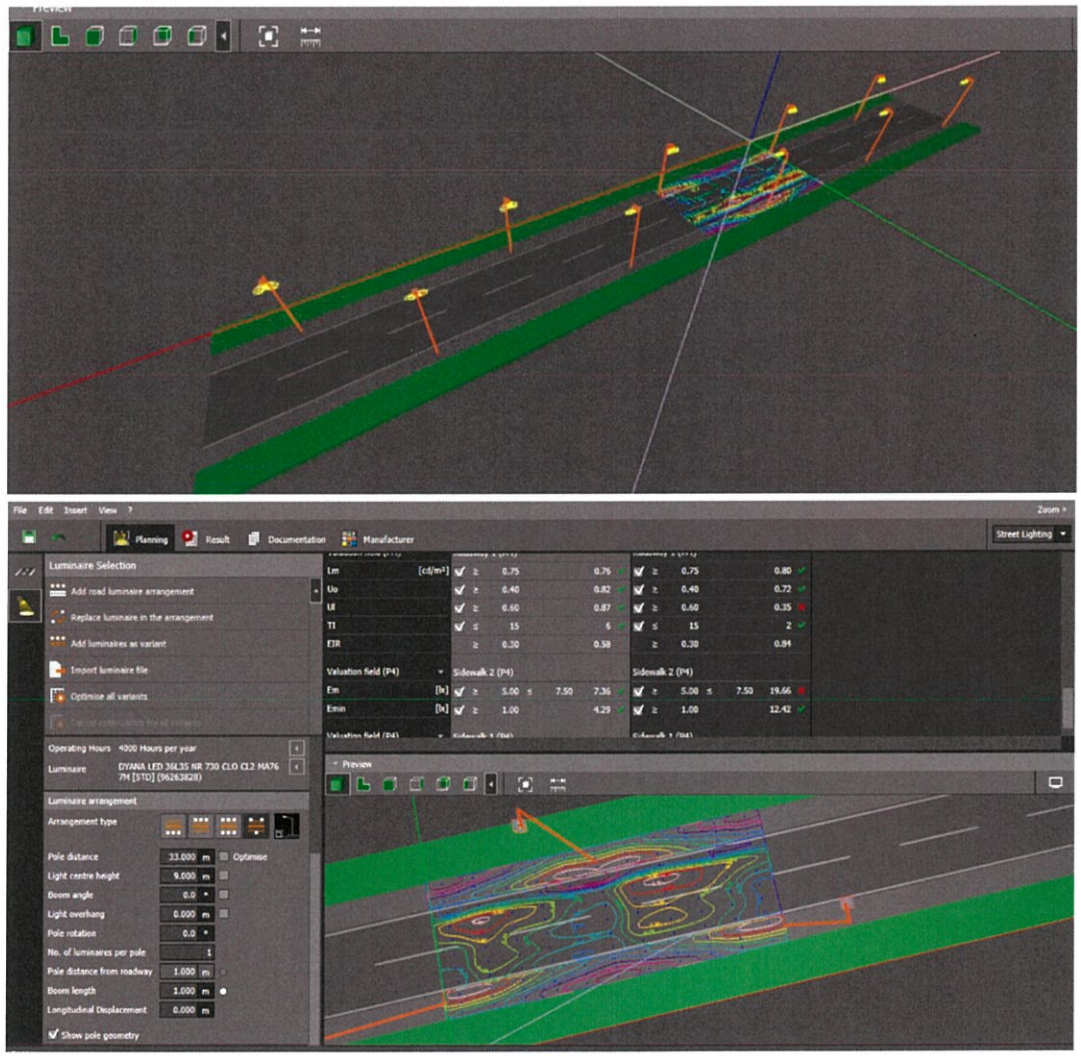
รูปที่ 4.1 Throne Lighting 96263828 DYANA LED

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบหลอดไฟ LED แบบต่างๆ

	Dyana	Urba	R2L2
Dimension (mm.)	685 x 511 x 92	1065 x 400 x 176	655 x 362 x 155
Total Power (W.)	77	77	78
Weight (kg.)	10.85	10.5	9.51
Luminaire luminous flux (lm.)	8666	8991	9047
Luminaire efficacy (lm/W.)	113	117	116
Luminaire input power (W.)	77	77	78



รูปที่ 4.2 การกระจายของแสงของหลอดไฟ Dyana, Urba, R2L2 ตามลำดับ



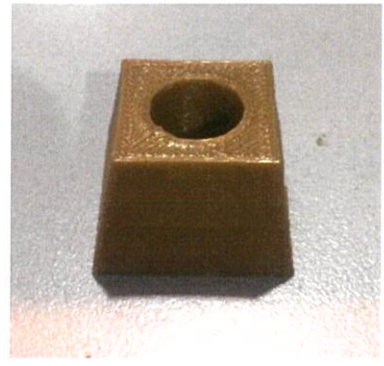
รูปที่ 4.3 ผลการจำลองไฟถนนด้วยหลอดไฟ Throne Lighting 96263828 DYANA LED

