



การควบคุมอุณหภูมิในตู้ฟักไข่โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรด

TEMPERATURE CONTROL FOR EGG INCUBATOR  
VIA INFRARED THERMOMETER



นายธีรชัย สืบราศรี รหัส 54361046

นายวุฒินันท์ นันตะหน้อย รหัส 54364184

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน..... 16899134
เลขเรียกหนังสือ..... นฟ.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๖ ๖๒๒

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การควบคุมอุณหภูมิในตู้ฟักไข่โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้  
รังสีอินฟราเรด

ผู้ดำเนินโครงการ นายธีรชัย สืบราศรี รหัส 54361046  
นายวุฒินันท์ นันตะหน้อย รหัส 54364184

ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์

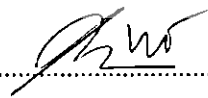
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

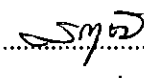
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

.....กรรมการ  
(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ การควบคุมอุณหภูมิในตู้ฟักไข่โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้  
รังสีอินฟราเรด

ผู้ดำเนินโครงการ นายธีรชัย สืบราศรี รหัส 54361046  
นายวุฒินันท์ นันตะหน้อย รหัส 54364184

ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2557

#### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อนำไป  
ประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองตู้ฟักไข่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino  
ประมวลผลและควบคุมการทำงานของรีเลย์ซึ่งมีหน้าที่ตัดและต่อวงจรของหลอดไฟทำความร้อน  
และพัดลมขนาดเล็ก ค่าอุณหภูมิที่ตัวรับรู้งรังสีอินฟราเรดวัดได้ถูกแสดงเป็นตัวเลขในหน่วยของศา  
เซลเซียสบนหน้าจอแอลซีดี อุณหภูมิในแบบจำลองถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงค่าขีดจำกัดบนและค่า  
ขีดจำกัดล่างซึ่งผู้ใช้สามารถปรับตั้งได้ตามเวลาจริง หลอดไฟและพัดลมจะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิ  
ลดลงถึงค่าขีดจำกัดล่างและจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงถึงค่าขีดจำกัดบน

**Project title**            Temperature Control for Egg Incubator via Infrared Thermometer

**Name**                    Mr. Thirachai Sueprasri      ID. 54361016  
                                 Mr. Wuttinan Nantanoi      ID. 54364184

**Project advisor**        Asst. Prof. Niphat Jantharamin, Ph.D.

**Major**                    Electrical Engineering

**Department**            Electrical and Computer Engineering

**Academic year**         2014

---

### Abstract

This thesis presents construction of an infrared thermometer and its application on temperature control for an egg incubator model in which an Arduino microcontroller is used to process and control relays that switches on and off heating bulbs and circulating fans. The temperature measured by the infrared thermometer is shown in degree Celsius on a LCD display. The temperature inside the model is regulated between an upper limit and a lower limit, which can be set in real time by the user. The bulbs and fans are switched on when the temperature hit the lower limit and are switched off when the upper limit is met.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนิน โครงการงานขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรินทร์ ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเอาใจใส่ในรายละเอียดทุกขั้นตอนของการดำเนิน โครงการงาน โดยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำหลักการเขียนปฏิญยานิพนธ์และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปฏิญยานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อุปกรณ์มือวัดในการทดสอบชิ้นงานและอำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ในการทำงาน จนกระทั่งทำการทดสอบต่าง ๆ สิ้นสุดลง

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้อบรมสั่งสอนตลอดการศึกษาเล่าเรียนในระดับปริญญาตรี ทำให้สามารถนำความรู้และทักษะในหลาย ๆ ด้านมาประยุกต์ใช้กับการดำเนิน โครงการงานนี้

และขอขอบคุณรัฐบาลไทยที่ดั่งกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ) ซึ่งสนับสนุนด้านทุนทรัพย์แก่ นายวุฒินันท์ นันตะหน้อย ตลอดระยะเวลาในการศึกษาในระดับปริญญาตรี

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาซึ่งให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนิน โครงการงาน รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนทำให้ประสบความสำเร็จในวันนี้

นายธีรชัย

สีบราศรี

นายวุฒินันท์

นันตะหน้อย

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการทำงานตัวรับรู้งสีอินฟราเรด	4
2.2 ตัวรับรู้งสีอินฟราเรด	5
2.2.1 ทฤษฎีควอนตัมของแมกซ์แพลงค์	5
2.2.2 กฎการกระจัดของวิน	8
2.2.3 ความสามารถในการแผ่รังสี	8
2.3 การประยุกต์ใช้งานตัวรับรู้งสีอินฟราเรดกับตู้ฟักไข่	9
2.3.1 ปัจจัยที่สำคัญต่อการฟักไข่	9
2.3.2 เทคนิคการฟักไข่ด้วยตู้ฟักไข่ไฟฟ้า	12
2.4 แผงวงจร Arduino	15
2.5 จอแสดงผลแอลซีดี	18

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 รีเลย์.....	19
บทที่ 3 การสร้างส่วนควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองของตู้ฟักไข่.....	21
3.1 การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรด.....	21
3.1.1 การเชื่อมต่อใช้งานตัวรับรังสีอินฟราเรด.....	22
3.1.2 การเชื่อมต่อใช้งาน Arduino รุ่น Uno r3.....	22
3.1.3 วงจรสวิตช์ควบคุม.....	23
3.1.4 การเชื่อมต่อใช้งานจอแสดงผลแอลซีดี.....	24
3.1.5 โมดูลแผงวงจรรีเลย์.....	24
3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิ.....	26
3.2.1 หลอดไฟทำความร้อน.....	26
3.2.2 พัดลมขนาดเล็ก.....	27
3.3 การสร้างแบบจำลองส่วนควบคุมอุณหภูมิของตู้ฟักไข่.....	27
3.3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของแบบจำลอง.....	27
3.3.2 การประกอบแบบจำลอง.....	28
3.3.3 กล่องวงจรควบคุมอุณหภูมิ.....	29
3.3.4 ขั้นตอนการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการในแบบจำลอง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดสอบและอภิปรายผล.....	33
4.1 การทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิ.....	33
4.1.1 ทดสอบการทำงานของตัวรับรังสีอินฟราเรด.....	33
4.1.2 ผลการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิ.....	35
4.2 การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวรับรังสีอินฟราเรด.....	35
4.2.1 การทดสอบตัวรับรังสีที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง.....	36
4.2.2 การทดสอบตัวรับรังสีที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลอง.....	37
4.2.3 การทดสอบตัวรับรังสีที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านล่างของแบบจำลอง.....	38
4.2.4 การทดสอบตัวรับรังสีที่ติดตั้งไว้ด้านบนของผนังข้างของแบบจำลอง.....	39
4.3 การทดสอบเวลาที่ใช้การเพิ่มและการลด 1 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิ.....	41
4.3.1 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส.....	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการลด 1 องศาเซลเซียส .....	42
4.4 การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ .....	43
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	45
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน .....	45
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข .....	46
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป .....	46
เอกสารอ้างอิง .....	47
ภาคผนวก ก รหัสต้นฉบับของ โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิภายในแบบจำลองตู้ฟักไข่ .....	48
ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด รุ่น MLX90614 – BAA .....	57
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ .....	74



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (E) ของพื้นผิววัสดุบางชนิด.....	9
4.1 ผลการทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง.....	36
4.2 ผลการทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลอง.....	37
4.3 ผลการทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านล่างของแบบจำลอง.....	39
4.4 ผลการทดสอบตัวรับรู้ติดตั้งไว้ด้านบนของผนังข้างของแบบจำลอง.....	40
4.5 เวลาที่ใช้ในการเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส.....	41
4.6 เวลาที่ใช้ในการลด 1 องศาเซลเซียส.....	42
4.7 ผลการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....	43



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ.....	4
2.2 ตัวรับรังสีอินฟราเรด รุ่น MLX90614 – BAA .....	5
2.3 ความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	6
2.4 ช่วงความยาวคลื่นแสงของวัตถุ .....	7
2.5 ตู้รวมควันของไขไก่.....	13
2.6 การส่องดูเชื้อภายในไข.....	14
2.7 ลูกไก่ที่ถูกฟักและลูกไก่ที่ตายโคม .....	15
2.8 แผงวงจร Arduino รุ่น Uno r3 .....	16
2.9 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ATmega328P-PU .....	17
2.10 จอแสดงผลแอลซีดี รุ่น Hitachi HD44780 .....	18
2.11 โครงสร้างของรีเลย์ทั่วไป.....	19
2.12 สภาวะการทำงานของรีเลย์.....	19
2.13 ตำแหน่งขาการใช้งานของรีเลย์.....	20
3.1 แผนภาพการทำงานของส่วนควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองของผู้ฟักไข่ .....	21
3.2 การเชื่อมต่อใช้งานตัวรับรังสีอินฟราเรดกับแผงวงจร Arduino.....	22
3.3 ส่วนประกอบของแผงวงจร Arduino รุ่น Uno r3.....	23
3.4 วงจรสวิตช์ควบคุม .....	23
3.5 การเชื่อมต่อใช้งานจอแสดงผลแอลซีดีกับแผงวงจร Arduino .....	24
3.6 โมดูลแผงวงจรรีเลย์ 4 ตัว.....	25
3.7 วงจรการทำงานของแผงวงจรรีเลย์ .....	26
3.8 หลอดไส้ ขนาด 100 วัตต์ .....	26
3.9 พัดลมขนาดเล็ก ขนาด 17.6 วัตต์ 220 โวลต์.....	27
3.10 ส่วนประกอบของโครงสร้างตู้ฟักไข่.....	28
3.11 แบบจำลองในส่วนอุณหภูมิของผู้ฟักไข่.....	29
3.12 ส่วนประกอบด้านหน้ากล่องวงจรควบคุมอุณหภูมิ .....	29
3.13 ส่วนประกอบภายในกล่องวงจรควบคุมอุณหภูมิ .....	30
3.14 หน้าปัดเริ่มต้นของจอแสดงผลบนกล่องควบคุม .....	31

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 หน้าปัดตั้งค่าขีดจำกัดบน.....	32
3.16 หน้าปัดตั้งค่าขีดจำกัดล่าง.....	32
4.1 วงจรที่ใช้ทดสอบวงจรรับรู้อินฟราเรด.....	33
4.2 สถานะของโปรแกรมขณะอัปเดตโปรแกรมลงในแผงวงจร Arduino.....	34
4.3 ผลจากการอ่านค่าอุณหภูมิผ่านทางหน้าจอของคอมพิวเตอร์.....	34
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้อินฟราเรดในการวัดค่าอุณหภูมิ.....	35
4.5 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้อินฟราเรดไว้กึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง.....	36
4.6 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้อินฟราเรดไว้กึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลอง.....	38
4.7 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้อินฟราเรดไว้กึ่งกลางด้านล่างของแบบจำลอง.....	39
4.8 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้อินฟราเรดไว้ด้านบนของผนังข้างของแบบจำลอง.....	40
4.9 เวลาที่ใช้ในการเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส.....	41
4.10 เวลาที่ใช้ในการลด 1 องศาเซลเซียส.....	43

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในงานทางด้านวิศวกรรม สำหรับผู้ผลิตที่เป็นอุตสาหกรรม อุณหภูมิในการผลิตเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญ เช่น การควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิกส์ ถ้าหากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้จะทำให้ขนาดของผลิตภัณฑ์เล็กกว่ามาตรฐานและการดูดซึมน้ำต่ำ ซึ่งอาจทำให้สีเพี้ยนไปไม่เป็นที่ต้องการและเกิดการยุบตัวหรือบิดเบี้ยว ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตที่มีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้คนในการควบคุมดูแลและตรวจสอบจึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการปฏิบัติงาน โดยในการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจึงเป็นการลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น และในงานที่มีการตรวจวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสอาจทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงาน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ปฏิบัติงานจึงได้มีการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส จึงเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานได้

ในโครงการนี้มีความสนใจในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรด (Infrared thermometer) ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสได้และสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงมีความแม่นยำและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการวัดอุณหภูมิ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรด โดยนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองในส่วนอุณหภูมิของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้ตัวรับรังสีตัวร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เพื่อประมวลผลและส่งค่าที่ได้ไปควบคุมพัดลมขนาดเล็กและหลอดไฟทำความร้อน เพื่อให้อุณหภูมิที่อยู่ภายในแบบจำลองเป็นไปตามเงื่อนไขที่นอกจากนี้แล้วชุดควบคุมอัตโนมัติยังสามารถติดต่อกับผู้ใช้โดยจะแสดงผลผ่านทางจอแอลซีดี และสามารถตั้งค่าช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยใช้สวิตช์ปุ่มกด จึงทำให้มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรด โดยสามารถแสดงค่าอุณหภูมิออกมาทางจอแสดงผลแอลซีดีออกมาเป็นตัวเลข และประยุกต์ใช้กับการควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองในส่วนของอุณหภูมิของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติ



## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรดที่สร้างขึ้นในโครงการ สามารถวัดอุณหภูมิได้ในสถานะต่าง ๆ พร้อมทั้งยังแสดงผลที่วัดได้ผ่านจอแอลซีดีออกมาเป็นตัวเลข เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานหรือการอ่านค่า โดยสามารถวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส จึงช่วยให้มีความปลอดภัยในการทำงานในสถานะหรือกับอุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังเพิ่มความสะดวกในการตั้งค่าอุณหภูมิโดยใช้สวิตช์ปุ่มกด รวมทั้งยังเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งาน โดยสามารถปรับตั้งช่วงค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมได้ ส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย นอกเหนือจากการควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองตู้ฟักไข่เพื่อช่วยลดปัญหาการควบคุมอุณหภูมิที่ผิดพลาดได้

## 1.6 งบประมาณ

1) ตัวรับรังสีอินฟราเรด	300 บาท
2) อุปกรณ์ในการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและแสดงผล	500 บาท
3) แผงวงจร Arduino รุ่น Uno r3	300 บาท
4) อุปกรณ์ในการสร้างแบบจำลองในส่วนของอุณหภูมิของตู้ฟักไข่	700 บาท
5) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	1200 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันบาทถ้วน)	<u>3,000</u> บาท

หมายเหตุ: ตัวเฉลี่ยทุกรายการ

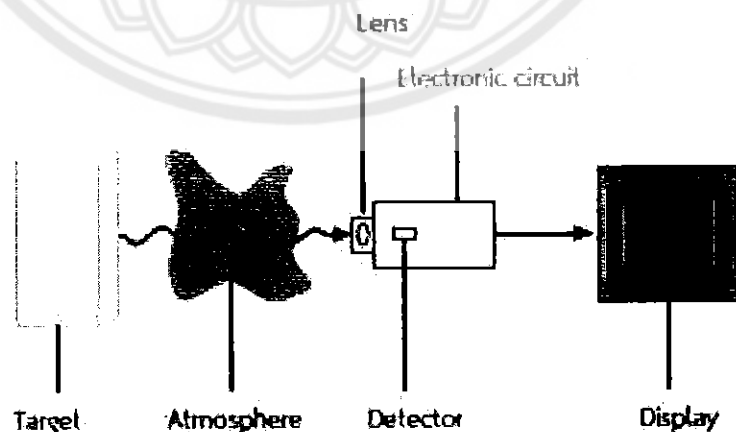
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวัดค่าและแสดงค่าอุณหภูมิรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงค่าที่ต้องการนั้น จำเป็นต้องอาศัยการทำงานประสานกันของส่วนตรวจจับ ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผล ในโครงการนี้เลือกใช้ตัวรับรังสีอินฟราเรดในการวัดค่าอุณหภูมิ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สำหรับประมวลผลและแสดงค่าเป็นตัวเลขบนหน้าจอแอลซีดี และใช้รีเลย์เพื่อตัดต่อวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้าในแบบจำลองดังรายละเอียดที่จะอธิบายในหัวข้อต่อไป

#### 2.1 หลักการทำงานตัวรับรังสีอินฟราเรด

การวัดอุณหภูมิโดยใช้ตัวรับรังสีอินฟราเรด (Infrared sensor) สามารถนำมาใช้วัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุ อาศัยหลักการแผ่รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) ออกจากวัตถุ โดยตัวรับรังสีอินฟราเรด (Infrared) ที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมาย (Target) แล้วแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยรังสีอินฟราเรดที่ตัวรับรับไปนั้นประกอบด้วยรังสีที่วัตถุเป้าหมายแผ่ออกมารวมกับรังสีที่แผ่จากวัตถุอื่นหรือจากสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงข้อมูลที่ได้รับมาจากตัวรับและนำไปแสดงที่ส่วนแสดงผล (Display) [1] โดยใช้ตัวรับรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 2.1 การวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ [1]

## 2.2 ตัวรับรังสีอินฟราเรด

ตัวรับรังสีอินฟราเรด รุ่น MLX90614 – BAA คือตัวรับรังสีอินฟราเรดที่ถูกออกแบบให้ใช้วัดอุณหภูมิแบบไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุที่เป้าหมาย โครงสร้างภายในประกอบไปด้วย 17 บิต แปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to digital converter, ADC) และการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processing, DSP) ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ MLX90614 – BAA มีความแม่นยำและความละเอียดสูงสามารถวัดอุณหภูมิ -70 ถึง 382.2 องศาเซลเซียส มีความละเอียดในการวัดเท่า 0.02 องศาเซลเซียสและมีความแม่นยำเท่า 0.5 องศาเซลเซียสในสภาพอุณหภูมิห้องซึ่งในการแปลงค่ารังสีอินฟราเรดที่ตัวรับวัดตรวจจับได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิ โดยจะอาศัยกฎของแมกซ์แพลงค์ (Max Planck's law) และกฎการกระจัดของวีน (Wien's displacement law) [2] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



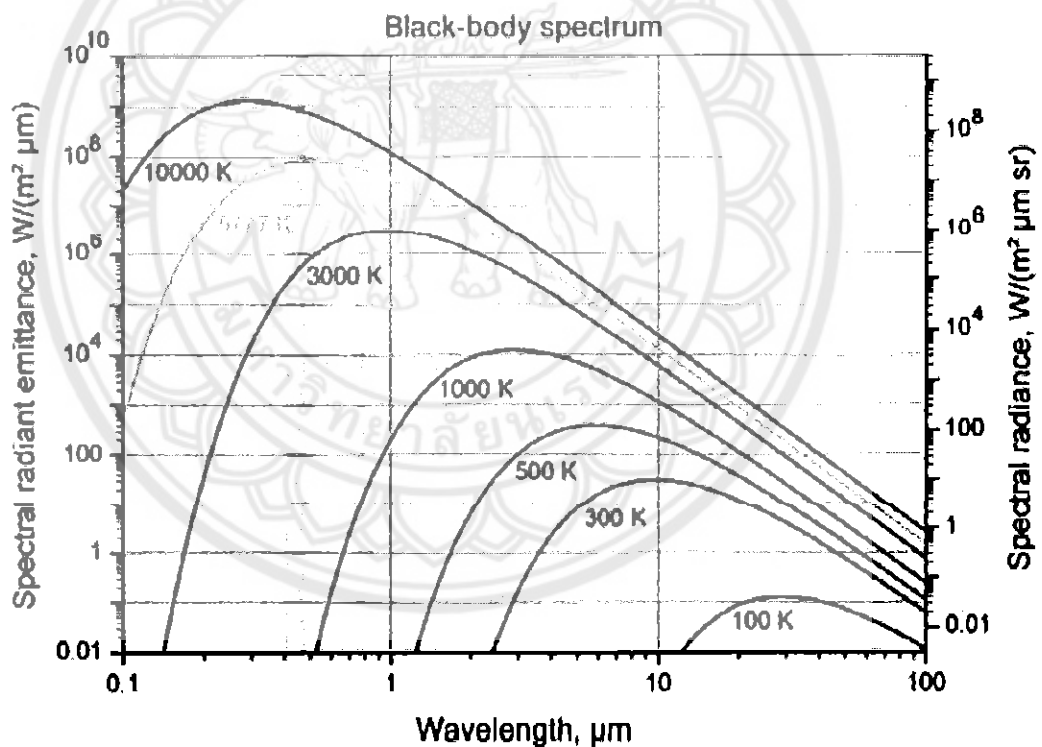
รูปที่ 2.2 ตัวรับรังสีอินฟราเรด รุ่น MLX90614 – BAA [2]

### 2.2.1 ทฤษฎีควอนตัมของแมกซ์แพลงค์

การใช้ตัวรับรังสีอินฟราเรดวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสนั้นอาศัยหลักการทฤษฎีควอนตัมของแมกซ์แพลงค์ (Max Planck) ซึ่งมีใจความว่า “พลังงานการแผ่รังสีเดินทางในรูปแบบของก้อนพลังงาน” ซึ่งเรียกว่า ควอนตา (Quanta) และที่สำคัญคือการแผ่รังสีของวัตถุใด ๆ ที่มีอุณหภูมิเหนือจุดศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute zero) จะแผ่พลังงานในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นและความเข้มมากกว่า ในทางกลับกัน วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่าและความเข้มของรังสีน้อยกว่า



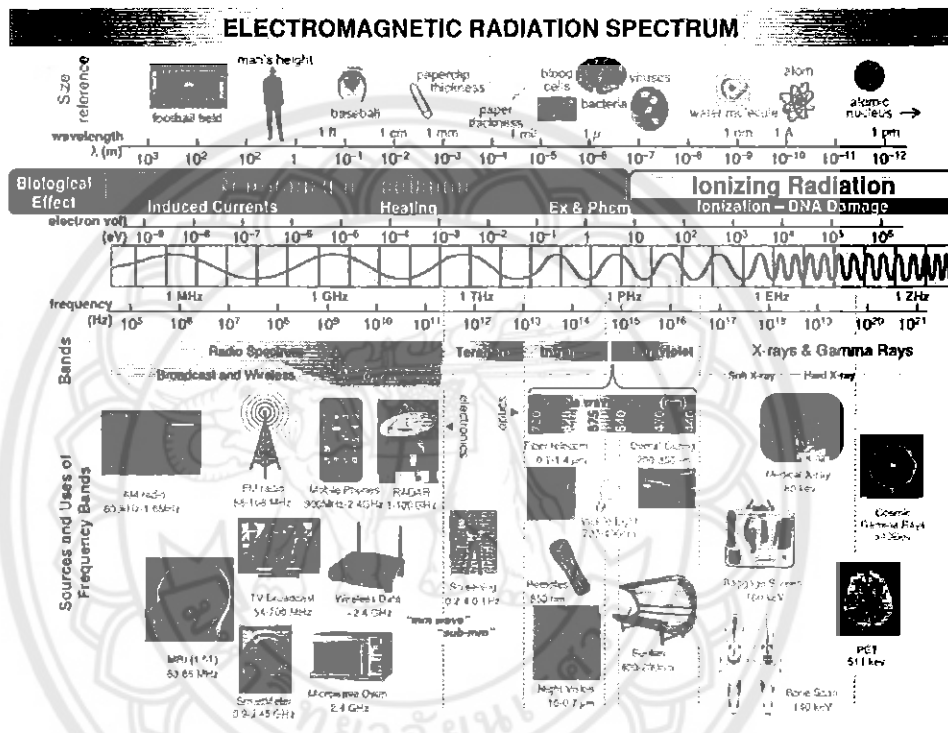
เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในปริมาณที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน ตัวอย่างเช่นเมื่อเผาแท่งเหล็กให้ร้อน จะเริ่มเห็นเนื้อเหล็กเปลี่ยนเป็นสีแดง (แท่งเหล็กปลดปล่อยคลื่นในช่วงแสงสีแดง) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นสีเหลือง และเปล่งแสงสีขาวเมื่อร้อนจัด นักวิทยาศาสตร์พบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการแผ่รังสีความร้อนประกอบด้วยความยาวคลื่นในช่วงคลื่นต่าง ๆ เกิดเป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง ซึ่งมีความเข้มแสงในแต่ละความยาวคลื่นที่ต่างกัน การศึกษาหลักการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุโดยจะเริ่มจากการพิจารณาวัตถุที่เป็นตัวแผ่รังสีหรือวัตถุดำ ซึ่งมีการแผ่รังสีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุเท่านั้น วัตถุดำปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีทุกย่านความถี่ (การแผ่รังสีของวัตถุในแต่ละความถี่มีความเท่าเทียมกัน) และสามารถดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีทุกย่านความถี่ (เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบวัตถุ คลื่นจะไม่สะท้อนออกมาเพราะถูกดูดกลืนไว้) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เรียกตัวแผ่รังสีอุดมคตินี้ว่า วัตถุดำ (Black body) [3]



