



รายงานการวิจัย

การประเมินและวางแผนปรับปรุงสภาวะแวดล้อมการทำงาน
ในงานอุตสาหกรรม
(Evaluation and Enhancement Plan of Working Environment
in Industry)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การประเมินและวางแผนปรับปรุงสภาวะแวดล้อมการทำงานในงานอุตสาหกรรม
(Evaluation and Enhancement Plan of Working Environment in Industry)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน

สาขาวิชาชีวนามัยและความปลอดภัย

สำนักวิชาแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

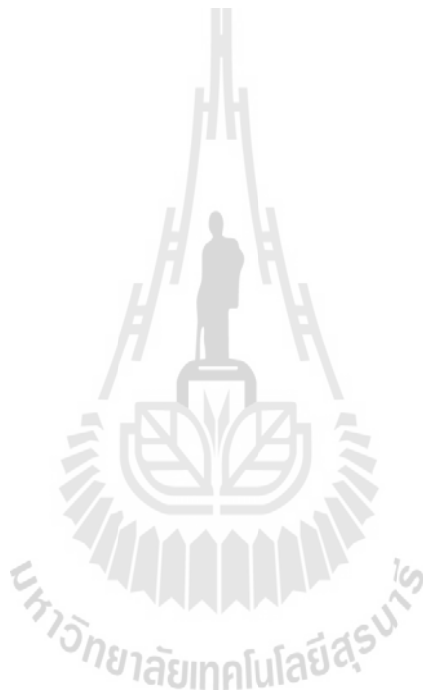
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2558

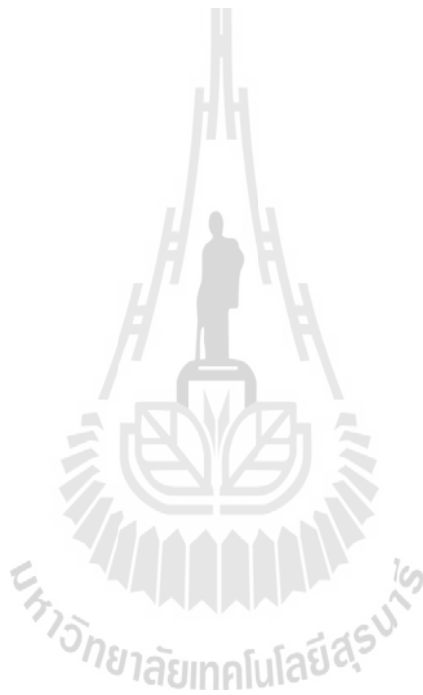
กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้ร่วมงาน ทุกท่าน และหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง



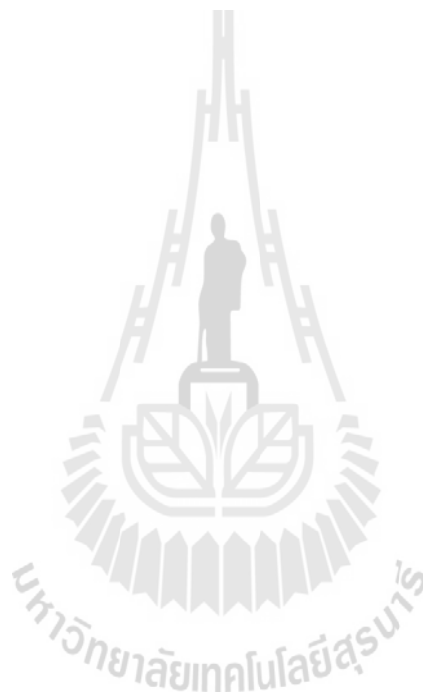
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสง และเสียง ที่มีราคาถูก มีความสามารถในการวัดได้อย่างแม่นยำและมีความผิดพลาดของการตรวจวัดต่ำ เช่น เซอร์วัดอุณหภูมิเป็นชนิดไอซีอิเล็กทรอนิกส์ เซอร์วัดแสงใช้ LDR และ เซอร์วัดเสียงประยุกต์ใช้ไมโครโฟนขนาดเล็ก การควบคุมใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มีภาคแสดงผล ทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดกับอุปกรณ์ตรวจวัดมาตรฐาน