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบอัตราการคืนทุนเมื่อใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแบบติดตั้งวงจร และไม่ติดตั้งวงจรควบคุมระดับความเข้มแสง

สูตรการคำนวณ	หลอดเมทัลฮาไลด์	หลอดไดโอดเปล่งแสงแบบไม่ติดตั้งวงจรควบคุมระดับความเข้มแสง	หลอดไดโอดเปล่งแสงแบบติดตั้งวงจรควบคุมระดับความเข้มแสง
ต้นทุนค่าหลอดไฟและเสาไฟ (บาท)	16000	19000	22000
ค่าเปลี่ยนหลอดต่อครั้ง (บาท)	4000	6500	6500
อายุการใช้งานหลอด(ชั่วโมง)	10000	50000	50000
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ (วัตต์)	88.5	41	15
ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชั่วโมง/ปี)	4380	4380	4380
ค่าเปลี่ยนหลอดต่อปี (บาท)	1752	569.4	569.4
ค่าไฟต่อปี (บาท)	1162.89	538.74	197.1
อายุการใช้งานหลอด (ปี)	2.283	44.415	11.415
ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อปี (บาท)	2914.89	1108.14	766.5

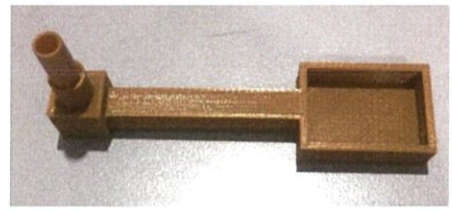
4.2 ผลการจำลองด้วยโมเดลจำลอง

4.2.1 ผลการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks และพิมพ์ด้วย 3D Printer

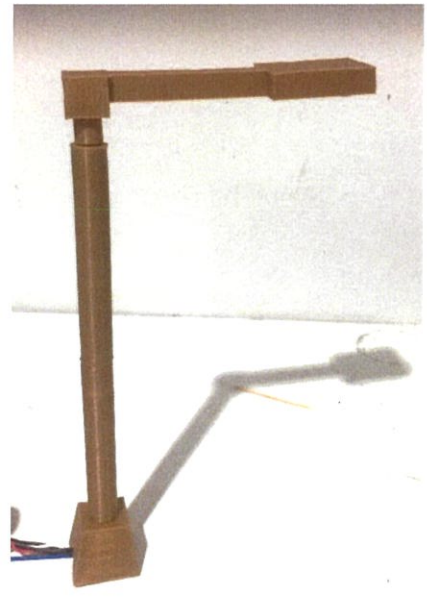


รูปที่ 4.4 ฐานเสาไฟ

รูปที่ 4.5 เสาไฟ



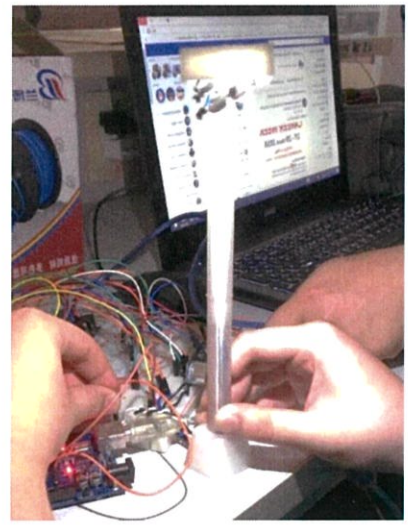
รูปที่ 4.6 โคมไฟ



รูปที่ 4.7 เสาไฟฟ้าจากการประกอบชิ้นส่วนทั้ง 4 ชิ้น

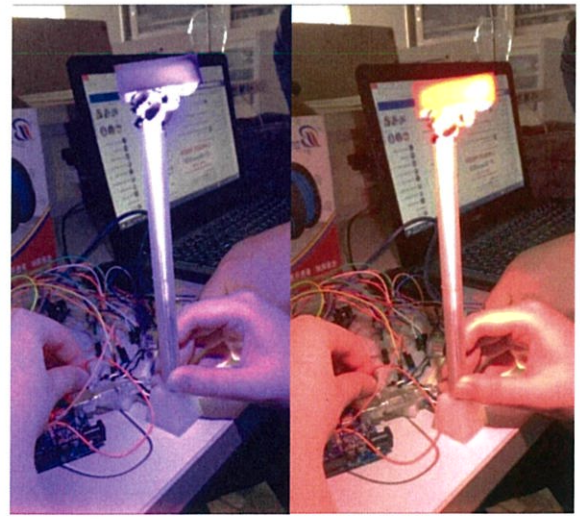
4.2.2 ผลการทำงานของวงจรไฟถนนอัจฉริยะ

ใช้ตัวต้านทานแสง (LDR) ในการวัดแสงโดยรอบ สำหรับจำแนกช่วงเวลากลางวันและกลางคืน เมื่ออยู่ในช่วงเวลากลางคืนเซนเซอร์อัลตราโซนิคจะตรวจจับวัตถุที่ผ่านเข้ามาในระยะ เพื่อสั่งให้หลอดไฟติด และเมื่อวัตถุพ้นจากระยะตรวจจับหลอดไฟก็จะดับลง