รูปที่ 2.3 ความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ที่มา: <http://www.sun.org/encyclopedia/black-body-radiation>

จากรูปที่ 2.3 เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ค่าเฉลี่ยของความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุดำมีค่ามากขึ้น เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการวัดทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณ 280 เคลวิน ถึง 600 เคลวิน (หรือ 0 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส) ซึ่งหากสังเกตจากกราฟแล้วจะพบว่าในช่วงอุณหภูมิดังกล่าววัตถุดำเริ่มแผ่คลื่นที่มีความยาวในช่วงตั้งแต่ 1 ไมโครเมตรเป็นต้นไป ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ และเป็นที่ยูจกกันในชื่อ “แสงอินฟราเรด” โดยมีรายละเอียดของช่วงความยาวคลื่นของแสงได้แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ช่วงความยาวคลื่นแสงของวัตถุ

ที่มา: <http://www.stopocsmartmeters.com/what-is-electromagnetic-radiation-emr.html>

จากรูปที่ 2.4 สังเกตเห็นได้ว่า ช่วงของแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้นั้น อยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร หากความยาวคลื่นมากกว่านี้แสงที่ส่งออกมาจะอยู่ในช่วงที่เรียกว่า แสงอินฟราเรด ซึ่งสัมพันธ์กับการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้นดังนั้นหลังจากทราบข้อเท็จจริงข้างต้นแล้วการนำปริมาณของรังสีอินฟราเรดที่ปล่อยออกมาจากวัตถุหนึ่ง ๆ มาแปลงค่ากลับเพื่อหาอุณหภูมิที่แท้จริงของวัตถุนั้น โดยใช้ กฎการกระจายของวิน (Wien's displacement law) และ กฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann law)

### 2.2.2 กฎการระจัดของวิน

จากการศึกษาสเปกตรัมของการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุดำ โดยการวัดความเข้มของคลื่นกับความยาวคลื่นที่แผ่ออกมา พบว่าอุณหภูมิของวัตถุ ( $T$ ) สัมพันธ์กับความยาวคลื่นที่ให้ค่าความเข้มสูงสุด ( $\lambda_{\max}$ ) ของสเปกตรัมที่แผ่ออกมาดังนี้

$$\lambda_{\max} T = 2.898 \times 10^{-3} \quad [\text{m.K}] \quad (2.1)$$

เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎการระจัดของวิน ซึ่งใช้ประมาณค่าอุณหภูมิของวัตถุได้จากความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมา (อาจหาความยาวคลื่นได้จากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงเลี้ยวเบน) จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของวัตถุสูงขึ้น ค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าความเข้มสูงสุดจะมีค่าน้อยลงหรือจุดยอดของสเปกตรัมจะเลื่อนไปทางที่ความยาวคลื่นสั้นลงดังนั้นสามารถประมาณอุณหภูมิได้จากการสังเกตความยาวคลื่นที่แผ่ออกมาหรือสีของวัตถุเช่น เปลวไฟสีน้ำเงินจะร้อนกว่าเปลวไฟสีแดง

จากสเปกตรัมของการแผ่รังสีสามารถหาความเข้มรวม (พลังงานทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่) ของรังสีที่แผ่ออกมาจากวัตถุได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟสเปกตรัมได้จาก

$$I(T) = \sigma T^4 \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.2)$$

เรียกความสัมพันธ์นี้ว่ากฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann law) โดยที่  $\sigma$  เป็นค่าคงตัวมีค่าเท่ากับ  $5.6705 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  [3]

### 2.2.3 ความสามารถในการแผ่รังสี

ความสามารถในการแผ่รังสี (Emissivity) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการแผ่รังสีของวัสดุ จึงมีบทบาทที่สำคัญต่อความแม่นยำในการวัดเป็นอย่างมาก โดยจะมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีมีค่ามากที่สุดคือ 1.0 ซึ่งเป็นค่าของวัตถุดำ (Black body material) ที่ได้เกริ่นไปข้างต้นซึ่งค่าความสามารถในการแผ่รังสีเป็น 1.0 นั้นทำให้รู้ว่าวัสดุมีความสามารถในการแผ่รังสีได้หมดจด และวัสดุดังกล่าวจะดูดกลืนรังสีอื่น ๆ เอาไว้กับตัว จึงทำให้สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ถูกต้อง แต่ในความเป็นจริงวัสดุที่เป็นอินทรีย์วัตถุ (Organic) โดยทั่วไปในธรรมชาติจะมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีมีค่าเฉลี่ย ประมาณ 0.95 แต่หากเป็นวัสดุจำพวก โลหะหะขัดมัน จะมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีมีค่าได้ถึง 0.1 ที่แสงความยาวคลื่น 1.0 ไมโครเมตร [4] ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน ( $\epsilon$ ) ของพื้นผิววัสดุบางชนิด

ชนิดวัสดุ (Surface material)	ค่าการแผ่รังสี (Emissivity coefficient)
อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil)	0.03
อิฐมอญ (Red brick)	0.93
คอนกรีต (Concrete)	0.94
หินอ่อน (Marble)	0.56
กระจกเรียบ (Smooth glass)	0.95
ไม้ (Wood)	0.82

ที่มา: <http://www.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=159>

### 2.3 การประยุกต์ใช้งานตัวรับรังสีอินฟราเรดกับตู้ฟักไข่

ในการประยุกต์ใช้งานตัวรับรังสีอินฟราเรดกับตู้ฟักไข่นั้นต้องคำนึงปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการฟักไข่ประกอบด้วย อุณหภูมิและความชื้นและการระบายอากาศที่เหมาะสม ถ้าสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวได้ก็สามารถฟักไข่ได้ผลดี ซึ่งในการฟักไข่ให้ได้จำนวนมากขึ้นและเป็นการช่วยแม่ไก่ที่ไม่กกไข่ สามารถนำไข่มาเข้าฟักได้ เนื่องจากการฟักไข่ของเกษตรกรโดยทั่วไปเป็นการฟักโดยใช้แม่ไก่ฟักซึ่งอาจจะได้จำนวนน้อยครั้งละ 12 – 18 ฟองซึ่งร้อยละการฟักออกเป็นตัวก็ค่อนข้างน้อย ทำให้เกิดเชื้อ โรคกับไข่ที่กำลังฟักตัวอ่อนอาจจะตายได้และยิ่งในฤดูฝนที่มีความชื้นมาอาจจะทำให้ไข่ไก่ที่กำลังฟักเน่าได้ ส่งผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ประสบปัญหาได้ลูกไก่น้อยหรือเสียเวลาในการฟักไข่โดยเปล่าประโยชน์และร้อยละการฟักออกเป็นตัวน้อย

#### 2.3.1 ปัจจัยที่สำคัญต่อการฟักไข่

##### 1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้ในการฟักไข่จะอยู่ระหว่าง 36 - 38 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะส่งผลต่อการฟักออกของไข่ฟัก อุณหภูมิที่สูงจะก่อให้เกิดการสูญเสียมากกว่าอุณหภูมิที่ต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ตัวอ่อนในฟองไข่จะหยุดการเจริญเติบโตอุณหภูมิที่เหมาะสมและทำให้ตัวอ่อนสามารถเจริญเติบโตได้ดีแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ในระยะ 18 วันแรก ตัวอ่อนต้องการอุณหภูมิประมาณ 37 – 37.5 องศาเซลเซียส และในระยะวันที่ 19 - 21 เนื่องจากตัวอ่อนต้องการอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในระยะ 18 วันแรกประมาณ 0.5 – 1.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากตัวอ่อนมี

การปลดปล่อยความร้อนออกมาจากระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับระยะนี้ คือ 36 - 38 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิในตู้ฟักตลอดระยะเวลาการฟักควรอยู่ในระดับที่สม่ำเสมอมากที่สุด ถ้าอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอจะทำให้การฟักออกไม่ดี ซึ่งอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการฟักออกของไข่ มีดังนี้

#### ก) อุณหภูมิสูง

การที่ไข่ฟักอายุ 16 วัน ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะไม่มีผลเสียต่ออัตราการฟักออก แต่ถ้าได้รับอุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะทำให้อัตราการฟักออกลดลง และถ้าได้รับอุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือ 49 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ตัวอ่อนตายทั้งหมด

#### ข) อุณหภูมิต่ำ

การฟักไข่เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิการฟักที่ลดลงจะทำให้ระยะเวลาในการฟักไข่นานขึ้น อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการฟักจะนานขึ้นประมาณครึ่งหนึ่งของระยะเวลาที่ได้รับความเย็น เพราะไม่บ่อยนักที่อุณหภูมิจะลดต่ำกว่าอุณหภูมิห้องที่ 25 - 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในไข่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิห้องเป็นเวลาหลายชั่วโมง การที่ตัวอ่อนในช่วง 19 วันแรกได้รับความเย็นจะทำให้ตัวอ่อนอยู่ในค่าที่ผิดตำแหน่งมากขึ้น อุณหภูมิยิ่งต่ำจะยิ่งเกิดมากขึ้น และถ้าอุณหภูมิในช่วง 2 วันสุดท้ายต่ำกว่าปกติถึง 10 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้น

ความเร็วของการพัฒนาตัวอ่อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในฟองไข่ อุณหภูมิภายในฟองไข่ภายในตู้ฟักเดียวกันสามารถแปรผันได้ตามตำแหน่งที่ไข่ฟักอยู่ ปัจจัยที่ทำให้อุณหภูมิแตกต่างกันคือ ความเร็วลมและการสเปิร์กความชื้นภายในตู้ฟัก อุณหภูมิของไข่อาจจะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 5 - 10 องศาเซลเซียส

#### 2) ความชื้น

การพัฒนาของตัวอ่อนที่เหมาะสมและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลูกไก่ที่มีขนาดปกติ จะต้องมีการกำหนดอัตราการระเหยของสิ่งที่อยู่ภายในฟองไข่ออกไปในปริมาณที่เหมาะสม หากความชื้นที่อยู่ในฟองไข่ระเหยออกเร็วเกินไป ลูกไก่ที่ฟักออกก็จะตัวเล็กกว่าปกติและหากระเหยออกช้าเกินไปลูกไก่ที่ได้ก็จะตัวโตกว่าปกติ ในทั้งสองกรณีที่กล่าวมาลูกไก่ที่ฟักออกจะอ่อนแอและอัตราการฟักออกจะลดลง ทำให้ลูกไก่ที่ได้มีคุณภาพต่ำลงด้วย การควบคุมการระเหยของความชื้นภายในฟองไข่ จะขึ้นอยู่กับการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่อยู่รอบฟองไข่ เนื่องจากความชื้นในอากาศจะเป็นตัวกำหนดอัตราการระเหยของความชื้นออกจากฟองไข่หรือการสูญเสีย น้ำหนักไข่ฟัก ความชื้นในอากาศสูงจะทำให้การระเหยของความชื้นออกจากฟองไข่น้อยลง และหากความชื้นในอากาศต่ำก็จะทำให้การระเหยของความชื้นออกจากฟองไข่เพิ่มขึ้นมากเช่นเดียวกัน

### ก) ความชื้นต่ำเกินไป

การที่ตู้ฟักมีความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้ไข่ฟักสูญเสียความชื้น ลูกไก่ที่ฟักออกจะตัวเล็ก ซีด ขนหย็อง บ่อยครั้งพบว่าลูกไก่มีขนสั้นเกินไป มีเศษเปลือกติดขน อัตราการตายสูงในช่วง สัปดาห์แรก ลักษณะอาการที่เหมือนกันจะปรากฏเมื่อไข่ฟักถูกเก็บไว้นานและอยู่ในสภาพที่มีความชื้นต่ำเกินไปหรือคุณภาพเปลือกไข่ต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นลักษณะอาการที่ปรากฏนี้จึงเกิดได้จากอิทธิพลของสภาพอากาศภายในตู้ฟักและคุณภาพไข่ฟัก

### ข) ความชื้นสูงเกินไป

ความชื้นที่สูงเกินไปมีผลทำให้การสูญเสียความชื้นภายในไข่ลดลง ทำให้ลูกไก่ตายในไข่ ฟัก เนื่องจากหายใจไม่ออกและมีเมือกเหนียวๆติดอยู่รอบปาก ในสภาพที่มีความชื้นสูงเกินไป เปลือกไข่จะขึ้นและ และมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซต่ำ ลูกไก่ที่เกิดจะมีช่องท้องที่ขยาย ใหญ่ สะดือเป็ยกและ ขนไม่แห้ง และมีเศษไข่ติดอยู่ ทำให้ขนแข็งกระด้าง อย่างไรก็ตามขนที่แข็ง กระด้างอาจเกิดจากการขาดสารอาหารของพ่อแม่พันธุ์ได้

ในขณะที่ตัวอ่อนมีการเจริญและเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นลูกไก่ที่มีขนาดปกติ องค์กรประกอบ ของไข่จะมีการระเหยน้ำอย่างต่อเนื่อง ในระดับปกติ แต่ถ้ามีการระเหยน้ำน้อยเกินไปลูกไก่ที่ฟัก ออกมาจะมีตัวโตกว่าปกติและอ่อนแอ นอกจากนี้ยังมีผลทำให้อัตราการฟักไข่ออกต่ำ การควบคุม การระเหยน้ำจะต้องควบคุมความชื้นภายในตู้ฟักให้เหมาะสม เพราะความชื้นภายนอกที่อยู่รอบๆไข่ จะเป็นตัวกำหนดการสูญเสียน้ำหนักไข่ โดยความชื้นสูงการระเหยน้ำจะต่ำแต่ถ้าความชื้นต่ำการ ระเหยน้ำจะสูง

### 3) การไหลเวียนของอากาศ

ขณะทำงานจะต้องมีการไหลเวียนของอากาศด้วยความเร็วลมประมาณ 7-8 ฟุตต่อวินาที ภายในตู้ตลอดเวลาและครอบคลุมทั่วถึงทุกพื้นที่ภายในตู้ฟัก ขณะเดียวกันจะมีการถ่ายเทอากาศ โดยรับอากาศ (ออกซิเจน) จากนอกตู้เข้าสู่ภายในพร้อมทั้งคลุกเคล้าอากาศที่รับมาใหม่เข้ากับอากาศ ที่มีอยู่เดิม และขับอากาศภายใน (คาร์บอนไดออกไซด์) ออกสู่ด้านนอกตัวตู้ต้องมีระบบ และมี ปริมาณที่เหมาะสม อุปกรณ์หลักที่จะทำหน้าที่นี้คือพัดลมและช่องดูดอากาศระบายอากาศ

### 4) การวางไข่และการกลับไข่

การวางไข่ฟักให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง (Proper position) จะทำให้อัตราการฟักออก เป็นไปตามปกติ โดยวางเอาทางด้านป้านของฟองไข่ขึ้นด้านบน (Large end up) เพราะว่าในสัปดาห์ ที่ 2 ของการฟักไข่ตัวอ่อนจะหมุนลาดตัวให้ขนานกับแกนยาวของฟองไข่และส่วนของศีรษะจะ พัฒนาใกล้กับบริเวณช่องอากาศของฟองไข่ ดังนั้นถ้าหากวางผิดตำแหน่ง โดยเอาทางด้านปลาย แผลมของฟองไข่ขึ้นด้านบน (Small ends up) จะทำให้ตัวอ่อนประมาณร้อยละ 60 อยู่ในท่าที่

ผิดปกติโดยหันเอาศีรษะไปทางด้านปลายแหลมของฟองไข่จึงไม่สามารถหายใจเอาออกซิเจนจากช่องอากาศในระหว่างวันที่ 18 - 20 ได้ และตัวอ่อนจะตายคาฟองในที่สุด

การกลับไข่ป้องกันไม่ให้ตัวอ่อนติดกับเชื้อเปลือกไข่ด้านใน ถ้าตัวอ่อนติดเชื้อหุ้มไข่แดงจะแยกแตกทำให้ตัวอ่อนตาย ตัวอ่อนที่เริ่มเจริญจะเกาะติดกับถุงคอร์ยออนดุงอัลเลนทั่วและติดกับเชื้อหุ้มเปลือกไข่ด้านในที่หุ้มไข่ขาว ป้องกันโดยการกลับไข่ใน 7 วันแรก การกลับไข่ทำให้ตัวอ่อนเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นและช่วยลดลักษณะผิดปกติได้ [5]

### 2.3.2 เทคนิคการฟักไข่ด้วยตู้ฟักไข่ไฟฟ้า

#### 1) ข้อสังเกตในการฟักไข่ด้วยตู้ฟักไข่ไฟฟ้า

- ทำการตรวจสอบการทำงานของปฏิกิริยาของตู้ฟักไข่ เมื่อเสียบปลั๊กและเปิดสวิชการทำงาน ข้อสังเกตเบื้องต้นให้สังเกตความผิดปกติของการทำงานของหลอดไฟฟ้าความร้อน และการหมุนของพัดลมระบายอากาศ
- ตรวจสอบน้ำในถาด ใส่น้ำในถาดให้เต็มแล้ววางไข่ได้ถาดได้ชั้นล่างสุดของตู้ฟัก
- เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 3 ชั่วโมง โดยหมั่นตรวจเช็คอุณหภูมิของตู้ฟักไข่วันละ 3 ครั้ง (เช้า - กลางวัน - เย็น)

#### 2) อุณหภูมิ/ความชื้น

- เช็คอุณหภูมิตู้ โดยดูได้จากปรอทภายในตู้ให้อยู่ระหว่าง 37.8 - 38 องศาเซลเซียส
- การตั้งอุณหภูมิให้ดูจากหลอดไฟสว่างในตู้และปรอทควบคู่กันไป เมื่ออุณหภูมิภายในตู้เย็นลง หลอดไฟจะสว่าง อุณหภูมิสูงถึง 38 องศาเซลเซียส หลอดไฟจะดับ
- การปรับตัวควบคุมความร้อน ซึ่งอยู่หลังตู้และมีลูกศรชี้ทิศทางของการหมุนปรับไว้คือ "เพิ่มความร้อน" ให้หมุนไปในทิศทางเพิ่มความร้อน โดยหมุนจนหลอดไฟสว่างพอดี รออ่านปรอทที่ 38 องศาเซลเซียส หรือปรับลงความร้อนให้อุณหภูมิเหมาะสม ถ้าหากไม่ถึง 38 องศาเซลเซียส ไฟยังดับก่อนเพิ่มจนอุณหภูมิถึง 38 องศาเซลเซียส ตู้ฟักจึงใช้งานได้

#### 3) ตัวเครื่องกลับไข่อัตโนมัติ

- ตรวจเช็คการทำงานของตัวเครื่องกลับไข่อัตโนมัติทุก 1 ชั่วโมง ว่าทำงานปกติตั้งเวลาการกลับไข่ทุก 1 ชั่วโมง

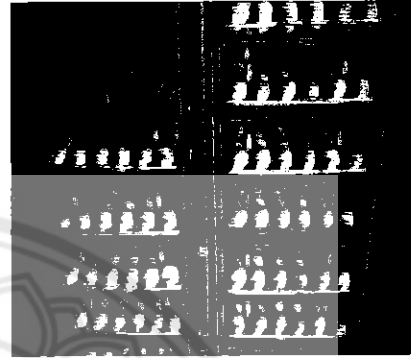
#### 4) การรวมควันท่อเชื้อ

- นำไข่ไก่ที่จะนำเข้าตู้ฟักรวบรวมใส่ในตู้ไม้ที่มีฝาปิด-เปิดได้ ภายในตู้รวมควันท่อเชื้อเป็นตู้โล่งสำหรับวางถาดไข่โดยการวางเรียงซ้อนกัน เพื่อสำหรับรวมควันท่อก่อนเข้าตู้ฟัก

- การรมควันให้ใช้ถ่านแทบทีม 20 กรัม เทใส่ด้วยแก้วแล้วเติมฟอร์มาลิน 40 ซีซีต่อ ปริมาตร 100 ตารางฟุต สักครู่จะมีควันเกิดขึ้นให้รีบปิดฝาตู้ทิ้งไว้ 20 นาที เมื่อครบ ระยะเวลาจึงเปิดฝาตู้ทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อไล่ควันพิษออกให้หมดแล้วจึงย้ายไข่ไก่เข้าสู่ ฟัก ดังแสดงในรูปที่ 2.5



ก) ตู้อบรมควัน



ข) ภายในตู้อบรมควัน

รูปที่ 2.5 ตู้รมควันของไข่ไก่

เมื่อตรวจสอบระบบการทำงานโดยรวมว่าทำงานเป็นปกติ ปรับอุณหภูมิได้นิ่ง หรือ อุณหภูมิของตู้ฟักสม่ำเสมอ จึงนำไข่เข้าสู่ตู้ฟักได้ โดยวางไข่ใน 3 ถาดชั้นบน การนำไข่เข้าสู่ตู้ฟักใน ถาดไข่ควรใส่สัปดาห์ละครั้ง เช่น เริ่มใส่วันจันทร์ ดังนั้นทุกวันจันทร์จะต้องนำไข่เข้าสู่ตู้ฟักและ ถูกไก่จะฟักออกทุกๆ วันจันทร์เช่นกัน การใส่ไข่ฟัก 3 ถาด ควรจะใส่ไข่สลับกันระหว่างไข่อายุมาก กับไข่ที่ใส่เข้าไปใหม่ โดยการสลับถาดไข่ในแต่ละชั้น การวางไข่ให้เอาด้านป้านขึ้นด้านแหลมลง และวางเรียงกันจนเต็มถาด

#### 5) การส่องไข่ 7 วัน

การส่องไข่จะทำหลังจากนำไข่เข้าฟักแล้ว 5 - 7 วัน และส่องไข่ซ้ำอีกครั้งเมื่ออายุฟัก 18 วัน โดยส่องไข่ด้วยหลอดส่องไข่ขนาด 12 โวลต์ 25 วัตต์ การส่องไข่ควรส่องในที่มืด ดังแสดง ในรูปที่ 2.6 โดยทยอยยกถาดไข่ออกมาจากตู้ฟักใช้ที่ส่องไข่ที่เป็นค้ำมือถือใช้ส่องไปที่ไข่ขณะอยู่ใน ถาดฟักได้ แต่ถ้าจะจับต้องจับให้เบาที่สุด ระวังอย่าหมุนไข่เร็วเกินไปขณะส่องเพราะอาจทำลาย เนื้อเยื่อภายในไข่และตัวอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตได้



## 6) ลักษณะของการส่องไข่ 7 วัน

- ลักษณะของไข่มีเชื้อ 7 วันจะเห็นเส้นเลือดสีแดงเป็นร่างแห ตรงกลางเป็นจุดและเคลื่อนไหว เมื่อส่องเสร็จแล้วให้เอาเข้าสู่ฟักทันที
- ลักษณะของไข่เชื้อตายจะเห็นเป็นวงแหวน ไม่มีสีแดงร่างแหหรือมีกีสี่ขีดผิดปกติ หรือมีจุดสีดำติดเปลือกไข่
- ลักษณะของไข่ไม่มีเชื้อ เมื่อส่องจะเห็นเป็นสีใสไม่มีเส้นเลือด ไข่ไม่มีเชื้อหรือไข่เชื้อตายควรคัดออกทันทีเมื่อพบ และการส่องไข่แต่ละครั้งควรทำในเวลารวดเร็ว เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิไข่ที่ออกจากตู้ฟัก



ก) ไข่มีเชื้อ

ข) ไข่เชื้อตาย

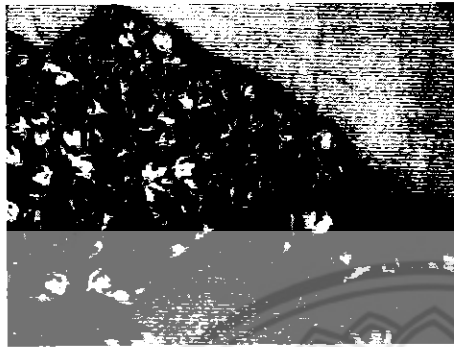
ค) ไข่ไม่มีเชื้อ

รูปที่ 2.6 การส่องดูเชื้อภายในไข่ [5]

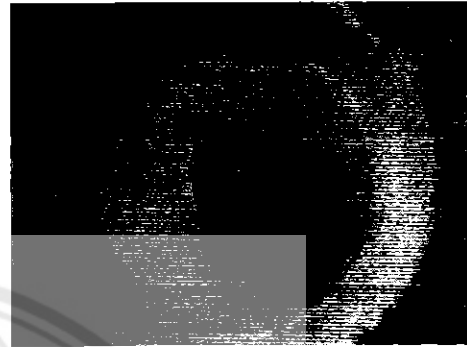
## 7) ลักษณะของการส่องไข่ 18 วัน

- นำไข่ฟักที่อายุ 17 วัน โดยวันที่ 18 นำไข่ออกมาส่องอีกครั้งถ้าไข่มีเชื้อจะมีลักษณะทึบเกือบทั้งฟอง ยกเว้นไข่ที่มีช่องอากาศด้านบนจะใส ให้ย้ายไข่ไก่เข้าสู่ฟัก
- ลักษณะของไข่เชื้อตาย 18 วัน จะมีลักษณะคล้ายกับไข่มีเชื้อ ยกเว้นด้านบนจะมีสีจะใสไม่ทึบ ให้คัดออกเป็นไข่เชื้อตายให้นำไปทำลาย
- ข้อควรระวัง ใส่น้ำในถาด อย่าให้น้ำขาด เพราะจะทำให้ไข่ฟักไม่ออก
- เมื่อย้ายไข่มีเชื้อเข้าสู่ฟักภายใน 3 วัน หรือไข่อายุ 21 วัน ไก่จะเริ่มเจาะเปลือกไข่ออกมาเป็นตัว ให้ย้ายลูกไก่ที่เกิดใหม่ที่มีลักษณะขนฟู แข็งแรง ไม่พิการ ย้ายไปโรงเรียนอนุบาล
- ไข่ที่ฟักไม่ออก ให้ไปส่องดูอีกครั้งถ้าในฟองไข่มีลักษณะลูกไก่คืบอยู่ให้นำเข้าสู่ฟักอีกครั้ง ไข่ที่ไม่คืบแสดงว่าเป็นไข่ตายโคม
- ถาดฟักไข่ไก่ที่ถูกไก่เกิดหมดแล้ว ให้ล้างทำความสะอาด ตากแดด ฆ่าเชื้อให้เรียบร้อยก่อนนำเข้าสู่ฟักครั้งต่อไปก่อน

หลังจากการส่องไข่ 18 วัน จะเห็นได้ว่าไข่ที่ฟักออกมามีทั้งลูกไก่ที่แข็งแรงและมีลูกไก่ที่ตายเนื่องจากลูกไก่มิแข็งแรงและอาจเกิดจากไม่ได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การฟักไข่ [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.7



ก) ลูกไก่ที่ถูกฟัก

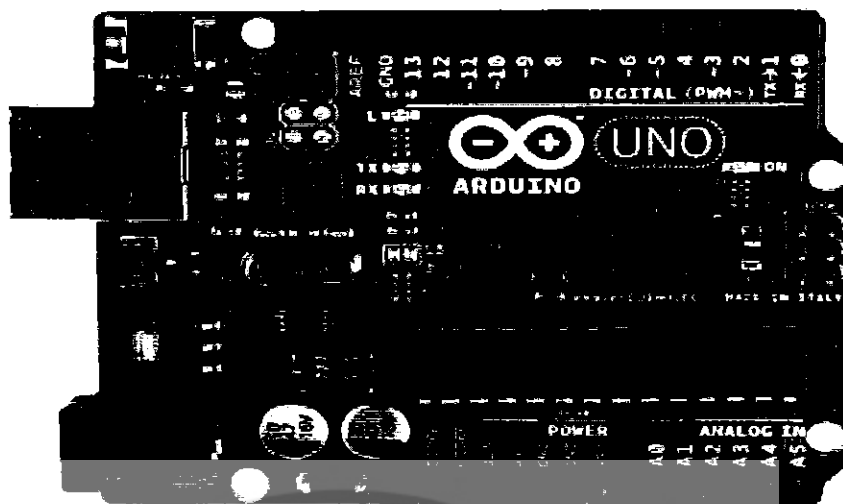


ข) ลูกไก่ที่ตายโคม

รูปที่ 2.7 ลูกไก่ที่ถูกฟักและลูกไก่ที่ตายโคม [5]

#### 2.4 แผงวงจร Arduino

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแผงวงจร Arduino รุ่น Uno r3 จัดอยู่ในตระกูลเอวีอาร์ (AVR) ขนาด 28 ขา ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATmega328 ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) ของอินพุตและเอาต์พุต (I/O) ขั้นพื้นฐานที่พอเพียงกับการใช้งานและการเรียนรู้ โดยตัวแผงวงจรมีชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต รวมถึงพอร์ตดิจิทัล พอร์ตแอนะล็อกพีดีบีเบิลยูเอ็มและพอร์ตอนุกรมซึ่งแผงวงจร Arduino ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวแผงวงจรออกแบบจากไมโครคอมพิวเตอร์เดี่ยวและมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับให้แผงวงจร Arduino สามารถรับสัญญาณจากสวิทช์หรือคีย์บอร์ดหรืออุปกรณ์อื่น ๆ

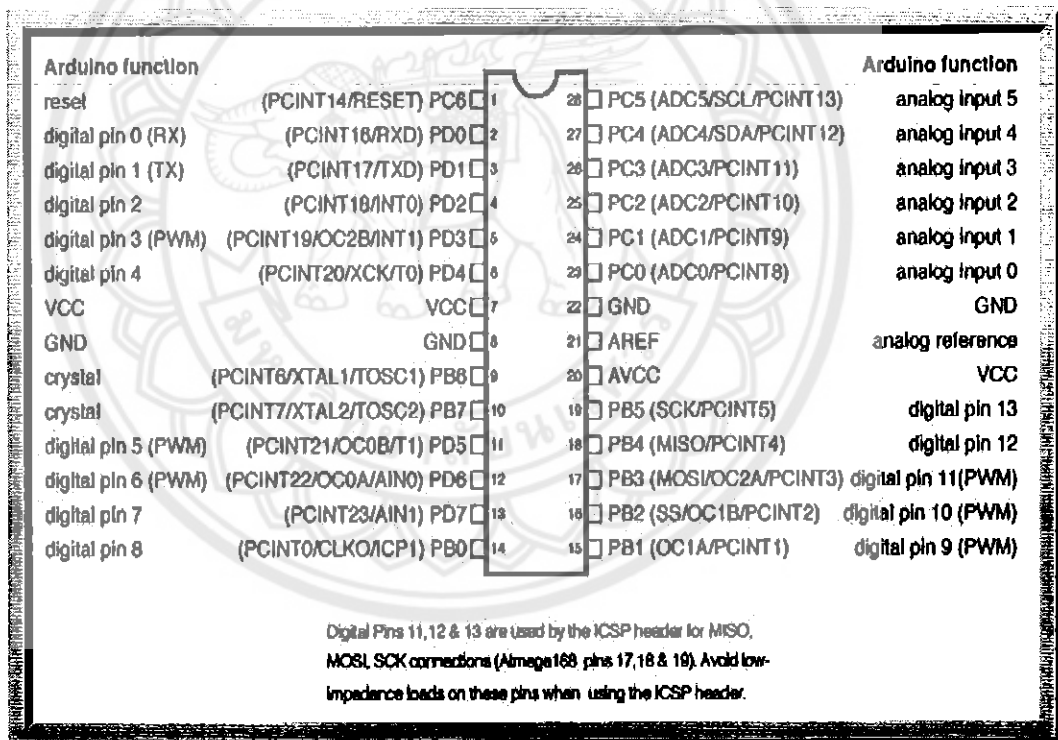


รูปที่ 2.8 รูปของแผงวงจร Arduino รุ่น Uno r3 [6]

แผงวงจร Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งานเนื่องจากได้มีการออกแบบคำสั่งต่าง ๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนและมีข้อดีกว่าบอร์ดสำเร็จรูปตัวอื่นคือใช้งานง่ายมีโปรแกรมพัฒนาที่ไม่ซับซ้อนมีโปรแกรมพัฒนา Arduino ใช้งานง่ายสำหรับมือใหม่และมีความสามารถครบตามความต้องการของนักพัฒนามืออาชีพซึ่งแผงวงจร Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ตัวประมวลผลตระกูลเอวีอาร์ขนาดเล็กเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้มากมาย ภาษาในการเขียนโปรแกรมลงบน Arduino ใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่งมีโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน เพียงแต่ได้มีการปรับปรุงรูปแบบในการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่คิดเขียนไปจากมาตรฐานเล็กน้อยเพื่อให้ลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมและให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานโดยตรง

ตัวแผงวงจร Arduino ที่ใช้ในโครงการนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของเอวีอาร์ขนาด 8 บิต โดยเป็นตัวประมวลผลแบบ RISC (Reduced instructionset computer) และมีหน่วยความจำแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) ซึ่งแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash) เป็นหน่วยความจำโปรแกรมและใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับเป็นหน่วยความจำข้อมูล นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้โดยไม่ต้องมีไฟเลี้ยงซึ่งมีคุณสมบัติเด่นดังนี้ [6]

- 1) หน่วยความจำโปรแกรมแบบ FLASH ขนาด 32 กิโลไบต์
- 2) หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 2 กิโลไบต์
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์
- 4) สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบ I2C bus
- 5) พอร์ตอินและพอร์ตเอาต์พุตจำนวน 23 บิต
- 6) วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตในตัวจำนวน 8 ช่อง
- 7) ทำงานได้ตั้งแต่ย่านแรงดัน 1.8 - 5.5 โวลต์
- 8) ความถี่ใช้งานสูงสุด 20 เมกกะเฮิร์ตซ์
- 9) วงจรสื่อสารอนุกรม
- 10) ตัวจับเวลาและตัวนับขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัวและU3586 ขนาด 16 บิตจำนวน 1 ตัว
- 11) สนับสนุนช่องสัญญาณสำหรับสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) จำนวน 6 ช่อง



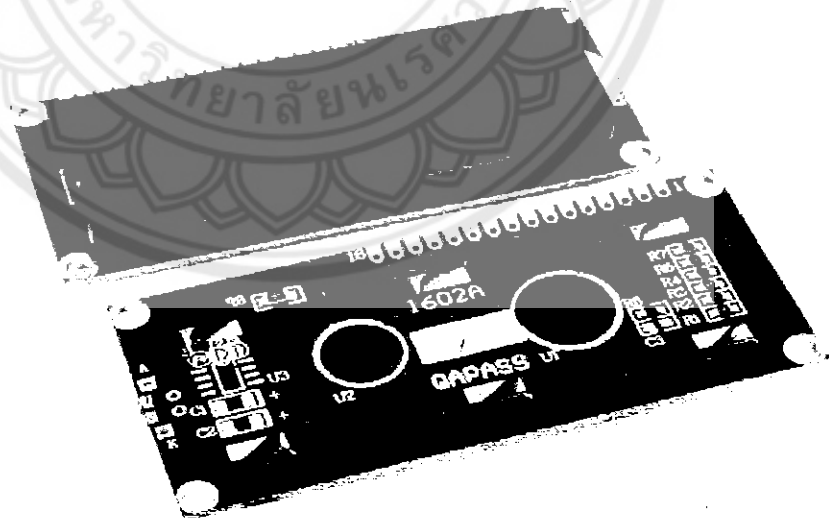
รูปที่ 2.9 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ATmega328P-PU

ที่มา: <http://www.taradplaza.com/product/5385788>

## 2.5 จอแสดงผลแอลซีดี

ในการควบคุมหรือสั่งงานตัวจอแสดงผลแอลซีดี (Liquid crystal display, LCD) นั้นมีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวอยู่แล้วสามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอแสดงผลแอลซีดีผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร โดยส่วนควบคุมจอแสดงผลแอลซีดีของจอตัวนี้เป็น รุ่น Hitachi HD44780 ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และขาในการเชื่อมต่อระหว่างจอแสดงผลแอลซีดีกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังนี้ [7]

- 1) GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับแอลซีดี
- 2) VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับจอแอลซีดีขนาด +5 โวลต์
- 3) VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอ LCD RS ใช้บอกให้ตัวควบคุมจอแสดงผลทราบว่ารหัสคำสั่งที่ส่งมาทางขาข้อมูลเป็นคำสั่งหรือข้อมูล
- 4) RS ใช้บอกส่วนควบคุมจอแสดงผลแอลซีดีทราบว่ารหัสที่ส่งมาทางขาข้อมูลเป็นคำสั่งหรือข้อมูล
- 5) R และ W ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับส่วนควบคุมจอแสดงผลแอลซีดี
- 6) E เป็นขา Enable หรือ Chips select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับส่วนควบคุมจอแสดงผลแอลซีดี
- 7) DB0 - DB7 เป็นขาสัญญาณในการเขียนหรืออ่านข้อมูลเพื่อควบคุมจอแสดงผล

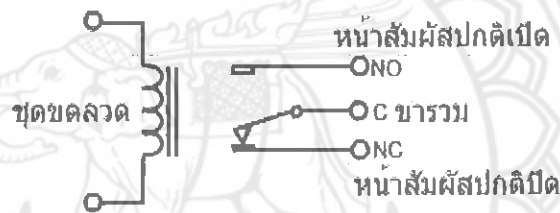


รูปที่ 2.10 จอแสดงผลแอลซีดี รุ่น Hitachi HD44780 [7]

## 2.6 รีเลย์

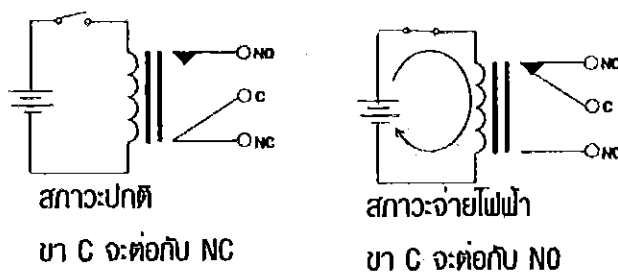
รีเลย์ (Relay) ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรแบบเดียวกับสวิตช์และทำงานโดยอาศัยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับรีเลย์ รีเลย์นั้นมีมากมายหลายประเภท เช่น รีเลย์ขนาดเล็ก ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ หรือ รีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานทางไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น โดยมีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกันไป แต่มีหลักการทำงานนั้นคล้ายกัน

โครงสร้างของรีเลย์ขนาดเล็กที่พบเห็นในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะประกอบไปด้วย ขดลวด 1 ชุด และ หน้าสัมผัส ซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด ซึ่งจะประกอบไปด้วย หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally close, NC) ซึ่งในสภาวะปกติ ขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม (Common, C) และ หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally open, NO) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วมเมื่อขดลวดมีแรงดันครบหรือกระแสไหลผ่าน ในปริมาณที่เพียงพอดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของรีเลย์ทั่วไป [8]

หลักการทำงานของรีเลย์ รีเลย์จะทำงานเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดซึ่งหน้าสัมผัส NC กับ C จะต่อถึงกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ และเมื่อเราหยุดจ่ายไฟให้กับขดลวดจะทำให้หน้าสัมผัสกลับมาอยู่ในสภาวะปกติ ซึ่งหน้าสัมผัส C มาต่อกับหน้าสัมผัส NO ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจาก NO ไปยัง C ได้ และ เมื่อเราเอากระแสไฟฟ้าออกจากรีเลย์ หน้าสัมผัส C จะถูกสปริงดึงไปให้ติดกับหน้าสัมผัส NC ดังเดิม [8] ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สภาวะการทำงานของรีเลย์ [9]

ขาของรีเลย์จะประกอบไปด้วยตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้คือขาจ่ายแรงดันใช้งาน ซึ่งจะมียู  
2 ขา จากรูปสัญลักษณ์ขดลวดแสดงตำแหน่งขาต่อแรงดันใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.13

- ขา C จะเป็นขาต่อระหว่าง NO และ NC
- ขา NO โดยปกติขานี้จะเปิดเอาไว้ จะทำงานเมื่อเราป้อนแรงดันให้รีเลย์
- ขา NC โดยปกติขานี้จะต่อกับขา C ในกรณีที่เราไม่ได้จ่ายแรงดัน หน้าสัมผัสของ C และ NC จะต่อถึงกัน



รูปที่ 2.13 ตำแหน่งขาการใช้งานของรีเลย์ [9]

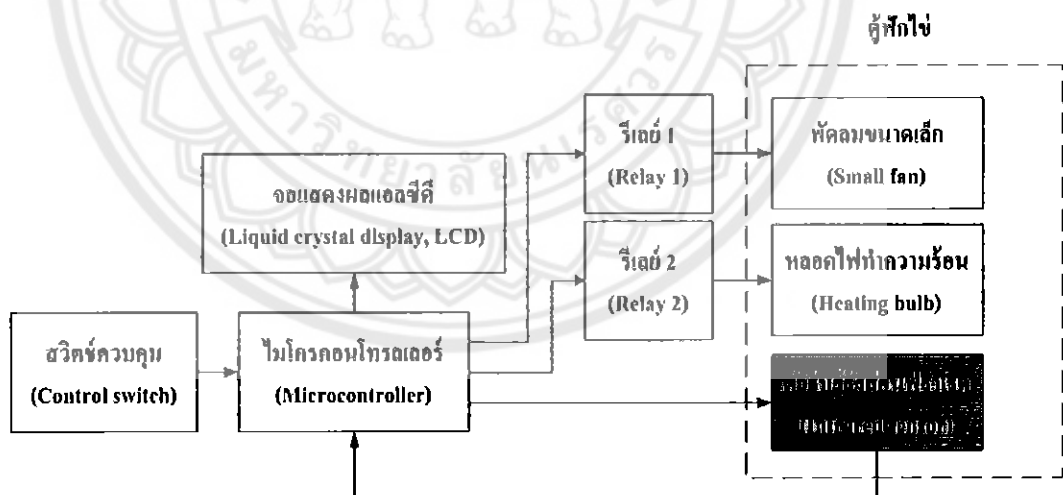
### บทที่ 3

## การสร้างส่วนควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองของผู้ฟักไข่

ในโครงการนี้ตัวรับรู้งรังสีอินฟราเรดถูกใช้ร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิภายในแบบจำลองของผู้ฟักไข่ โดยดำเนินการออกแบบและสร้างแบบจำลองในส่วนควบคุมอุณหภูมิของผู้ฟักไข่ ในที่นี้ใช้หลอดไฟในการสร้างความร้อนและใช้พัดลมขนาดเล็กเพื่อช่วยให้อุณหภูมิภายในแบบจำลองมีค่าสม่ำเสมอเร็วยิ่งขึ้น รวมทั้งได้ออกแบบกล่องควบคุมอุณหภูมิและการปรับตั้งช่วงค่าอุณหภูมิที่ต้องการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.1 การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรด

ในการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ตัวรับรู้งรังสีอินฟราเรดเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิในแบบจำลองส่วนอุณหภูมิของผู้ฟักไข่ เพื่อที่จะนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่เราต้องการและให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลไปสั่งให้ทำงานนั้นคือ หลอดไฟทำความร้อนและพัดลมขนาดเล็กเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการฟักไข่ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



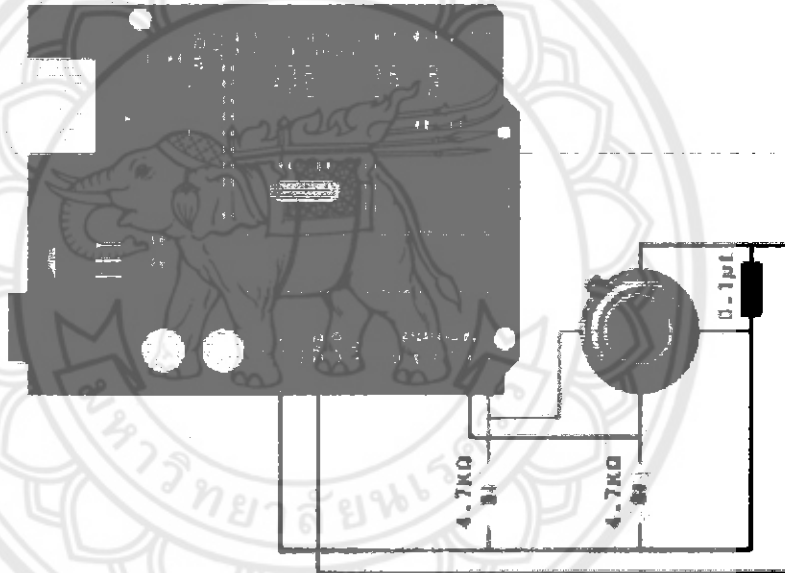
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของส่วนควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองของผู้ฟักไข่

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนภาพการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิในแบบจำลองผู้ฟักไข่ เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการฟักไข่ โดยส่วนประกอบที่สำคัญมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