รูปที่ 4.8 ไฟสีขาวติดในเวลากลางคืน เมื่อมีวัตถุผ่านระยะตรวจจับ

ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินเมื่อมีสัญญาณสั่งจากตัวส่งสัญญาณ (Zigbee) จะสั่งการให้ไฟฉุกเฉินทำงานในทุกกรณี โดยสั่งให้หลอดไฟสีน้ำเงินและแดงทำงานสลับกันตลอดระยะการส่งสัญญาณของตัวส่งสัญญาณ และเมื่อพ้นระยะจากตัวส่งสัญญาณก็จะกลับมาทำงานในช่วงเวลาปกติ



รูปที่ 4.9 ไฟไซเรนสีน้ำเงิน-แดง ติดตลอดเวลาเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน

รูปที่ 4.10 โมเดลแบบจำลองเมืองไฟถนนอัจฉริยะ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองเปรียบเทียบ การใช้งานของหลอดไฟหลายๆ แบบที่ถูกต้องตามข้อกำหนดของกฎหมายและประหยัดพลังงาน โดยการใช้แหล่งพลังงานจากโซล่าเซลล์ พบว่าหลอดไฟหลายชนิดประหยัดพลังงานได้มาก แต่ยังไม่ถูกต้องตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด โดยจากการทดลองหลอดไฟที่ตอบโจทย์ความต้องการได้ทั้งสองอย่าง คือ หลอดไฟ Throne Lighting 96263828 DYANA LED โดยในส่วนของการสร้างแบบจำลองเมืองอัจฉริยะได้แสดงการทำงานของหลอดไฟในเวลากลางวัน ซึ่งไฟจะไม่ติดและในเวลากลางคืนที่ไฟจะติดเมื่อมีรถยนต์ผ่าน ส่วนไฟฉุกเฉินจะติดตลอดเวลาเฉพาะเส้นทางที่รถฉุกเฉินผ่าน เมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้นไม่ว่าจะเป็นในเวลากลางวันหรือกลางคืน เพื่อให้ผู้ขับขี่ทราบว่า มีเหตุการณ์ฉุกเฉินเกิดขึ้นบนถนนเส้นที่ผู้ขับขี่กำลังขับอยู่และเตรียมเปิดทางให้รถฉุกเฉิน เพื่อให้รถฉุกเฉินสามารถไปถึงจุดเกิดเหตุได้อย่างรวดเร็วที่สุด ซึ่งจะช่วยลดอัตราการเสียชีวิตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากชุดวงจรควบคุมระดับความเข้มแสงดังกล่าวยังมีข้อบกพร่อง ที่ยังสามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาต่อได้ในอนาคต มีรายละเอียดดังนี้

1. พื้นที่ในการติดตั้งไฟถนนอัจฉริยะ ไม่ควรติดตั้งในสถานที่เขตเมืองใหญ่ที่มีคนพลุกพล่าน และมีการจราจรหนาแน่นสะสม เนื่องจากเซนเซอร์จะตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ตลอดเวลา ทำให้วงจรควบคุมระดับความเข้มแสงไม่มีการปรับระดับความเข้มแสงลง หรือหลอดไฟหลอดนั้นทำงานตลอดเวลา เปรียบเสมือนติดตั้งเสาที่มีวงจรควบคุมระดับความเข้มแสง แต่ต้องเสียค่าชุดวงจรเพิ่ม

2. ข้อจำกัดด้านกฎหมายทำให้ไม่สามารถใช้หลอดไฟ ที่มีการประหยัดพลังงานได้มากกว่าไปติดตั้งจริงบนท้องถนน

เอกสารอ้างอิง

[1] “**Arduino Uno**” [Online]. Available:

https://www.arduino.cc

[2] “**XBee**” [Online]. Available:

https://alselectro.wordpress.com/2017/01/23/zigbee-xbee-s2c-how-to-configure-as-coordinator-router-end-device/

[3] “**Ultrasonic**” [Online]. Available:

https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/

[4] “**LDR**” [Online]. Available:

http://www.instructables.com/id/Using-an-LDR-Sensor-With-Arduino/

[5] “**LED**” [Online]. Available:

https://www.tweaking4all.com/hardware/arduino/arduino-light-sensitive-resistor/

[6] “**Buzzer**” [Online]. Available:

http://www.mblock.cc/example/ambulance-sound/