### 3.1.1 การเชื่อมต่อใช้งานตัวรับรู้งสีอินฟราเรด

ในโครงการนี้ใช้ตัวรับรู้งสีอินฟราเรด รุ่น MLX90614 – BAA ซึ่งในการใช้งานมีการต่อ R1, R2 ขนาด 4.7 กิโลโห์ม 2 ตัว ต่อเพื่อให้แรงดันที่ต่อเข้ากับขาของไมโครคอนโทรลเลอร์จะคงอยู่ในสถานะที่ถูกดึง และต่อ C1 ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด เพื่อช่วยกรองสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่สูง โดยการต่อใช้งานตัวรับรู้งสีมีทั้งหมด 4 ขา คือขา SCL เป็นขาสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวรับรู้งกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ขา SDA เป็นขาของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตในรูปแบบของสัญญาณ PWM ขา VDD เป็นขาป้อนไฟเลี้ยงขนาด 3.3 โวลต์ ให้กับตัวตัวรับรู้งและขา VSS เป็นขากราวด์ ในการรับส่งข้อมูลนั้นจะถูกควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

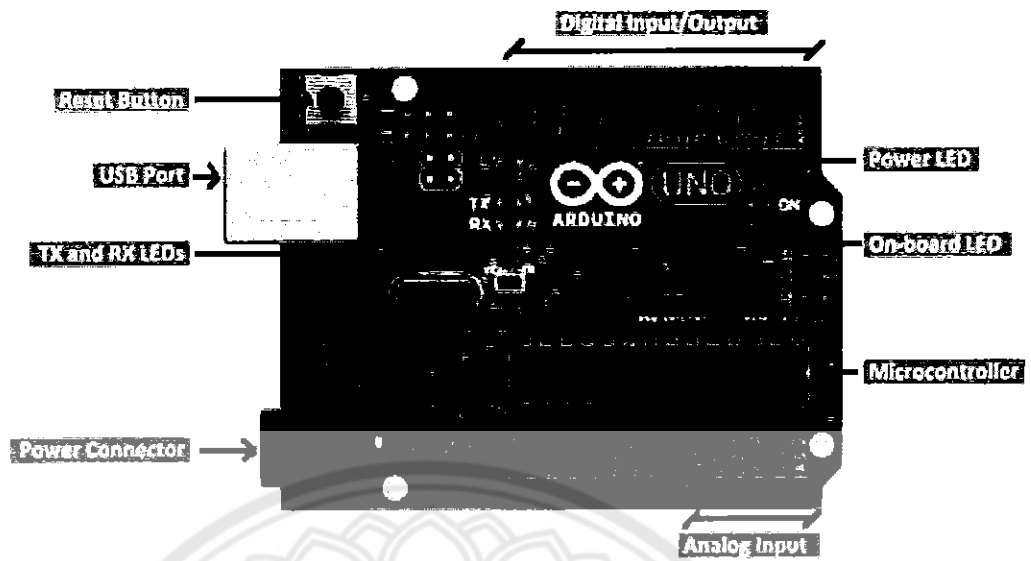


รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อใช้งานตัวรับรู้งสีอินฟราเรดกับแผงวงจร Arduino

ที่มา: <http://bildr.org/2011/02/mlx90614-arduino/>

### 3.1.2 การเชื่อมต่อใช้งาน Arduino รุ่น Uno r3

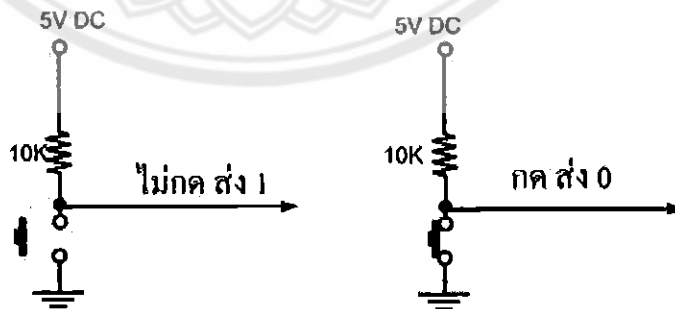
แผงวงจร Arduino ทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวรับรู้งแล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้แล้วประมวลผลและแสดงผลที่จอแอลซีดีแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมหลอดไฟทำความร้อนและพัดลมขนาดเล็ก เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของแผงวงจร Arduino รุ่น Uno r3  
 ที่มา: <http://resources.intenseschool.com/arduino-getting-started/>

3.1.3 วงจรสวิตช์ควบคุม

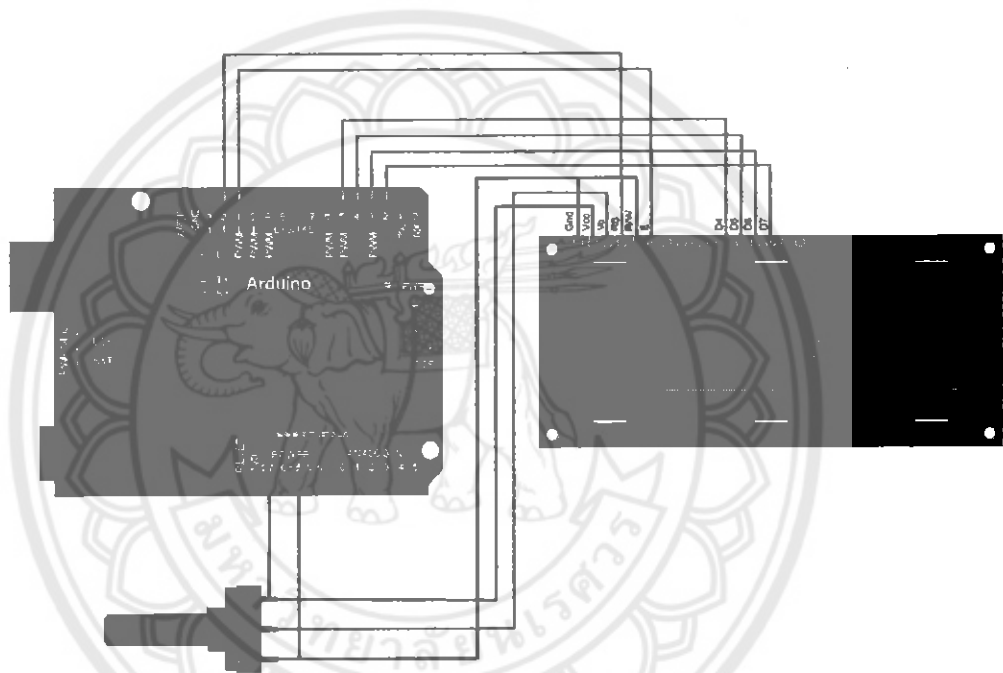
วงจรสวิตช์ควบคุม (Control switch) ใช้สวิตช์ปุ่มกดจำนวน 4 ตัวต่อเข้ากับพอร์ตดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยต่อเข้าที่ขา PD13 PD10 PD9 และ PD8 ชั้นคอนการทำงานคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านข้อมูลจากพอร์ต PD13 PD10 PD9 และ PD8 หากไม่มีการกดสวิตช์ค่าสถานะของสวิตช์จะมีค่าเป็น 1 ทั้งหมด หากมีการกดสวิตช์จะมีค่าเป็น 0 เฉพาะตัวสวิตช์ที่ถูกกดดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรสวิตช์ควบคุม

### 3.1.4 การเชื่อมต่อใช้งานจอแสดงผลแอลซีดี

การเชื่อมต่อวงจรแสดงผลด้วยจอแอลซีดีกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีการใช้งานขาต่าง ๆ ดังนี้คือ ขา 1 ทำหน้าที่เป็นขากราวด์ ขา 2 ทำหน้าที่เป็นไฟเลี้ยง ขา 3 ทำหน้าที่ปรับความเข้มของการแสดงผล ขา 4 เป็นขาที่ใช้แยกชนิดของสัญญาณที่เข้ามา ยัง D0 - D7 ว่าเป็นรหัสคำสั่งหรือรหัสข้อมูล ขา 5 เป็นขาที่กำหนดการอ่านค่าหรือเขียนข้อมูลให้กับแอลซีดี ขา 6 เป็นขารับสัญญาณพัลส์ที่กำหนดให้แอลซีดีทำงาน ขา 7 เป็นขาอินพุตเพื่อรับสัญญาณที่เป็นรหัสคำสั่ง และรหัสข้อมูล 8 บิตดังแสดงในรูปที่ 3.5

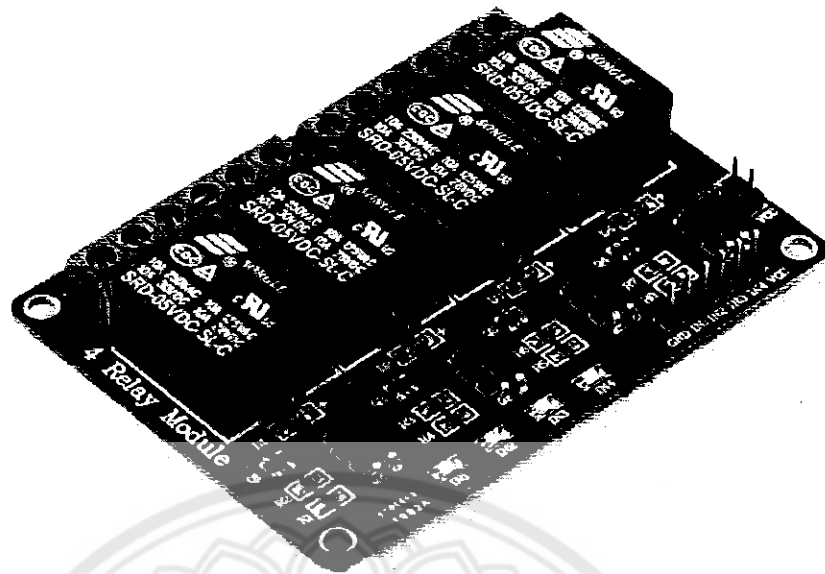


รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อใช้งานจอแสดงผลแอลซีดีกับแผงวงจร Arduino

ที่มา: <http://arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal>

### 3.1.5 โมดูลแผงวงจรรีเลย์

แผงวงจรรีเลย์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในโครงการประกอบด้วยรีเลย์ 4 ตัวดังรูปที่ 3.6 ซึ่งแต่ละตัวสามารถรองรับกระแสได้สูงถึง 10 แอมแปร์ และใช้งานได้ทั้งกับไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งรับแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ โดยตรงจากแผงวงจร Arduino โดยมีหลอดแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของรีเลย์แต่ละตัว ซึ่งถูกออกแบบให้มีการป้องกันวงจรควบคุมออกจากวงจรกำลังด้วยตัวเชื่อมต่อด้วยแสง (Opto-coupler) เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากการทำงานของอุปกรณ์ ทำให้วงจรควบคุมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



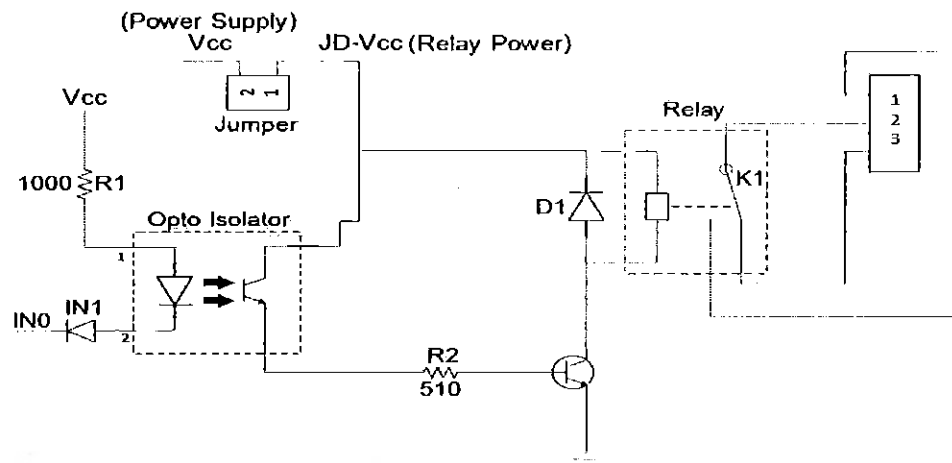
รูปที่ 3.6 โมดูลแผงวงจรรีเลย์ 4 ตัว

ที่มา: <http://www.arduitronics.com/product/140/4-channel-relay>

ในการใช้งาน โมดูลจะมีตัวเชื่อมหนึ่งตัวสำหรับเชื่อมต่อ ไฟเลี้ยงวงจรของวงจรควบคุม (VCC) เข้ากับไฟเลี้ยงชุดรีเลย์ (JD-VCC) ซึ่งหากอุปกรณ์ที่ไปควบคุมโหลดต่าง ๆ นั้นไม่ได้สร้างสัญญาณรบกวนมากนักเราสามารถใช้งาน โมดูลนี้โดยตรงได้ทันทีด้วยการป้อน VCC IN1 IN2 IN3 IN4 และ GND จากวงจรควบคุมได้ทันที

อย่างไรก็ตามจากการใช้ VCC ของวงจรควบคุมป้อนให้กับ JD-VCC ทำให้ทั้งระบบยังคงต้องใช้กราวด์อ้างอิงร่วมกัน ซึ่งหากใช้งานเพื่อควบคุมแรงดันสูง กระแสสูง หรืออุปกรณ์ประเภทขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกิดการรบกวนได้ง่ายควรทำการแยกไฟเลี้ยงรีเลย์ออกจากไฟเลี้ยงวงจร ด้วยการปลดตัวเชื่อมต่อไฟเลี้ยงดังกล่าวแล้วทำการจ่ายไฟเลี้ยงที่เป็นอิสระต่อวงจรควบคุมเข้าสู่ขา JD-VCC และ GND แทน โดยป้อนสัญญาณควบคุมผ่านขา IN1 IN2 IN3 IN4 และขา VCC และไม่ต้องเชื่อมต่อ GND ของฝั่งควบคุม

โมดูลแผงวงจรรีเลย์รับแรงดัน 5 โวลต์ เป็นไฟเลี้ยงขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กและมีตัวเชื่อมต่อด้วยแสงกันระหว่างด้านวงจรควบคุมและด้านโหลด เมื่อ IN0 รับแรงดันมาจากแผงวงจร จะทำให้มีสัญญาณสั่งให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน จึงเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดทำให้หน้าสัมผัสเคลื่อนตัวส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรการทำงานของแผงวงจรรีเลย์

ที่มา: <http://www.arduitronics.com/product/140/4-channel-relay>

### 3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิ

วัสดุอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในการทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิภายในตู้พักไข่ อุปกรณ์ในการสร้างมีดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 หลอดไฟทำความร้อน

ในการเพิ่มความร้อนในแบบจำลองในส่วนของอุณหภูมิของตู้พักไข่เราเลือกใช้หลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ดังรูปที่ 3.8 โดยใช้งานกับไฟกระแสสลับ 220 โวลต์



รูปที่ 3.8 หลอดไส้ ขนาด 100 วัตต์

### 3.2.2 พัฒนขนาดเล็ก

เนื่องจากใช้หลอดไส้เพิ่มความร้อนในแบบจำลองในส่วนของคุณหมิของผู้ฟักไข่ อาจทำให้การกระจายความร้อนในแบบจำลองค่อนข้างช้า ดังนั้นเพื่อช่วยให้คุณหมิภายในมีค่าสม่ำเสมอทั่วทั้งแบบจำลองได้เร็วขึ้น เราจึงใช้พัดลมกระแสสลับขนาดเล็ก ขนาด 17.6 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ (ซึ่งโดยทั่วไปถูกใช้งานเป็นพัดลมระบายอากาศในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 จำนวน 2 ตัว



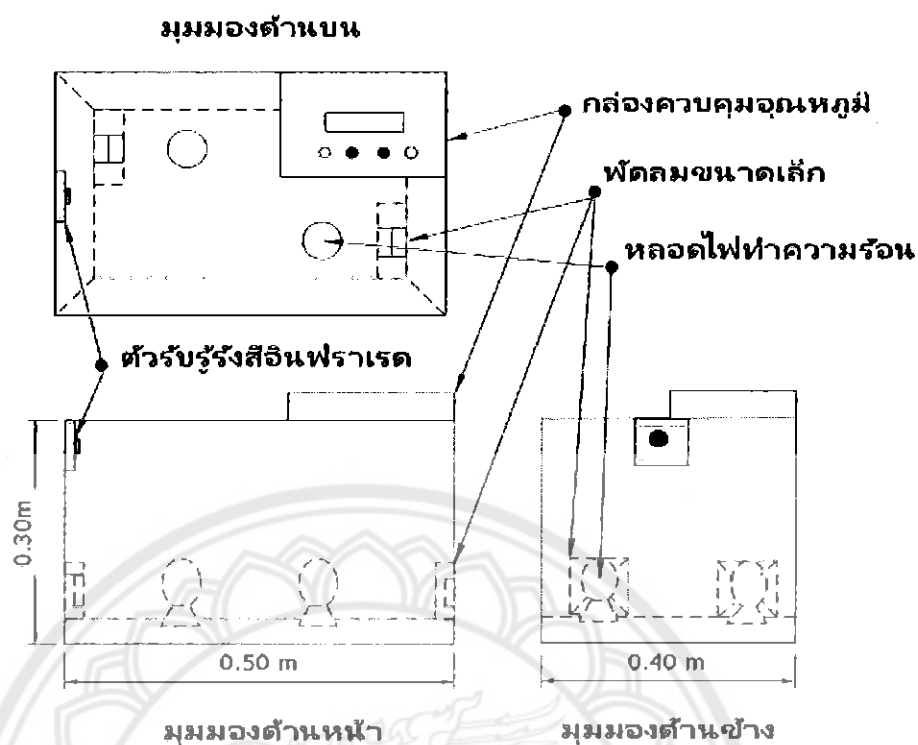
รูปที่ 3.9 พัดลมขนาดเล็ก ขนาด 17.6 วัตต์ 220 โวลต์

ที่มา: <http://www.mynke.com>

## 3.3 การสร้างแบบจำลองส่วนควบคุมอุณหภูมิของผู้ฟักไข่

### 3.3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของแบบจำลอง

แบบจำลองในส่วนของคุณหมิของผู้ฟักไข่มีส่วนประกอบหลัก ๆ ที่สำคัญสำหรับควบคุมอุณหภูมิภายในแบบจำลองในส่วนของคุณหมิของผู้ฟักไข่ให้พอดีและเหมาะสมกับการฟักไข่ สามารถแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในผู้ฟักไข่ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.10



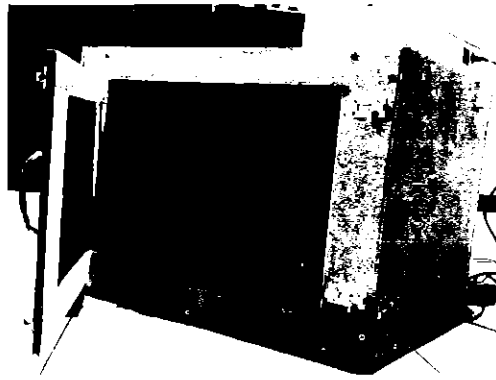
รูปที่ 3.10 ส่วนประกอบของโครงสร้างตู้ฟักไข่

ส่วนประกอบต่าง ๆ มีผลต่ออุณหภูมิภายในของตู้ฟักไข่ ซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน โดยอุปกรณ์ของโครงสร้างตู้ฟักไข่มีส่วนประกอบดังนี้

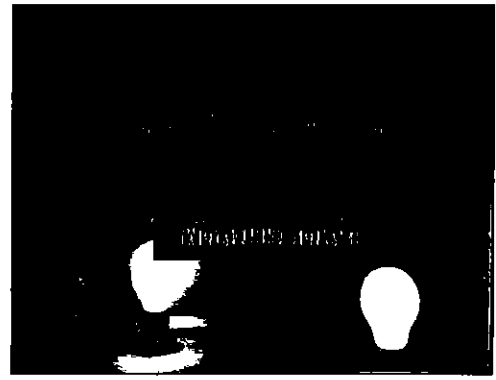
- 1) ตัวรับรู้งสีอินฟราเรด ทำหน้าที่ในการจับอุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่
- 2) กล่องควบคุมอุณหภูมิ ทำหน้าที่ในการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการและแสดงค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาเซลเซียส
- 3) พัดลมขนาดเล็กภายใน ทำหน้าที่กวนอากาศภายในตู้ฟักไข่ให้ทั่วถึง
- 4) หลอดไฟทำความร้อน ทำหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิในตู้ฟักไข่ให้ร้อนขึ้น

### 3.3.2 การประกอบแบบจำลอง

แบบจำลองในส่วนของอุณหภูมิของตู้ฟักไข่ ซึ่งใช้ไม้อัดมาประกอบกันเป็นโครงสร้างโดยตัวโครงสร้างด้านในได้มีการติดตั้งหลอดไฟทำความร้อนและพัดลมขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการทำความร้อนและมีพัดลมเพื่อเป่ากวนอากาศให้อุณหภูมิภายในมีค่าสม่ำเสมอและตัวรับรู้งสีอินฟราเรดในการตรวจวัดอุณหภูมิ รวมถึงมีการติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิอยู่ด้านบนของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ก) และรูปที่ 3.11 (ข)



ก) แบบจำลองควบคุมอุณหภูมิด้านหน้า



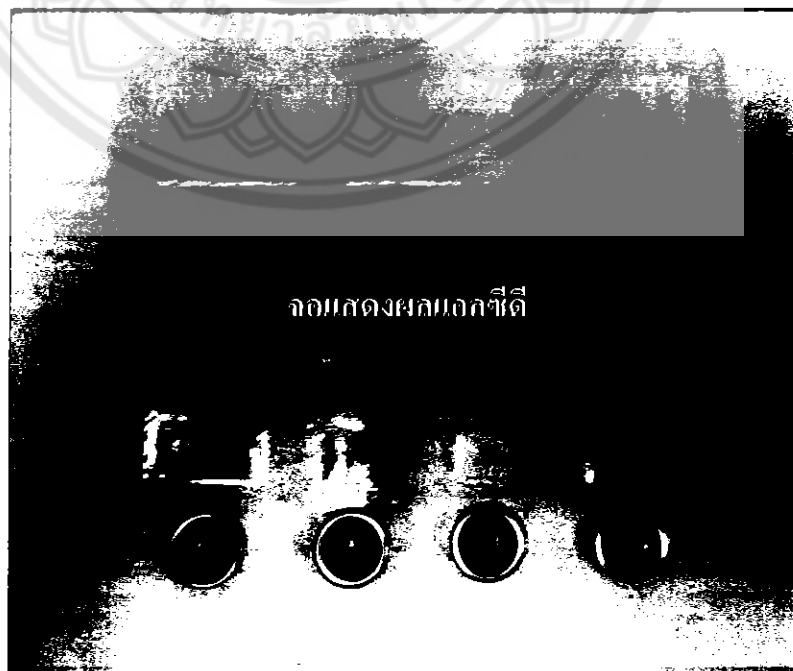
ข) แบบจำลองควบคุมอุณหภูมิด้านใน

รูปที่ 3.11 แบบจำลองในส่วนอุณหภูมิของตู้ฟักไข่

### 3.3.3 กล้องวงจรควบคุมอุณหภูมิ

ส่วนประกอบภายนอกของกล้องวงจรควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.12 โดยควบคุมการทำงานด้วยปุ่มกดต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ปุ่ม MENU ใช้เข้าสู่หน้าปัดตั้งค่าอุณหภูมิขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างตามลำดับ
- 2) ปุ่ม T+ ใช้ปรับเพิ่มค่าอุณหภูมิที่ต้องการ
- 3) ปุ่ม T- ใช้ปรับลดค่าอุณหภูมิที่ต้องการ
- 4) ปุ่ม MAIN ใช้เพื่อกลับเข้าสู่หน้าปัดเริ่มต้น (ดังจะแสดงในหัวข้อ 3.3.4 ต่อไป)
- 5) จอแสดงผล ใช้แสดงค่าอุณหภูมิเป็นตัวเลข



รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบด้านหน้ากล้องวงจรควบคุมอุณหภูมิ



ภายในตัวกล่องควบคุมอุณหภูมิ จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญในการทำงานของระบบ และมีการเชื่อมต่อการทำงานร่วมกัน เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ รวมไปถึงการจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อไม่ให้งานของอุปกรณ์ตัวหนึ่ง ส่งผลข้างเคียงกับอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 3.13

ภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ โดยแต่ละอุปกรณ์มีหน้าที่การทำงานดังนี้

- 1) แผงวงจรตั้งค่าอุณหภูมิ ซึ่งเชื่อมต่อกับสวิตช์ปุ่มกดที่อยู่ด้านหน้าของกล่องควบคุม
- 2) โมดูลแผงวงจรรีเลย์ ทำหน้าที่ตัดต่อของหลอดไฟทำความร้อนและพัดลมขนาดเล็กที่อยู่ภายในแบบจำลอง
- 3) แผงวงจร Arduino มีหน้าที่ในการประมวลผลเพื่อควบคุมการตัดต่อวงจรของรีเลย์
- 4) แผงวงจรสแน็บเบอร์ มีหน้าที่ช่วยในการช่วยลดค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวรีเลย์



รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบภายในกล่องวงจรควบคุมอุณหภูมิ

### 3.3.4 ขั้นตอนการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการในแบบจำลอง

การตั้งค่าช่วงค่าอุณหภูมิที่ต้องการในแบบจำลองสามารถตั้งค่าโดยใช้สวิตช์ปุ่มกด เพื่อควบคุมการทำงานของหลอดไฟทำความร้อนและพัดลมขนาดเล็กในแบบจำลอง ซึ่งจะมีขั้นตอนในการปรับตั้งค่าอุณหภูมิได้ดังนี้

#### 1) หน้าปัดเริ่มต้น

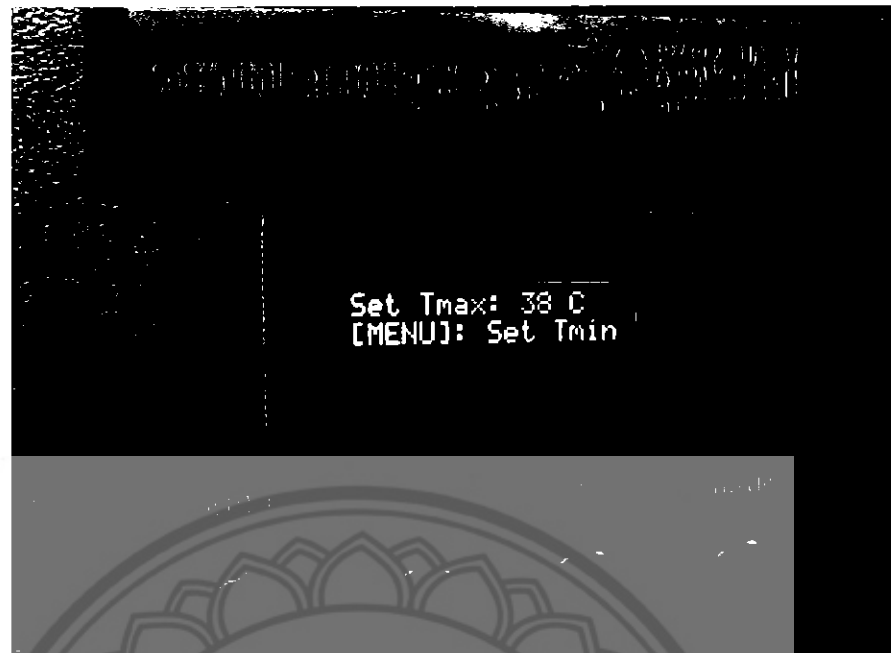
เมื่อระบบเริ่มทำงาน ตัวรับรู้งี้อินฟราเรดทำการตรวจวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองในขณะนั้นแล้วแสดงค่าออกมาบนหน้าจอแอลซีดีดังแสดงในรูปที่ 3.14 ผู้ใช้สามารถเข้าสู่หน้าปัดตั้งค่าอุณหภูมิขีดจำกัดบนได้โดยกดปุ่ม MENU



รูปที่ 3.14 หน้าปัดเริ่มต้นของจอแสดงผลบนกล่องควบคุม

#### 2) การตั้งค่าอุณหภูมิขีดจำกัดบน

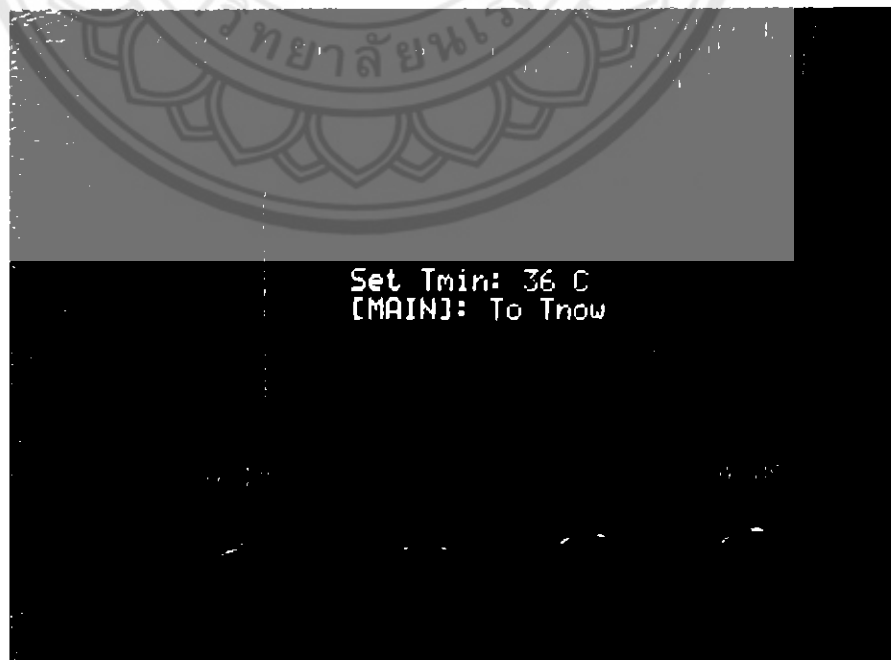
หลังจากเข้าหน้าปัดตั้งค่าขีดจำกัดบนดังแสดงในรูปที่ 3.15 ขณะนี้ผู้ใช้สามารถตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการในแบบจำลองได้โดยกดปุ่ม T+ (ถ้าต้องการเพิ่มค่า) หรือกดปุ่ม T- (ถ้าต้องการลดค่า) จากนั้นผู้ใช้สามารถเข้าสู่หน้าปัดตั้งค่าอุณหภูมิขีดจำกัดล่างได้โดยกดปุ่ม MENU



รูปที่ 3.15 หน้าปัดตั้งค่าขีดจำกัดบน

3) การตั้งค่าอุณหภูมิขีดจำกัดล่าง

หลังจากเข้าหน้าปัดตั้งค่าขีดจำกัดล่างดังแสดงในรูปที่ 3.16 ผู้ใช้สามารถตั้งค่าอุณหภูมิค่าสุดที่ต้องการในแบบจำลองโดยกดปุ่ม T+ (ถ้าต้องการเพิ่มค่า) หรือกดปุ่ม T- (ถ้าต้องการลดค่า) ได้เช่นกัน จากนั้นผู้ใช้สามารถกลับเข้าสู่หน้าปัดเริ่มต้นได้โดยกดปุ่ม MAIN



รูปที่ 3.16 หน้าปัดตั้งค่าขีดจำกัดล่าง

## บทที่ 4

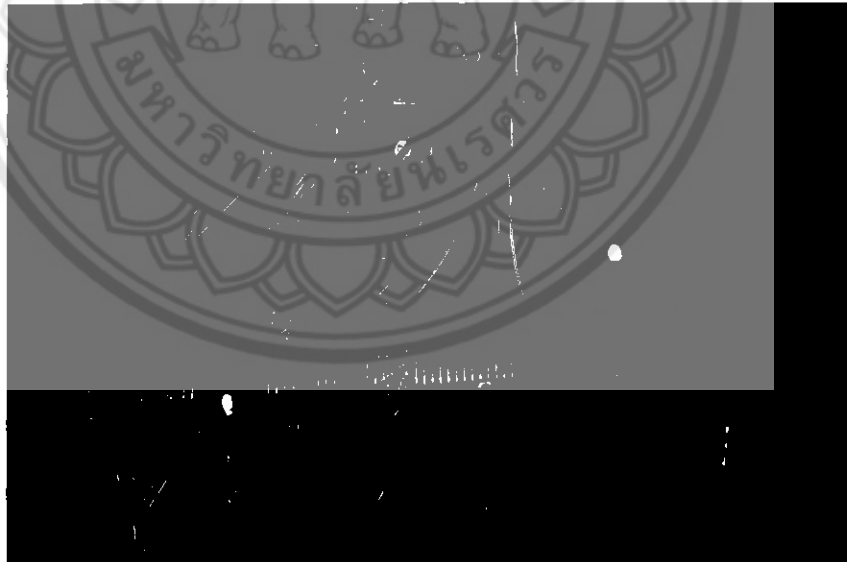
### ผลการทดสอบและอภิปรายผล

หลังจากการศึกษาออกแบบ และสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิโดยอัตโนมัติแล้ว ปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาคือการหาค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิหรือไม่ และทดสอบเพื่อหาค่าแห่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวรับรังสีอินฟราเรด รวมถึงทดสอบเวลาที่ใช้การเพิ่มและการลด 1 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิภายในแบบจำลองในส่วนอุณหภูมิของผู้พักใจ จากนั้นจึงทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ

#### 4.1 การทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิ

##### 4.1.1 ทดสอบการทำงานของตัวรับรังสีอินฟราเรด

- 1) ต่อวงจรตัวรับรังสีอินฟราเรดและจอแสดงผลแอลซีดีร่วมกับแผงวงจร Arduino เพื่อใช้ในการทดสอบวัดอุณหภูมิออกมาเป็นตัวเลข ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรที่ใช้ทดสอบวงจรรับรังสีอินฟราเรด

- 2) เขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Arduino version 1.0.6 และอัปเดตโปรแกรมลงในแผงวงจร Arduino ดังแสดงในรูปที่ 4.2

```

sketch_nov06b
#include <LiquidCrystal.h>
#include <i2cmaster.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
int x=25;

void setup()
{
  pinMode(0, INPUT);
  pinMode(1, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Set Temp : ");
  lcd.print(x);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Setup...");
  i2c_init();
  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5);
}

```

รูปที่ 4.2 สถานะของโปรแกรมขณะอัปเดตโปรแกรมลงในแผงวงจร Arduino

- 3) แสดงค่าอุณหภูมิทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ของ โปรแกรม Arduino ดังรูปที่ 4.3

```

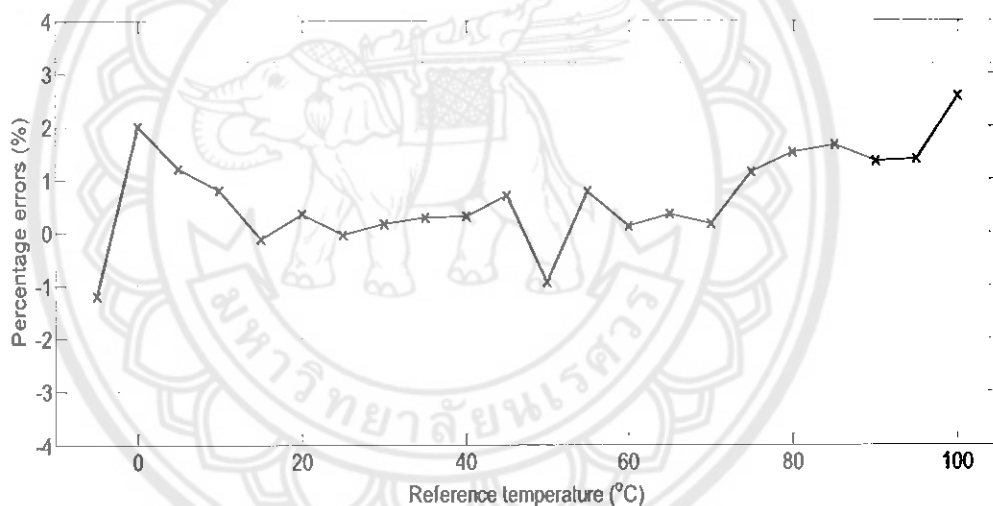
Celcius: 29.84
Celcius: 29.90
Celcius: 29.90
Celcius: 29.82
Celcius: 29.84
Celcius: 29.78
Celcius: 29.82
Celcius: 29.82
Celcius: 29.76
Celcius: 29.88
Celcius: 29.82
Celcius: 29.82
Celcius: 29.84
Celcius: 29.84
Celcius: 29.84

```

รูปที่ 4.3 ผลจากการอ่านค่าอุณหภูมิผ่านทางหน้าจอของคอมพิวเตอร์

#### 4.1.2 ผลการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิ

จากการดำเนินการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิ และได้มีการทดสอบวัดอุณหภูมิเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดปรอท โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในช่วงค่าอุณหภูมิ -5 ถึง 100 องศาเซลเซียส โดยในการทดสอบตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด เราได้ใช้การต้มน้ำในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส และใช้น้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งที่ -5 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้และนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาวาดกราฟเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นช่วงค่าอุณหภูมิที่สามารถสร้างขึ้นมาใช้ทดสอบตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิที่มีค่าต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ไม่สามารถสร้างขึ้นได้ง่ายโดยทั่วไป ประกอบกับอยู่นอกช่วงการทำงานของส่วนควบคุมอุณหภูมิสำหรับตู้ฟักไข่ ดังนั้นในโครงการนี้จึงไม่มีการทดสอบตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดในย่านอุณหภูมิดังกล่าว



รูปที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดในการวัดค่าอุณหภูมิ

การทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน  $\pm$  ร้อยละ 3 จึงสรุปว่าตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดสามารถวัดอุณหภูมิได้ค่อนข้างแม่นยำ

#### 4.2 การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด

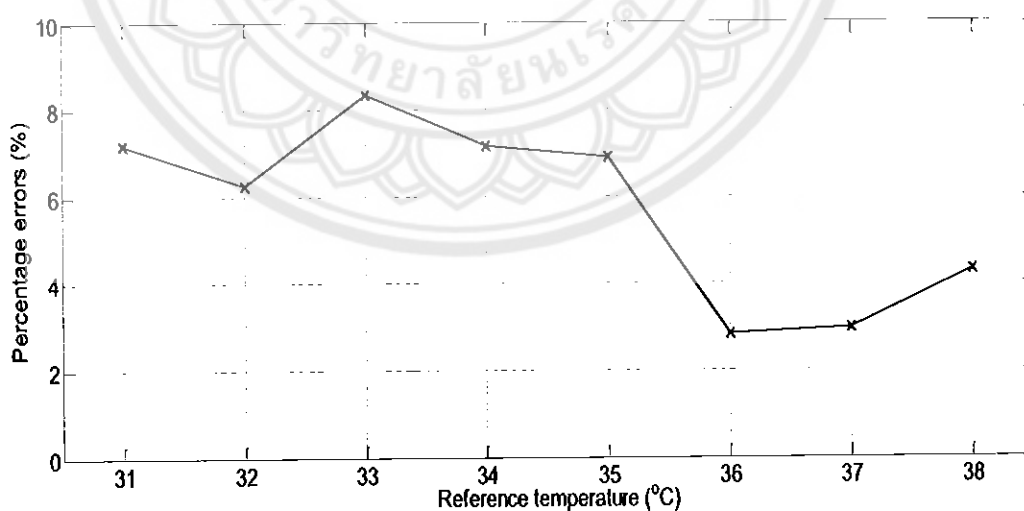
ในการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดนั้น เพื่อให้รู้ว่าตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่งใดภายในแบบจำลองที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิจริง และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

#### 4.2.1 การทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง

การติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดไว้ตรงตำแหน่งที่กึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง และหันทิศทางของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดลงด้านล่าง หลังจากนั้นบันทึกผลการทดสอบที่ได้ เพื่อนำไปหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตารางที่ 4.1 และวาดกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง

อุณหภูมิที่ต้องการ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
31	33.23	7.19
32	34.12	6.25
33	35.75	8.33
34	36.44	7.18
35	37.42	6.91
36	37.02	2.83
37	38.10	2.97
38	39.87	4.29



รูปที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้ไว้กึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดที่ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางด้านบนของแบบจำลอง ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดจะวัดอุณหภูมิลงมาที่ตำแหน่งที่ตรงกับหลอดไฟทำความร้อน ซึ่งความร้อนได้สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากในพื้นที่การตรวจอุณหภูมิของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดจะนำเอาค่าอุณหภูมิของหลอดไฟมาเฉลี่ยรวมกับอุณหภูมิภายใน จึงทำให้อุณหภูมิมีค่าสูงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ต้องการ และมีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงไม่เกินร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 9 แสดงให้เห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

#### 4.2.2 การทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลอง

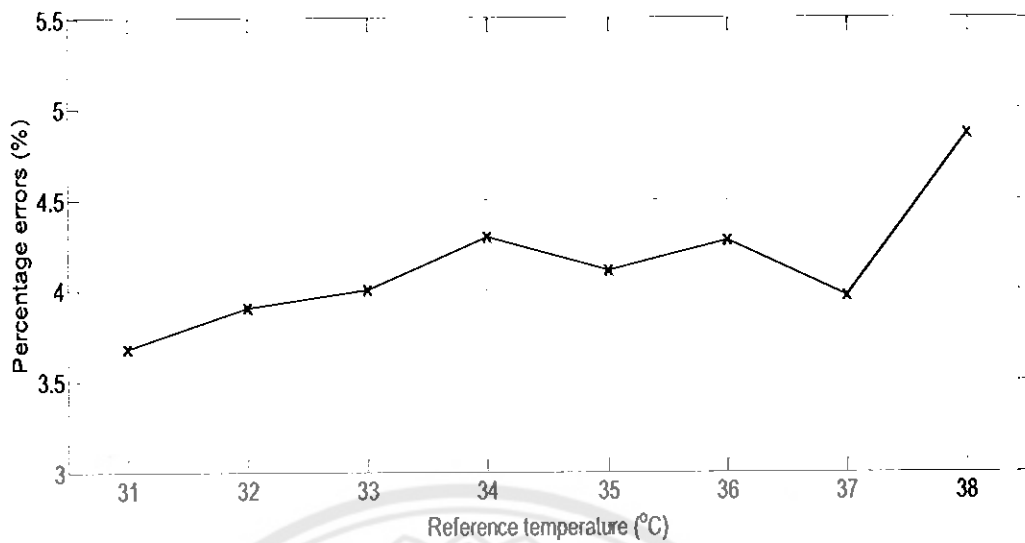
การติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดไว้ตรงตำแหน่งที่ด้านข้างที่กึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลองแล้วหันทิศทางตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดไปด้านตรงข้าม แล้วบันทึกผลการทดสอบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลอง

อุณหภูมิที่ต้องการ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
31	32.14	3.68
32	33.25	3.90
33	34.32	4.00
34	35.46	4.29
35	36.44	4.11
36	37.54	4.27
37	38.47	3.97
38	39.85	4.86

จากตารางที่ 4.2 สามารถนำค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าอุณหภูมิเมื่อติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดไว้กึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลองมาวาดกราฟเทียบกับอุณหภูมิที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 4.6





รูปที่ 4.6 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้ไว้มุมกลางด้านข้างของแบบจำลอง

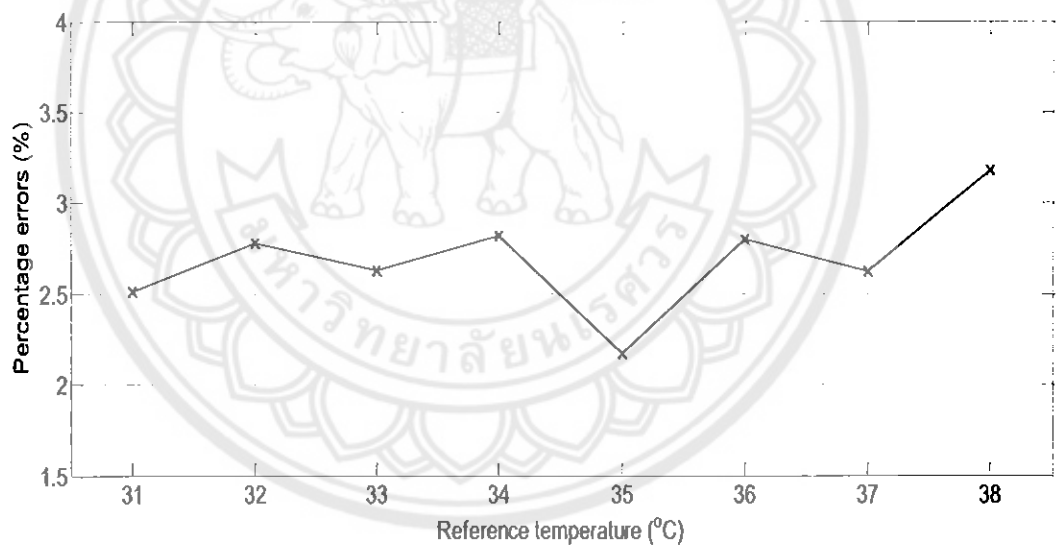
จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของการตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดที่ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางด้านข้างของแบบจำลอง ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งการติดตั้งนั้น ตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดตรวจจับอุณหภูมิที่ตรงกับหลอดไฟทำความร้อนบางส่วน ซึ่งจะตรวจจับความร้อนได้สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากในพื้นที่การตรวจจับอุณหภูมิของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดจะนำเอาค่าอุณหภูมิของหลอดไฟมาเฉลี่ยรวมกับอุณหภูมิภายใน จึงทำให้อุณหภูมิจึงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ต้องการ และมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 5 แสดงให้เห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

#### 4.2.3 การทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านล่างของแบบจำลอง

การติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดไว้ตรงตำแหน่งกึ่งกลางด้านล่างของแบบจำลอง แล้วหันทิศทางตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดขึ้นด้านบน แล้วบันทึกผลการทดสอบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตารางที่ 4.3 และวาดกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.7 ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของการติดตั้งนั้น ตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดตรวจจับอุณหภูมิขึ้นไปในบริเวณของผนังด้านบน ซึ่งจะตรวจจับความร้อนใกล้เคียงกับอุณหภูมิจริง เนื่องจากในพื้นที่การตรวจจับอุณหภูมิของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดจะนำเอาค่าอุณหภูมิของผนังด้านบนมาเฉลี่ยรวมกับอุณหภูมิภายใน จึงทำให้อุณหภูมิจึงมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ และมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 4 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้กึ่งกลางด้านล่างของแบบจำลอง

อุณหภูมิที่ต้องการ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
31	31.78	2.51
32	32.89	2.78
33	33.87	2.63
34	34.96	2.82
35	35.76	2.17
36	37.01	2.80
37	37.97	2.62
38	39.21	3.18



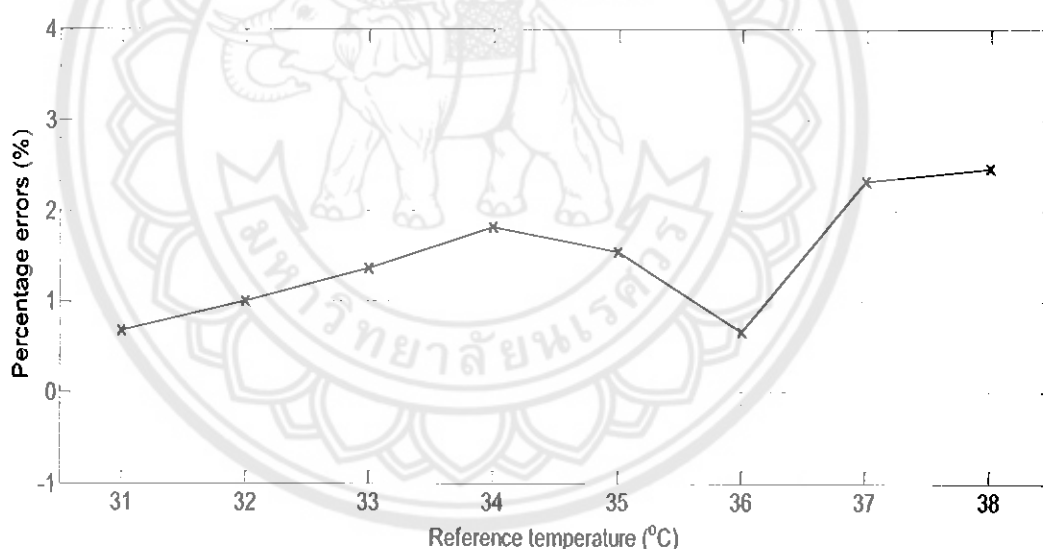
รูปที่ 4.7 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้ไว้กึ่งกลางด้านล่างของแบบจำลอง

#### 4.2.4 การทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้ด้านบนของผนังข้างของแบบจำลอง

การติดตั้งตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดไว้ตรงตำแหน่งที่ด้านบนสุดของผนังข้างของแบบจำลอง แล้วหันทิศทางตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดไปทางด้านตรงข้าม แล้วบันทึกผลการทดสอบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และวาดกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบตัวรับรู้ที่ติดตั้งไว้ด้านบนของผนังข้างของแบบจำลอง

อุณหภูมิที่ต้องการ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
31	31.21	0.68
32	32.32	1.00
33	33.45	1.36
34	34.62	1.82
35	35.54	1.54
36	36.24	0.66
37	37.86	2.32
38	38.94	2.47



รูปที่ 4.8 ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้เมื่อติดตั้งตัวรับรู้ไว้ด้านบนของผนังข้างของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของการติดตั้งนั้น ตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดตรวจจับอุณหภูมิขึ้นไปในพื้นที่ของผนังด้านข้างบนสุด ซึ่งความร้อนส่วนจะลอยตัวอยู่ด้านบน จึงทำให้ตัวรับรู้ตรวจจับอุณหภูมิใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิจริง เนื่องจากใน โชนการตรวจจับอุณหภูมิของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรดจะนำเอาค่าอุณหภูมิของผิวของผนังด้านข้างบนสุดมาเฉลี่ยรวมกับอุณหภูมิภายใน จึงทำให้อุณหภูมิจึงใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการมากที่สุด และมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด เมื่อเทียบกับการทดสอบที่ผ่านมา

### 4.3 การทดสอบเวลาที่ใช้การเพิ่มและการลด 1 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิ

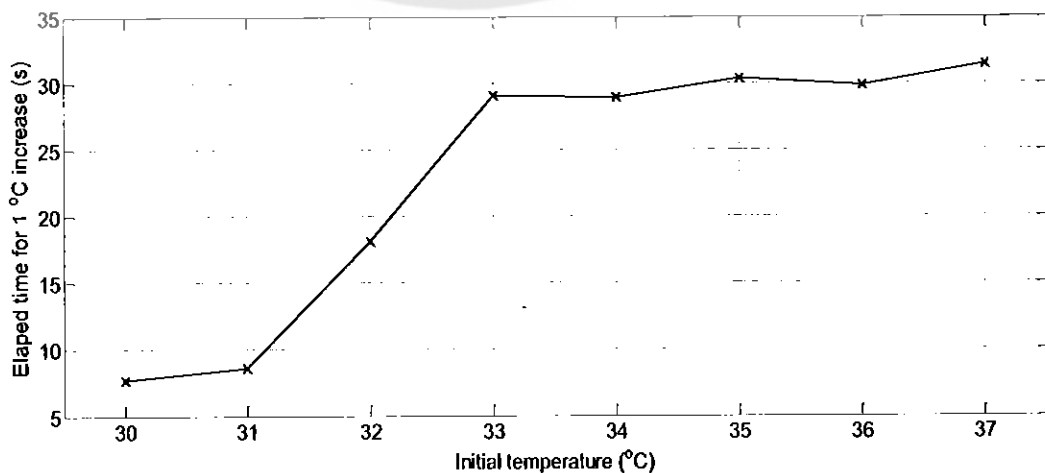
ในการทดสอบเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการเพิ่มและการลด 1 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิ เพื่อสังเกตเวลาในการเพิ่มและลดของอุณหภูมิเริ่มต้นไปยังอุณหภูมิถัดไป

#### 4.3.1 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส

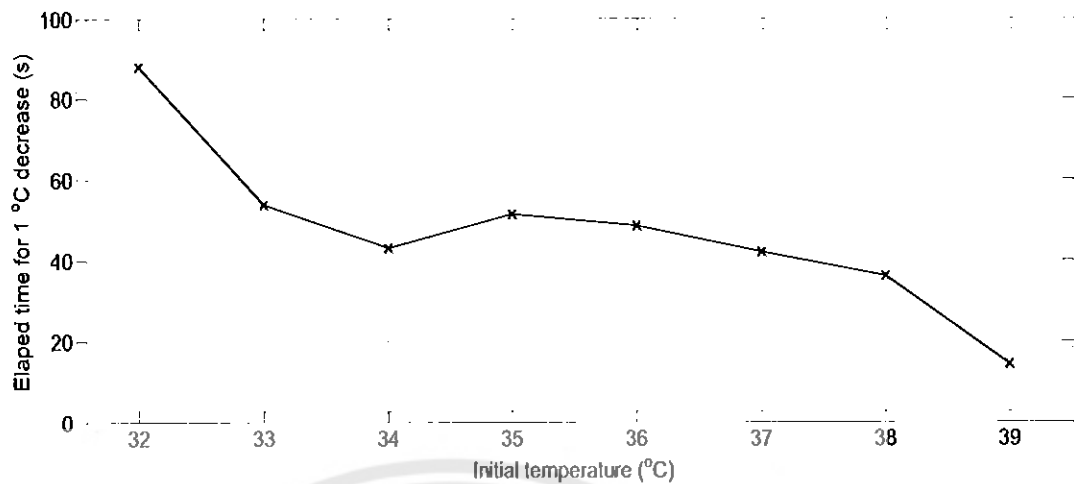
การทดสอบเราได้มีการกำหนดช่วงค่าอุณหภูมิ 30 - 38 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการจับเวลาแล้วบันทึกผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และนำมาวาดกราฟเทียบกับอุณหภูมิที่ต้องการคั่งแสดงในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 เวลาที่ใช้ในการเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส (วินาที)
30	7.67
31	8.60
32	18.11
33	29.07
34	28.89
35	30.35
36	29.80
37	31.38



รูปที่ 4.9 เวลาที่ใช้ในการเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 เวลาที่ใช้ในการลด 1 องศาเซลเซียส

#### 4.4 การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ

ในการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งในการทดลองเราได้มีการตั้งค่าช่วงอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมคือ 36 – 38 องศาเซลเซียส และสังเกตการทำงานของหลอดไส้และพัดลมขนาดเล็ก โดยมีอุปกรณ์ที่จะให้ความร้อนจะเป็นหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ และมีพัดลมขนาดเล็กเพื่อเป่ากวนอากาศภายในให้มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)	สถานะ (✓ คือทำงาน, ✗ คือหยุดทำงาน)			
	หลอดไส้ ดวงที่ 1	หลอดไส้ ดวงที่ 2	พัดลมขนาดเล็ก ตัวที่ 1	พัดลมขนาดเล็ก ตัวที่ 2
32.12	✓	✓	✓	✓
34.22	✓	✓	✓	✓
36.36	✓	✓	✓	✓
38.04	✗	✗	✗	✗
37.89	✗	✗	✗	✗
36.52	✗	✗	✗	✗
35.97	✓	✓	✓	✓
37.58	✓	✓	✓	✓
38.06	✗	✗	✗	✗

จากการทดสอบหลังจากการปรับตั้งค่าช่วงของอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมที่ 36 – 38 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 36 องศาเซลเซียส จะทำให้หลอดไฟทำความร้อนและพัดลมขนาดเล็กทำงานเพื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิภายในแบบจำลองให้อยู่ในช่วงที่เราต้องการ และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส จะทำให้หลอดไฟทำความร้อนและพัดลมขนาดเล็หยุดทำงานเพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปผลและชี้แจงปัญหาในการดำเนินงานรวมทั้งเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหาและให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการไปพัฒนาต่อไปดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในโครงการนี้ได้สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟราเรดสำหรับวัดค่าอุณหภูมิของพื้นผิวหรือวัตถุได้โดยไม่ต้องสัมผัสและได้นำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนควบคุมอุณหภูมิของแบบจำลองตู้ฟักไข่เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิในแบบจำลองให้อยู่ในช่วงที่ต้องการซึ่งผู้ใช้สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิขีดจำกัดบนและค่าอุณหภูมิขีดจำกัดล่างได้ตามเวลาจริงโดยใช้ปุ่มกดที่อยู่บนกล่องควบคุมอุณหภูมิ

ก่อนการติดตั้งตัวรับรู้อินฟราเรดในแบบจำลองตู้ฟักไข่นั้นได้ดำเนินการทดสอบหาตำแหน่งที่เหมาะสมจาก 4 ตำแหน่งที่เลือกในแบบจำลอง ผลการทดสอบพบว่าคือด้านบนสุดของผนังด้านข้างเพราะเป็นตำแหน่งที่ตัวรับรู้อินฟราเรดสามารถวัดค่าได้โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (ไม่เกินร้อยละ 3)

การทดสอบหาระยะเวลาที่ส่วนควบคุมอุณหภูมิใช้ในการสร้างความร้อนจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสในแบบจำลอง ผลการทดสอบพบว่าระยะเวลาที่ใช้นั้นมีค่าแปรผันตามค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (ก่อนที่จะเพิ่ม) ในขณะที่การทดสอบจับเวลาในขณะที่อุณหภูมิในแบบจำลองลดลง 1 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบพบว่าระยะเวลาที่ใช้นั้นมีค่าแปรผกผันกับค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (ก่อนที่จะลด) ทั้งนี้เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิกายในและภายนอกแบบจำลองส่งผลโดยตรงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างบริเวณภายในกับภายนอกของแบบจำลอง

การประยุกต์ใช้งานตัวรับรู้อินฟราเรดในการควบคุมอุณหภูมิภายในแบบจำลองตู้ฟักไข่ให้อยู่ช่วง 36 – 38 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวรับรู้อินฟราเรดสามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ค่อนข้างแม่นยำ และระบบควบคุมสามารถรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงค่าที่ต้องการได้

## 5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1) การตัดและต่อวงจรของรีเลย์ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน ส่งผลให้หน้าจอแอลซีดีดับหลังจากใช้งานอย่างต่อเนื่อง แนวทางการแก้ไขปัญหาคือการเพิ่มวงจรกรองสัญญาณรบกวนหรือการแยกแหล่งจ่ายไฟของวงจรกำลังและวงจรควบคุม

2) โครงสร้างผนังของแบบจำลองตู้พักใจที่สร้างขึ้นอาจไม่สามารถเก็บความร้อนได้ดีพอส่งผลให้ แนวทางปรับปรุงโครงสร้างคือวัสดุที่มีค่าฉนวนความร้อนสูงขึ้นหรือใช้กระจกแทนไม้อัดซึ่งย่อมส่งผลให้อาจเพิ่มความยุ่งยากในการประกอบรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการสร้าง

## 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ตัวรับรู้อินฟราเรดอาจนำไปใช้ประกอบการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์ในระบบกระบวนการผลิตในทางอุตสาหกรรมหรือวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเพื่อตรวจหาความผิดปกติ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับระบบควบคุมเพื่อรักษาอุณหภูมิของกระบวนการผลิตหนึ่ง ๆ ให้คงที่หรืออยู่ในช่วงค่าที่ต้องการได้



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, “เครื่องวัดอุณหภูมิชนิดแบบใช้รังสีอินฟราเรด”, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2557 จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4305/infrared-thermometer>
- [2] Datasheet MLX90614 family Single and Dual Zone, “MLX90614 General Description”, สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2557 จาก <http://www.melexis.com/Asset/IR-sensorthermometer-MLX90614-Datasheet-TdownloadLink-5152.aspx>
- [3] ผศ.ดร.รัตติกร ชีมนิรันดร์, “ทฤษฎีควอนตัมเบื้องต้น”, สืบค้นเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2557 จาก [science.sut.ac.th/physics/Doc/105102/phys2-8.pdf](http://science.sut.ac.th/physics/Doc/105102/phys2-8.pdf)
- [4] นวภัทรา และ ทวีพล.2555, “สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน”, สืบค้นเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2557 จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4304/emissivity>
- [5] วรวิทย์วิชชาภิชาติ. 2531, “ไขและ การฟักไข”, พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากร-ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 240 น.
- [6] Arduino UnoBoard “Overview arduinouno R3”, สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2557 จาก <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- [7] บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด, “การใช้งาน Character LCD Display กับ Arduino”, สืบค้นเมื่อ 13 ตุลาคม 2557 จาก <http://thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article>
- [8] Smart Learning, “หลักการทํางานของรีเลย์ (Relay)”, สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2557 จาก <http://www.smartlearningweb.com/knowledge/relay/relay.htm>
- [9] บ้านอิเล็กทรอนิกส์, “อุปกรณ์ คอน รีเลย์”, สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2557 จาก [http://www.semi-shop.com/knowledge/knowledge\\_detail.php?sk\\_id=28](http://www.semi-shop.com/knowledge/knowledge_detail.php?sk_id=28)



รหัสต้นฉบับของโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิภายในแบบจำลองตู้ฟักไข่

```

#include <LiquidCrystal.h> //การเรียกใช้งานจอแสดงผลแอลซีดี
#include <i2cmaster.h> /*การเรียกใช้งานระบบสื่อสารข้อมูลที่ใช้สาย 2 สายในการส่งข้อมูลคือ
สาย SDA (Serial Data Line) และสาย SCL (Serial Clock Line) สาย SDA คือสายที่ใช้ในการส่ง
ข้อมูล และสาย SCL เป็นสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน ระบบ I2C Bus*/
LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2); //กำหนดขาใช้งานจอแสดงผลแอลซีดี
#define RELAY_ON 0 //กำหนดให้รีเลย์ทำงานที่ลอจิก 0
#define RELAY_OFF 1 //กำหนดให้รีเลย์ไม่ทำงานที่ลอจิก 1
#define fan 7 //กำหนดขาที่ใช้งานพัดลมขนาดเล็กเป็นขาที่ 7
#define heater 6 //กำหนดขาที่ใช้งานหลอดไฟทำความร้อนเป็นขาที่ 6
int menu=13; //กำหนดขาใช้งานสวิทช์ปุ่มกด MENU เป็นขาที่ 13
int main=10; //กำหนดขาใช้งานสวิทช์ปุ่มกด MAIN เป็นขาที่ 10
int Tup=9; //กำหนดขาใช้งานสวิทช์ปุ่มกด T+ เป็นขาที่ 9
int Tdown=8; //กำหนดขาใช้งานสวิทช์ปุ่มกด T- เป็นขาที่ 8
int running = 1; //กำหนดตัวแปรเริ่มต้นการทำงาน
int Max=25; //กำหนดตัวแปรค่าอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนตั้งค่า ของการตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุด
int Min=25; //กำหนดตัวแปรค่าอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนตั้งค่า ของการตั้งค่าอุณหภูมิต่ำสุด
void setup () //การตั้งค่ากำหนดการ ใช้งานเริ่มต้นของตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนด
{
    digitalWrite(fan, RELAY_OFF); //กำหนดให้รีเลย์ยังไม่มีการทำงาน
    digitalWrite(heater, RELAY_OFF); //กำหนดให้รีเลย์ยังไม่มีการทำงาน
    delay(2000); //หน่วงเวลาตัวสอบการทำงานของรีเลย์
    pinMode(fan,OUTPUT); //กำหนดให้ขาที่ใช้งานพัดลมเป็นเอาต์พุต
    pinMode(heater,OUTPUT); //กำหนดให้ขาที่ใช้งานพัดลมเป็นเอาต์พุต
    Serial.begin(9600); /*กำหนดพอร์ตที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับแผงวงจร
Arduino */
    i2c_init(); //กำหนดให้มีการเริ่มใช้งานระบบ I2C Bus
    PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5);
    lcd.begin(16,2); //กำหนดตำแหน่งการใช้งานจอแสดงผลแอลซีดีทั้งหมด
    pinMode(menu,INPUT); //กำหนดให้ขาที่ใช้งานสวิทช์ปุ่มกด MENU เป็นอินพุต
    pinMode(main,INPUT); //กำหนดให้ขาที่ใช้งานสวิทช์ปุ่มกด MAIN เป็นอินพุต
    pinMode(Tup,INPUT); //กำหนดให้ขาที่ใช้งานสวิทช์ปุ่มกด T+ เป็นอินพุต
    pinMode(Tdown,INPUT); //กำหนดให้ขาที่ใช้งานสวิทช์ปุ่มกด T- เป็นอินพุต

```

```

lcd.clear(); //ล้างหน้าจอแอลซีดีและตำแหน่งเคอร์เซอร์
lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("LOADING"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
delay(500); //หน่วงเวลาการแสดงผล
lcd.setCursor(8,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("."); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
delay(500); //หน่วงเวลาการแสดงผล
lcd.setCursor(9,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("."); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
delay(500); //หน่วงเวลาการแสดงผล
lcd.setCursor(10,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("."); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
delay(1000); //หน่วงเวลาการแสดงผล
}
void loop() //ลูปของการทำงานหลักของตัวโปรแกรม
{
  lcd.clear(); //ล้างหน้าจอแอลซีดีและตำแหน่งเคอร์เซอร์
  do //สั่งให้ทำงานก่อนแล้วค่อยตรวจสอบเงื่อนไข
  {
    lcd.setCursor(0,1); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("[MENU]: Set Tmax"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    int dev = 0x5A<<1; //กำหนดสัญญาณที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
    int data_low = 0; //กำหนดตัวแปรข้อมูลไบต์ต่ำ = 0
    int data_high = 0; //กำหนดตัวแปรข้อมูลไบต์สูง = 0
    int pec = 0; //กำหนดตัวแปรเริ่มต้นของ pec = 0
    i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE); //รับข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้งีอินฟราเรด
    i2c_write(0x07); //เขียนข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้งีอินฟราเรด
    i2c_rep_start(dev+I2C_READ); /*เรียงเรียงข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้งีอินฟราเรด*/
    data_low = i2c_readAck(); //อ่านข้อมูลไบต์สูง
    data_high = i2c_readAck(); //อ่านข้อมูลไบต์ต่ำ
    pec = i2c_readNak(); // ข้อมูลที่อ่านได้จากตัวรับรู้งีอินฟราเรด
  }
}

```

```

i2c_stop(); //กำหนดให้มีการหยุดใช้งานระบบ I2C Bus
double tempFactor = 0.02; //กำหนดตัวคูณปรับตั้งของอุณหภูมิ
double tempData = 0x0000; //กำหนดไบต์ข้อมูลเริ่มต้น
tempData = (double)(((data_high & 0x007F) << 8) + data_low); /*แปลงค่า
อุณหภูมิที่ได้จากตัวรับรู้งีอินฟราเรด*/
tempData = (tempData * tempFactor)-0.5; //ค่าอุณหภูมิที่แปลงค่าแล้ว
float Tnow = tempData - 273.15; /*แปลงค่าอุณหภูมิให้อยู่ในหน่วยขององศา
เซลเซียส*/

Serial.print("Celcius: "); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนตัวโปรแกรม
Serial.println(Tnow); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
lcd.setCursor(12,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี
lcd.print("C"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี
lcd.print("Tnow: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
lcd.println(Tnow); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
delay(600); //หน่วงเวลาการแสดงผล
if(Min > Tnow) //ถ้าเงื่อนไขเป็นไปตามที่กำหนดจะทำให้รีเลย์ทำงาน
{
    digitalWrite(fan, RELAY_ON); //รีเลย์ของพัดลมทำงาน
    digitalWrite(heater, RELAY_ON); //รีเลย์ของหลอดทำงาน
}
if(Max < Tnow) //ถ้าเงื่อนไขเป็นไปตามที่กำหนดจะทำให้รีเลย์ไม่ทำงาน
{
    digitalWrite(fan, RELAY_OFF); //รีเลย์ของพัดลมไม่ทำงาน
    digitalWrite(heater, RELAY_OFF); //รีเลย์ของหลอดไม่ทำงาน
}
}while(digitalRead(menu)==LOW); //ตรวจสอบเงื่อนไขการทำงาน
if(digitalRead(menu)==HIGH) /*ถ้าเงื่อนไขเป็นไปตามที่กำหนดจะสั่งให้แสดงในส่วน
ของกรณี a และในส่วนของ การปรับตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุด*/
{
    lcd.clear(); //ล้างหน้าจอแอลซีดีและตำแหน่งเคอร์เซอร์
    delay(400); //หน่วงเวลาการทำงานของเงื่อนไข
}

```

```

        running = 2; //กำหนดค่าให้ running = 2
    if(digitalRead(main)==LOW); //ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะแสดงผลกรณี a
    {
        screen('a'); //แสดงผลในกรณี a
    } while(digitalRead(Tup)==LOW&&digitalRead(Tdown)==LOW&&digitalRead(menu
) ==LOW&&digitalRead(main)==LOW); //ตรวจสอบเงื่อนไขการทำงาน
    while(digitalRead(main)==LOW&&digitalRead(menu)= LOW) /*เงื่อนไขของการ
ปรับตั้งอุณหภูมิสูงสุด*/
    {
        if(digitalRead(Tup)==HIGH) //เงื่อนไขของการเพิ่มอุณหภูมิสูงสุด
        {
            Max=Max+1; //ให้ค่าตัวแปร Max=Max+1
            lcd.setCursor(13,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
            lcd.print("C"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
            lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
            lcd.print("Set Tmax: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
            lcd.print(Max); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
            delay(300); //หน่วงเวลาการแสดงผล
            lcd.setCursor(0,1); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
            lcd.print("[MENU]: Set Tmin"); /*แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนด
บนหน้าจอ*/
            if(Max > 39 ) //เงื่อนไขกำหนดให้อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
            {
                Max = 40; //ให้ค่าตัวแปร Max = 40
                lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
                lcd.print("Set Tmax: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
                lcd.print(Max); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
            }
        }
    }
    if(digitalRead(Tdown)==HIGH) //เงื่อนไขการลดของอุณหภูมิสูงสุด
    {
        Max=Max-1; //ให้ค่าตัวแปร Max=Max-1
    }

```

```

lcd.setCursor(13,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("C"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("Set Tmax: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
lcd.print(Max); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
delay(300); //หน่วงเวลาการแสดงผล
lcd.setCursor(0,1); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("[MENU]: Set Tmin"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
if(Max < 26) //กำหนดให้อุณหภูมิสูงสุดไม่น้อยกว่า 25 องศาเซลเซียส
{
    Max = 25; //ให้ค่าตัวแปร Max = 25
    lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("Set Tmax: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.print(Max); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
}
if(Max < Min ) //กำหนดเงื่อนไขให้อุณหภูมิสูงสุดไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุด
{
    Max = Min; //ให้ค่าตัวแปร Max = Min
    lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("Set Tmax: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.print(Max); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
}
}
}

if(running == 2&&digitalRead(main)==LOW) /*ถ้าเงื่อนไขเป็นไปตามที่กำหนดจะสั่ง
ให้แสดงในส่วนของกรณี b และ ในส่วนของการปรับตั้งค่าอุณหภูมิต่ำสุด*/
{
    lcd.clear(); //ล้างหน้าจอแอลซีดีและตำแหน่งเคอร์เซอร์
    delay(400); //หน่วงเวลาการทำงานของเงื่อนไข
    if(digitalRead(main)==LOW); //ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะแสดงผลกรณี b

```

```

{
    screen('b'); //แสดงผลในกรณี b
}while(digitalRead(Tup)==LOW&&digitalRead(Tdown)==LOW&&digitalRead(menu
)==LOW&&digitalRead(main)==LOW); //ตรวจสอบเงื่อนไข

while(digitalRead(main)==LOW) //เงื่อนไขการปรับตั้งอุณหภูมิต่ำสุด
{
    if(digitalRead(Tup)==HIGH) //เงื่อนไขของการเพิ่มอุณหภูมิต่ำสุด
    {
        Min=Min+1; //ให้ค่าตัวแปร Min=Min+1
        lcd.setCursor(13,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
        lcd.print("C"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
        lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
        lcd.print("Set Tmin: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
        lcd.print(Min); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
        delay(300); //หน่วงเวลาการแสดงผล
        lcd.setCursor(0,1); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
        lcd.print("[MAIN]: To Tnow"); /*แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนด
บนหน้าจอ*/
        if(Min > 39) //เงื่อนไขกำหนดให้อุณหภูมิต่ำสุดไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
        {
            Min = 40; //ให้ค่าตัวแปร Min = 40
            lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
            lcd.print("Set Tmin: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
            lcd.print(Min); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
        }
    }
    if(digitalRead(Tdown)==HIGH) //เงื่อนไขการลดของอุณหภูมิต่ำสุด
    {
        Min=Min-1; //ให้ค่าตัวแปร Min=Min-1
        lcd.setCursor(13,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
        lcd.print("C"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    }
}

```



```

lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("Set Tmin: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
lcd.print(Min); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
delay(300); //หน่วงเวลาการแสดงผล
lcd.setCursor(0,1); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
lcd.print("[MAIN]: To Tnow"); /*แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนด
บนหน้าจอ*/
if(Min < 26) //กำหนดให้อุณหภูมิต่ำสุดไม่น้อยกว่า 25 องศาเซลเซียส
{
    Min = 25; //ให้ค่าตัวแปร Min = 25
    lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("Set Tmin: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.print(Min); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
}
}

if(Min > Max ) //กำหนดเงื่อนไขให้อุณหภูมิต่ำสุดไม่สูงกว่าอุณหภูมิสูงสุด
{
    Min = Max; //ให้ค่าตัวแปร Min = Max
    lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("Set Tmin: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.print(Min); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
}
}
}

void screen(unsigned char x) //รูปของการสร้างเงื่อนไขสำหรับแสดงการทำงานต่าง ๆ
{
    switch(x) //เงื่อนไขการทำงานของกรณีต่าง ๆ
    {
        case 'a': //กำหนดให้กรณี a ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด
        {
            lcd.clear(); //ล้างหน้าจอแอลซีดีและตำแหน่งเคอร์เซอร์

```

```

    lcd.setCursor(13,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("C"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("Set Tmax: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.print(Max); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
    lcd.setCursor(0,1); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("[MENU]: Set Tmin"); /*แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนด
บนหน้าจอ*/
    break; //หยุดการทำงานในเงื่อนไขนี้
}

case 'b': //กำหนดให้กรณี b ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด
{

    lcd.clear(); //ล้างหน้าจอแอลซีดีและตำแหน่งเคอร์เซอร์
    lcd.setCursor(13,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("C"); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.setCursor(0,0); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("Set Tmin: "); //แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนดบนหน้าจอ
    lcd.print(Min); //แสดงผลข้อมูลจากตัวแปร
    lcd.setCursor(0,1); //กำหนดตำแหน่งการแสดงผลบนหน้าจอ
    lcd.print("[MAIN]: To Tnow"); /*แสดงตัวอักษรตามที่เรากำหนด
บนหน้าจอ*/
    break; //หยุดการทำงานในเงื่อนไขนี้

}

}

}

```



รายละเอียดข้อมูลของตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด รุ่น MLX90614 – BAA



# MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

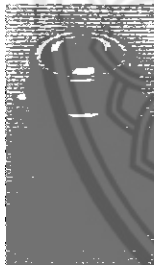
## Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:  
-40...+125°C for sensor temperature and  
-70...+380°C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C over wide temperature range (0...+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8...16V applications
- Sleep mode for reduced power consumption
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

## Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning
- Windshield defogging
- Automotive blind angle detection
- Industrial temperature control of moving parts
- Temperature control in printers and copiers
- Home appliances with temperature control
- Healthcare
- Livestock monitoring
- Movement detection
- Multiple zone temperature control – up to 127 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay / alert
- Body temperature measurement

## Ordering Information

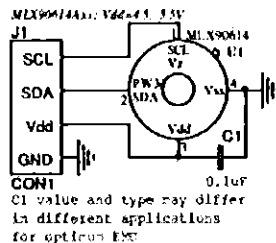


Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code - X X X	Standard part	Packing form
MLX90614	E (-40°C...85°C) K (-40°C...125°C)	SF (TO-39)	(1) (2) (3)	-000	-TU

- |   |   |   |
|---|---|---|
| (1) Supply Voltage/ Accuracy<br>A - 5V<br>B - 3V<br>C - Reserved<br>D - 3V medical accuracy | (2) Number of thermopiles:<br>A – single zone<br>B – dual zone<br>C – gradient compensated* | (3) Package options:<br>A – Standard package<br>B – Reserved<br>C – 35° FOV<br>D/E – Reserved<br>F – 10° FOV<br>G – Reserved<br>H – 12° FOV (refractive lens)<br>I – 5° FOV |
|---|---|---|

Example: MLX90614ESF-BAA-000-TU \* : See page 2

## 1 Functional diagram



MLX90614 connection to SMBus

Figure 1: Typical application schematics

## 2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus (System Management Bus) output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20...120°C, with an output resolution of 0.14°C. The factory default POR setting is SMBus.



## MLX90614 family

### Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39

#### General description (continued)

The MLX90614 is built from 2 chips developed and manufactured by Melexis:

- The Infra Red thermopile detector MLX81101
- The signal conditioning ASSP MLX90302, specially designed to process the output of IR sensor.

The device is available in an industry standard TO-39 package.

Thanks to the low noise amplifier, high resolution 17-bit ADC and powerful DSP unit of MLX90302 high accuracy and resolution of the thermometer is achieved. The calculated object and ambient temperatures are available in RAM of MLX90302 with resolution of 0.01°C. They are accessible by 2 wire serial SMBus compatible protocol (0.02°C resolution) or via 10-bit PWM (Pulse Width Modulated) output of the device.

The MLX90614 is factory calibrated in wide temperature ranges: -40...125°C for the ambient temperature and -70...380°C for the object temperature.

The measured value is the average temperature of all objects in the Field Of View of the sensor. The MLX90614 offers a standard accuracy of  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  around room temperatures. A special version for medical applications exists offering an accuracy of  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  in a limited temperature range around the human body temperature.

It is very important for the application designer to understand that these accuracies are only guaranteed and achievable when the sensor is in thermal equilibrium and under isothermal conditions (there are no temperature differences across the sensor package). The accuracy of the thermometer can be influenced by temperature differences in the package induced by causes like (among others): Hot electronics behind the sensor, heaters/coolers behind or beside the sensor or by a hot/cold object very close to the sensor that not only heats the sensing element in the thermometer but also the thermometer package.

This effect is especially relevant for thermometers with a small FOV like the xxC and xxF as the energy received by the sensor from the object is reduced. Therefore, Melexis has introduced the xCx version of the MLX90614. In these MLX90614xCx, the thermal gradients are measured internally and the measured temperature is compensated for them. In this way, the xCx version of the MLX90614 is much less sensitive to thermal gradients, but the effect is not totally eliminated. It is therefore important to avoid the causes of thermal gradients as much as possible or to shield the sensor from them.

As a standard, the MLX90614 is calibrated for an object emissivity of 1. It can be easily customized by the customer for any other emissivity in the range 0.1...1.0 without the need of recalibration with a black body.

The 10-bit PWM is as a standard configured to transmit continuously the measured object temperature for an object temperature range of -20...120°C with an output resolution of 0.14°C. The PWM can be easily customized for virtually any range desired by the customer by changing the content of 2 EEPROM cells. This has no effect on the factory calibration of the device.

The PWM pin can also be configured to act as a thermal relay (input is  $T_o$ ), thus allowing for an easy and cost effective implementation in thermostats or temperature (freezing / boiling) alert applications. The temperature threshold is user programmable. In a SMBus system this feature can act as a processor interrupt that can trigger reading all slaves on the bus and to determine the precise condition.

The thermometer is available in 2 supply voltage options: 5V compatible or 3V (battery) compatible. The 5V can be easily adopted to operate from a higher supply voltage (8...16V, for example) by use of few external components (refer to "Applications information" section for details).

An optical filter (long-wave pass) that cuts off the visible and near infra-red radiant flux is integrated in the package to provide ambient and sunlight immunity. The wavelength pass band of this optical filter is from 5.5 till 14 $\mu\text{m}$  (except for xCH and xCI type of devices which incorporate uncoated germanium lens).



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 4 Glossary of Terms

PTAT	Proportional To Absolute Temperature sensor (package temperature)
POR	Power On Reset
HFO	High Frequency Oscillator (RC type)
DSP	Digital Signal Processing
FIR	Finite Impulse Response. Digital filter
IIR	Infinite Impulse Response. Digital filter
IR	Infra-Red
PWM	Pulse With Modulation
DC	Duty Cycle (of the PWM) ; Direct Current (for settled conditions specifications)
FOV	Field Of View
SDA,SCL	Serial DAta, Serial CLock – SMBus compatible communication pins
T <sub>a</sub>	Ambient Temperature measured from the chip – (the package temperature)
T <sub>o</sub>	Object Temperature, 'seen' from IR sensor
ESD	Electro-Static Discharge
EMC	Electro-Magnetic Compatibility
ASSP	Application Specific Standard Product
TBD	To Be Defined

Note: sometimes the MLX90614xxx is referred as 'the module'.

### 5 Maximum ratings

Parameter	MLX90614ESF-Axx	MLX90614ESF-Bxx MLX90614ESF-Dxx	MLX90614KSF-Axx
Supply Voltage, V <sub>DD</sub> (over voltage)	7V	5V	7V
Supply Voltage, V <sub>DD</sub> (operating)	5.5 V	3.6V	5.5V
Reverse Voltage		0.4 V	
Operating Temperature Range, T <sub>A</sub>	-40...+85°C		-40...+125°C
Storage Temperature Range, T <sub>S</sub>	-40...+125°C		-40...+125°C
ESD Sensitivity (AEC Q100 002)	2kV		
DC current into SCL / Vz (Vz mode)	2 mA		
DC sink current, SDA / PWM pin	25 mA		
DC source current, SDA / PWM pin	25 mA		
DC clamp current, SDA / PWM pin	25 mA		
DC clamp current, SCL pin	25 mA		

Table 1: Absolute maximum ratings for MLX90614

Exceeding the absolute maximum ratings may cause permanent damage.  
Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer In TO-39

### 6 Pin definitions and descriptions

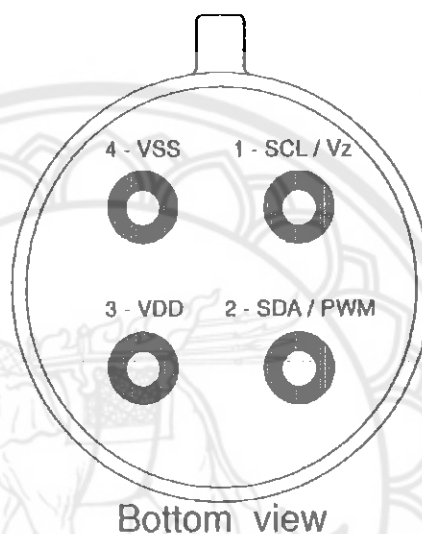


Figure 2: Pin description

Pin Name	Function
SCL / Vz	Serial clock input for 2 wire communications protocol. 5.7V zener is available at this pin for connection of external bipolar transistor to MLX90614Axx to supply the device from external 8 ...16V source.
SDA / PWM	Digital input / output. In normal mode the measured object temperature is available at this pin Pulse Width Modulated. In SMBus compatible mode the pin is automatically configured as open drain NMOS.
VDD	External supply voltage.
VSS	Ground. The metal can is also connected to this pin.

Table 2: Pin description MLX90614

*Note: for +12V (+8...+16V) powered operation refer to the Application information section. For EMC and isothermal conditions reasons it is highly recommended not to use any electrical connection to the metal can except by the VSS pin.  
With the SCL / Vz and PWM / SDA pins operated in 2-wire interface mode, the input Schmidt trigger function is automatically enabled.*



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 7 Electrical Specifications

#### 7.1 MLX90614Axx

All parameters are valid for  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 5\text{V}$  (unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supplies						
External supply	$V_{DD}$		4.5	5	5.5	V
Supply current	$I_{DD}$	No load		1.3	2	mA
Supply current (programming)	$I_{DDpr}$	No load, erase/write EEPROM operations		1.5	2.5	mA
Zener voltage	$V_Z$	$I_Z = 75 \dots 1000\mu\text{A}$ ( $T_A = \text{room}$ )	5.5	5.7	5.9	V
Zener voltage	$V_Z(T_A)$	$I_Z = 70 \dots 1000\mu\text{A}$ , full temperature range	5.15	5.7	6.24	V
Power On Reset						
POR level	$V_{POR,up}$	Power-up (full temp range)	1.4	1.75	1.95	V
POR level	$V_{POR,down}$	Power-down (full temp range)	1.3	1.7	1.9	V
POR hysteresis	$V_{POR,hys}$	Full temp range	0.08	0.1	1.15	V
$V_{DD}$ rise time (10% to 90% of specified supply voltage)	$T_{POR}$	Ensure POR signal			20	ms
Output valid (result in RAM)	$T_{valid}$	After POR		0.25		s
Pulse width modulation <sup>1</sup>						
PWM resolution	$PWM_{res}$	Data band		10		bit
PWM output period	$PWM_{T,del}$	Factory default, internal oscillator factory calibrated		1.024		ms
PWM period stability	$dPWM_T$	Internal oscillator factory calibrated, over the entire operation range and supply voltage	-10		+10	%
Output high Level	$PWM_{HI}$	$I_{source} = 2\text{ mA}$	$V_{DD}-0.2$			V
Output low Level	$PWM_{LO}$	$I_{sink} = 2\text{ mA}$			$V_{SS}+0.2$	V
Output drive current	$I_{drive,PWM}$	$V_{out,H} = V_{DD} - 0.8\text{V}$		7		mA
Output sink current	$I_{sink,PWM}$	$V_{out,L} = 0.8\text{V}$		13.5		mA

Continued on next page





## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer In TO-39

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
SMBus compatible 2-wire interface						
Input high voltage	$V_{IH}(Ta, V)$	Over temperature and supply	3			V
Input low voltage	$V_{IL}(Ta, V)$	Over temperature and supply			0.6	V
Output low voltage	$V_{OL}$	Over temperature and supply, $I_{sink} = 2mA$			0.2	V
SCL leakage	$I_{SCL, leak}$	$V_{SCL} = 4V, Ta = +85^{\circ}C$			30	$\mu A$
SDA leakage	$I_{SDA, leak}$	$V_{SDA} = 4V, Ta = +85^{\circ}C$			0.3	$\mu A$
SCL capacitance	$C_{SCL}$				10	pF
SDA capacitance	$C_{SDA}$				10	pF
Slave address	SA	Factory default		5A		hex
Wake up request	$I_{wake}$	SDA low	33			ms
SMBus Request	$I_{REQ}$	SCL low	1.44			ms
Timeout, low	$T_{timeoutL}$	SCL low	27		33	ms
Timeout, high	$T_{timeoutH}$	SCL high	45		55	$\mu s$
Acknowledge setup time	$T_{suac}(MD)$	8-th SCL falling edge, Master			1.5	$\mu s$
Acknowledge hold time	$T_{hdac}(MD)$	9-th SCL falling edge, Master			1.5	$\mu s$
Acknowledge setup time	$T_{suac}(SD)$	8-th SCL falling edge, Slave			2.5	$\mu s$
Acknowledge hold time	$T_{hdac}(SD)$	9-th SCL falling edge, Slave			1.5	$\mu s$
EEPROM						
Data retention		$Ta = +85^{\circ}C$	10			years
Erase/write cycles		$Ta = +25^{\circ}C$	100,000			Times
Erase/write cycles		$Ta = +125^{\circ}C$	10,000			Times
Erase cell time	$T_{erase}$			5		ms
Write cell time	$T_{write}$			5		ms

Table 3: Electrical specification MLX90614Axx

Notes: All the communication and refresh rate timings are given for the nominal calibrated HFO frequency and will vary with this frequency's variations.

1. With large capacitive load lower PWM frequency is recommended. Thermal relay output (when configured) has the PWM DC specification and can be programmed as push-pull, or NMOS open drain. PWM is free-running, power-up factory default is SMBus, refer to section 8.6, "Switching between PWM and SMBus communication" for more details.

2. For SMBus compatible interface on 12V application refer to Application Information section. SMBus compatible interface is described in details in the SMBus detailed description section. Maximum number of MLX90614 devices on one bus is 127, higher pull-up currents are recommended for higher number of devices, faster bus data transfer rates, and increased reactive loading of the bus.

MLX90614 is always a slave device on the bus. MLX90614 can work in both low-power and high-power SMBus communication.

All voltages are referred to the  $V_{SS}$  (ground) unless otherwise noted.

Sleep mode is not available on the 5V version (MLX90614Axx).



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 7.2 MLX90614Bxx, MLX90614Dxx

All parameters are valid for  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 3\text{V}$  (unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supplies						
External supply	$V_{DD}$		2.6	3	3.6	V
Supply current	$I_{DD}$	No load		1.3	2	mA
Supply current (programming)	$I_{DDpr}$	No load, erase / write EEPROM operations		1.5	2.5	mA
Sleep mode current	$I_{sleep}$	no load	1	2.5	5	$\mu\text{A}$
Sleep mode current	$I_{sleep}$	Full temperature range	1	2.5	6	$\mu\text{A}$
Power On Reset						
POR level	$V_{POR\ up}$	Power-up (full temp range)	1.4	1.75	1.95	V
POR level	$V_{POR\ down}$	Power-down (full temp range)	1.3	1.7	1.9	V
POR hysteresis	$V_{POR\ hys}$	Full temp range	0.08	0.1	1.15	V
$V_{DD}$ rise time (10% to 90% of specified supply voltage)	$T_{POR}$	Ensure POR signal			20	ms
Output valid	$T_{valid}$	After POR		0.25		s
Pulse width modulation						
PWM resolution	$PWM_{res}$	Data band		10		bit
PWM output period	$PWM_{T_{del}}$	Factory default, internal oscillator factory calibrated		1.024		ms
PWM period stability	$\Delta PWM_T$	Internal oscillator factory calibrated, over the entire operation range and supply voltage	-10		+10	%
Output high Level	$PWM_{Hl}$	$I_{source} = 2\text{ mA}$	$V_{DD}-0.25$			V
Output low Level	$PWM_{Lo}$	$I_{sink} = 2\text{ mA}$			$V_{SS}+0.25$	V
Output drive current	$I_{drive\ PWM}$	$V_{out,H} = V_{DD} - 0.8\text{V}$		4.5		mA
Output sink current	$I_{sink\ PWM}$	$V_{out,L} = 0.8\text{V}$		11		mA

Continued on next page



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer In TO-39

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
SMBus compatible 2-wire interface <sup>1</sup>						
Input high voltage	$V_{IH}(Ta,V)$	Over temperature and supply	VDD-0.1			V
Input low voltage	$V_{IL}(Ta,V)$	Over temperature and supply			0.6	V
Output low voltage	$V_{OL}$	Over temperature and supply, $I_{sink} = 2mA$			0.25	V
SCL leakage	$I_{SCL,leak}$	$V_{SCL}=3V, Ta=+85^{\circ}C$			20	$\mu A$
SDA leakage	$I_{SDA,leak}$	$V_{SDA}=3V, Ta=+85^{\circ}C$			0.25	$\mu A$
SCL capacitance	$C_{SCL}$				10	pF
SDA capacitance	$C_{SDA}$				10	pF
Slave address	SA	Factory default		6A		hex
Wake up request	$I_{wake}$	SDA low	33			ms
SMBus Request	$I_{REQ}$	SCL low	1.44			ms
Timeout, low	$T_{timeout,L}$	SCL low	27		33	ms
Timeout, high	$T_{timeout,H}$	SCL high	45		55	$\mu s$
Acknowledge setup time	$T_{suac}(MD)$	8-th SCL falling edge, Master			1.5	$\mu s$
Acknowledge hold time	$T_{hdac}(MD)$	9-th SCL falling edge, Master			1.5	$\mu s$
Acknowledge setup time	$T_{suac}(SD)$	8-th SCL falling edge, Slave			2.5	$\mu s$
Acknowledge hold time	$T_{hdac}(SD)$	9-th SCL falling edge, Slave			1.5	$\mu s$
EEPROM						
Data retention		$Ta = +85^{\circ}C$	10			years
Erase/write cycles		$Ta = +25^{\circ}C$	100,000			Times
Erase/write cycles		$Ta = +125^{\circ}C$	10,000			Times
Erase cell time	$T_{erase}$			5		ms
Write cell time	$T_{write}$			5		ms

Table 4: Electrical specification MLX90614Bxx, Dxx

Note: refer to MLX90614Axx notes.



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 8 Detailed description

#### 8.1 Block diagram

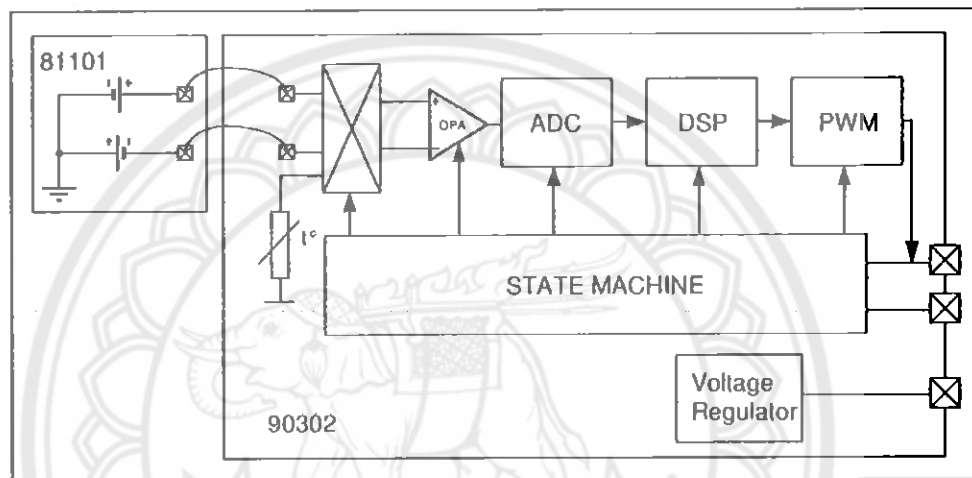


Figure 3: Block diagram

#### 8.2 Signal processing principle

The operation of the MLX90614 is controlled by an internal state machine, which controls the measurements and calculations of the object and ambient temperatures and does the post-processing of the temperatures to output them through the PWM output or the SMBus compatible interface.

The ASSP supports 2 IR sensors (second one not implemented in the MLX90614xAx). The output of the IR sensors is amplified by a low noise low offset chopper amplifier with programmable gain, converted by a Sigma Delta modulator to a single bit stream and fed to a powerful DSP for further processing. The signal is treated by programmable (by means of EEPROM content) FIR and IIR low pass filters for further reduction of the band width of the input signal to achieve the desired noise performance and refresh rate. The output of the IIR filter is the measurement result and is available in the internal RAM. 3 different cells are available: One for the on-board temperature sensor and 2 for the IR sensors.

Based on results of the above measurements, the corresponding ambient temperature  $T_a$  and object temperatures  $T_o$  are calculated. Both calculated temperatures have a resolution of  $0.01^\circ\text{C}$ . The data for  $T_a$  and  $T_o$  can be read in two ways: Reading RAM cells dedicated for this purpose via the 2-wire interface ( $0.02^\circ\text{C}$  resolution, fixed ranges), or through the PWM digital output (10 bit resolution, configurable range).

In the last step of the measurement cycle, the measured  $T_a$  and  $T_o$  are rescaled to the desired output resolution of the PWM) and the recalculated data is loaded in the registers of the PWM state machine, which creates a constant frequency with a duty cycle representing the measured data.



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer In TO-39

### 10 Performance Graphs

#### 10.1 Temperature accuracy of the MLX90614

##### 10.1.1 Standard accuracy

All accuracy specifications apply under settled isothermal conditions only. Furthermore, the accuracy is only valid if the object fills the FOV of the sensor completely.

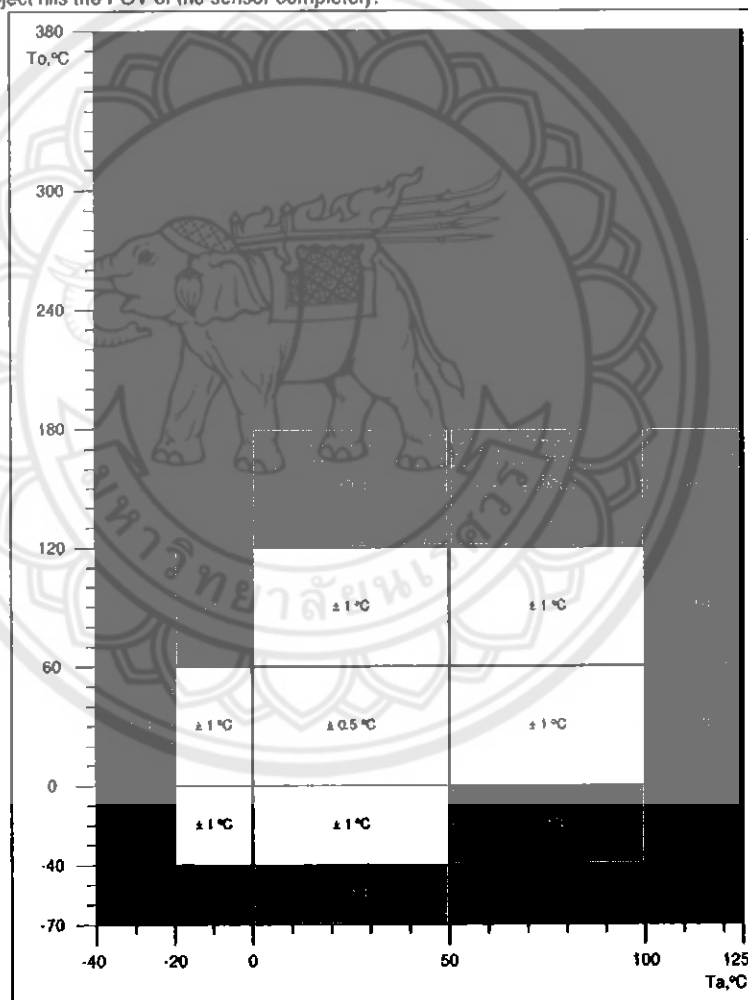


Figure 22: Accuracy of MLX90614 (Ta, To)

All accuracy specifications apply under settled isothermal conditions only.



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

### 10.1.2 Medical accuracy

A version of the MLX90614 with accuracy suited for medical applications is available. The accuracy in the range  $T_a$  16°C...40°C and  $T_o$  22°C...40°C is shown in diagram below. The accuracy for the rest of the temperature ranges is the same as in previous diagram. Medical accuracy specification is only available for the MLX90614Dxx versions.

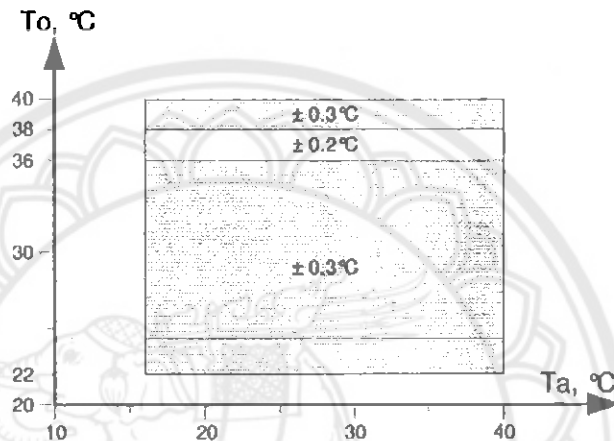


Figure 23: Accuracy of MLX90614DAA ( $T_a$ ,  $T_o$ ) for medical applications.  
Accuracy of the MLX90614DCH and DCI for VDD = 3V (see paragraph 10.1.3)

Versions MLX90614DCI and MLX90614DCH comply with ASTM standard section 5.4 (Designation: E1965 – 98 (Re-approved 2009) - Standard Specification for Infrared Thermometers for Intermittent Determination of Patient Temperature

It is very important for the application design to understand that the accuracy specified in Figure 22 and Figure 23 are only guaranteed when the sensor is in thermal equilibrium and under isothermal conditions (there are no temperature differences across the sensor package). The accuracy of the thermometer can be influenced by temperature differences in the package induced by causes like (among others): Hot electronics (heaters / coolers) behind or beside the sensor or when the measured object is so close to the sensor that heats the thermometer package.

This effect is especially relevant for thermometers with a small Field Of View (FOV) like the xxC and xxF as the energy received by the sensor from the object is reduced. Therefore, Melexis has introduced the xCx version of the MLX90614. In these MLX90614xCx, the thermal gradients are measured internally and the measured temperature is compensated for them. In this way, the MLX90614xCx is much less sensitive to thermal gradients induced from outside, but the effect is not totally eliminated. It is therefore important to avoid introducing strong heat sources close to the sensor or to shield the sensor from them.

**NOTE:** In order to have the highest possible signal and the best performance a higher gain of the amplifier is selected for MLX90614DCx type of devices. This eventually would limit the maximum object temperature (due to overload of the ADC) to about 200°C.

### 10.1.3 Temperature reading dependence on VDD

In case of medical applications where high accuracy is required and the supply is provided by means of a battery, a compensation of temperature readings from VDD dependence should be done by the microcontroller. The dependence is very repeatable and compensation can easily be implemented. As this



# MLX90614 family

## Single and Dual Zone Intra Red Thermometer In TO-39

dependence comes from the ambient temperature it is the same for all type of devices regardless of FOV and optics used and it directly translates in the same compensation for object temperature. The typical VDD dependence of the ambient and object temperature is 0.6°C/V.

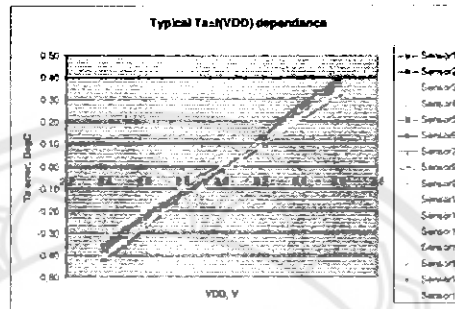


Figure 24: Typical  $T_a$  dependence from supply voltage

Example: As the devices are calibrated at VDD=3V the error at VDD=3V is smallest one. The error in ambient channel is directly transferred as object channel error (see Figure 25 below).

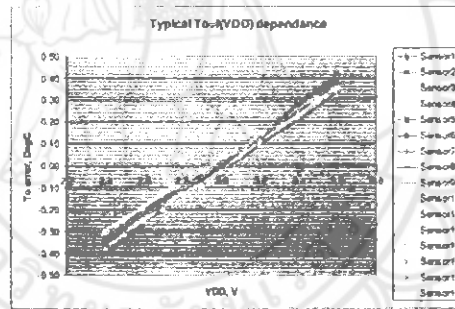


Figure 25: Typical  $T_o$  dependence from supply voltage (practically the same as  $T_a$  dependence error)

In order to compensate for this error we measure supply voltage and by applying following equation compensate the result.

$$T_{o\_compensated} = T_o - (VDD - VDD_0) \times \text{Typical\_dependence} = T_o - (VDD - 3) \times 0.6$$

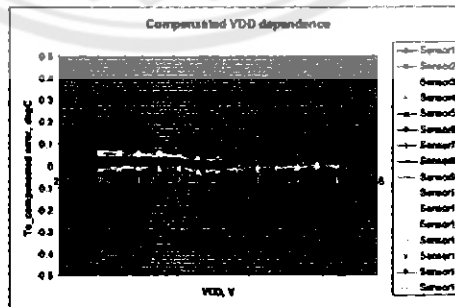


Figure 26: Typical  $T_o$  compensated dependence error



# MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer in TO-39

## 10.2 Field Of View (FOV)

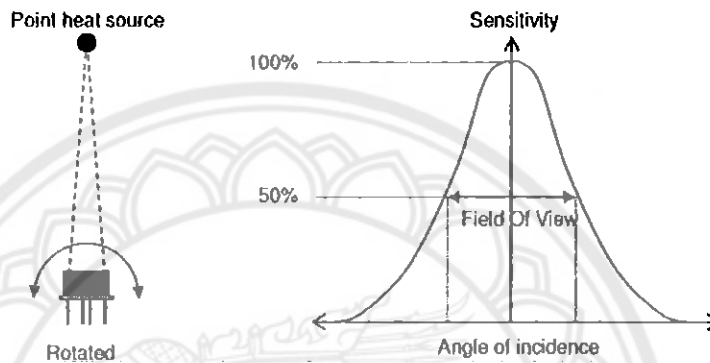


Figure 27: Field Of View measurement

Parameter	MLX90614xAA	MLX90614xBA	MLX90614xCC	MLX90614xCF	MLX90614xCI	MLX90614xCI
Peak zone 1	±0°	+25°	±0°	±0°	±0°	±0°
Width zone 1	90°	70°	35°	10°	12°	5°
Peak zone 2	Not applicable	-25°	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Width zone 2	Not applicable	70°	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable

Table 14: FOV summary table

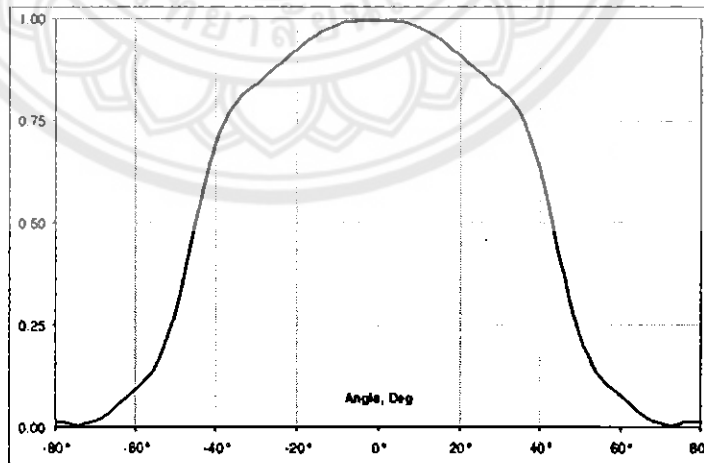


Figure 28: Typical FOV of MLX90614xAA





## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer In TO-39

### 16 Package Information

#### 16.1 MLX90614xxA

The MLX90614 is packaged in an industry standard TO39 can.

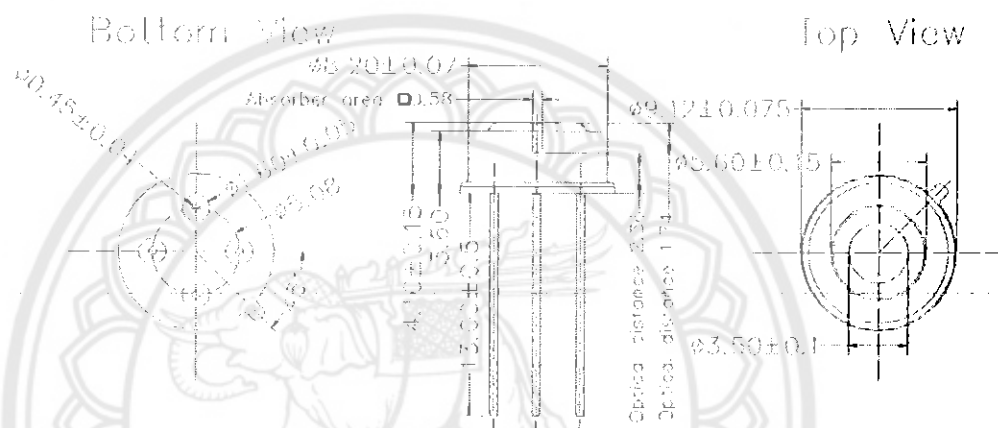


Figure 41: MLX90614xxA package

Note: All dimensions are in mm

#### 16.2 MLX90614xCC

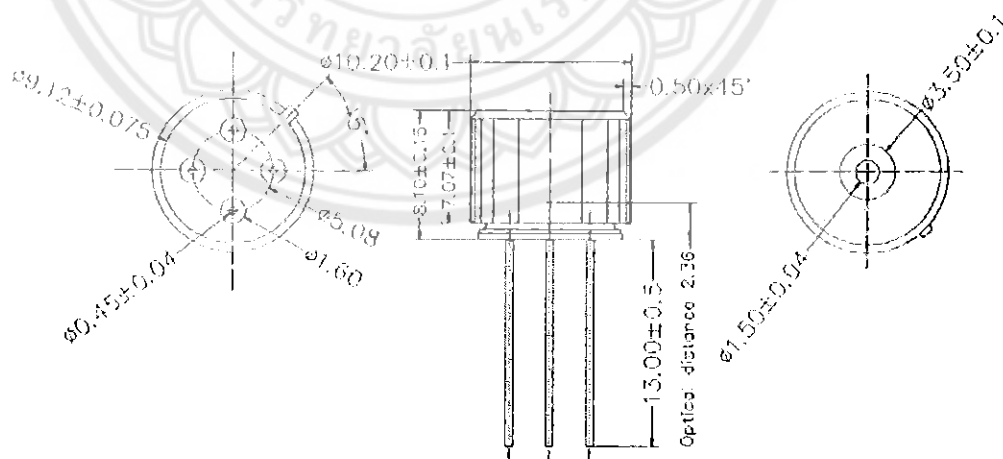


Figure 42: MLX90614xCC package



**MLX90614 family**  
 Single and Dual Zone  
 Infra Red Thermometer In TO-39

**16.3 MLX90614xCF**

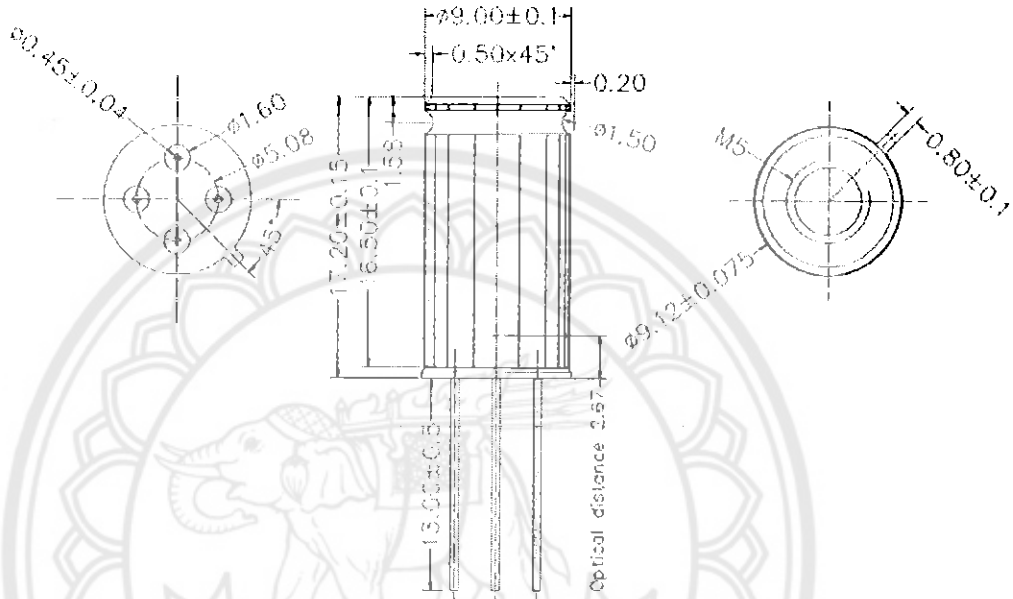


Figure 43: MLX90614xCF package

**16.4 MLX90614xCH**

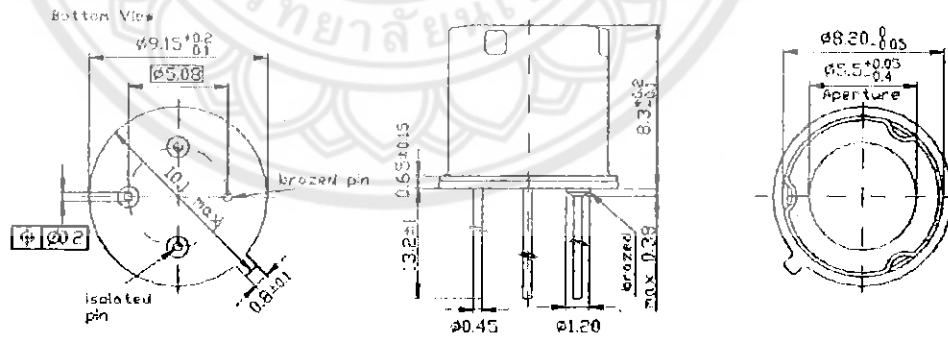


Figure 44: MLX90614xCH package



## MLX90614 family

Single and Dual Zone  
Infra Red Thermometer In TO-39

### 16.5 MLX90614xCI

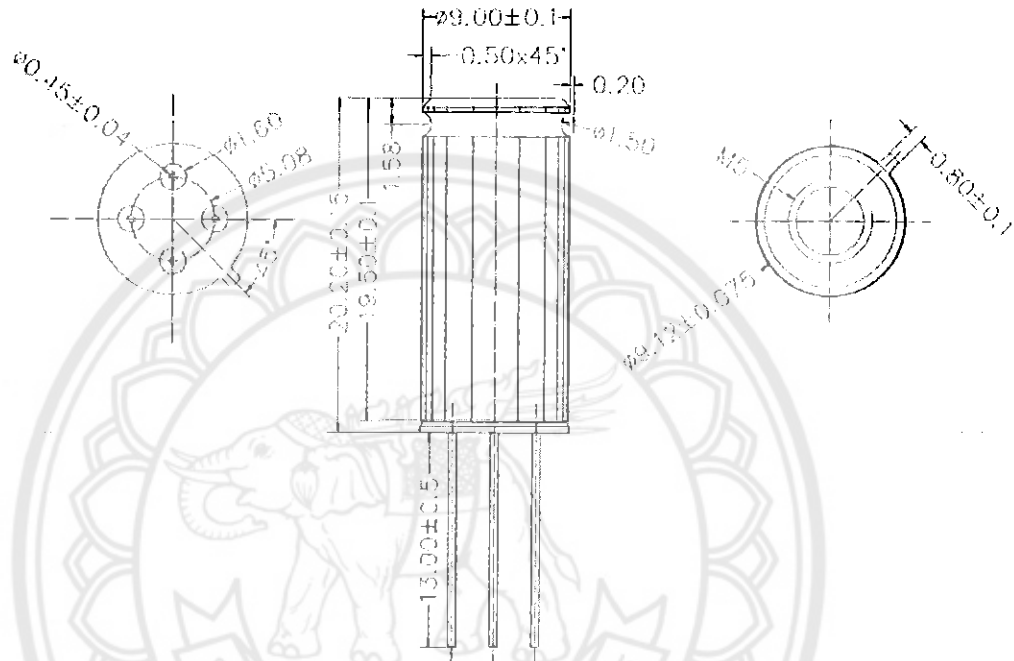


Figure 45: MLX90614xCI package

### 16.6 Part marking

The MLX90614 is laser marked with 10 symbols. First 3 letters define device version (AAA, BCC, etc), and the last 7 are the lot number. Example: "ACC9307308" – MLX90614ACC from lot 9307308.

### 16.7 Operating and storage humidity range

Operating and storage humidity range is defined as 85% non condensing humidity.