ABSTRACT

This research project presents a development of temperature, light intensity and sound measuring equipment which are low cost and have ability to measure temperature, light intensity and sound accurately. Temperature sensor used in this work is a type of electronic IC. Light sensor is LDR (light-dependent resistor). Sound sensor is a sensitive microphone. Their control circuits are based on microcontrollers equipped with displaying units. Their test results are compared with those of the standard temperature, light and sound measuring instruments.

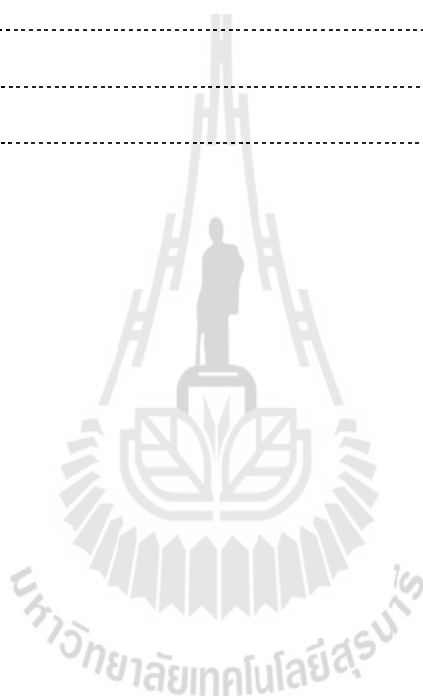


สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากผลการวิจัย.....	2
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 แหล่งที่มาข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 การออกแบบสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	17
2.3 การออกแบบสร้างเครื่องมือวัดความเข้มแสง.....	31
2.4 การออกแบบสร้างเครื่องมือตรวจวัดเสียง.....	35
2.5 การแสดงผลผ่านพอร์ต RS232.....	41
2.6 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
2.7 สรุป.....	46
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	47
3.2 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดความเข้มแสง.....	56
3.3 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดเสียง.....	66
3.4 สรุป.....	93
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
4.1 กล่าวนำ.....	94

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ.....	94
4.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ.....	94
4.4 สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องวัดความเข้มแสง.....	95
4.5 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดความเข้มแสง.....	95
4.6 สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับเสียง.....	96
4.7 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับเสียง.....	97
บรรณานุกรม.....	99
ภาคผนวก ก. การใช้เครื่องมือ.....	101
ภาคผนวก ข. ผลผลิตจากงานวิจัย.....	109



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 Fixed Points on the IPTS (1990 Definitions).....	7
ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานการสัมผัสเสียงตามกฎกระทรวง.....	16
ตารางที่ 2.3 ความแม่นยำของเซนเซอร์ SHT15.....	17
ตารางที่ 2.4 ขาการทำงานของ SHT15.....	18
ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การปรับเทียบค่าอุณหภูมิ.....	21
ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การปรับเทียบค่าความชื้น.....	21
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ DS18B20.....	23
ตารางที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต.....	26
ตารางที่ 2.9 การต่อขาเซนเซอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328.....	32
ตารางที่ 2.10 การต่อขา Sound Sensorเข้ากับขา ATmega328.....	36
ตารางที่ 2.11 การเชื่อมต่อ LED เข้ากับขา ATmega328.....	38
ตารางที่ 2.12 การต่อขา Easy LCD 595 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328.....	41
ตารางที่ 2.15 การต่อขา RS232 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328.....	42
ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของการแผ่ความร้อนในโกลบ.....	47
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศในกระเปาะแห้ง.....	48
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ในกระเปาะเปียก.....	48
ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของการแผ่ความร้อนในโกลบหลังจากการปรับเทียบ.....	49
ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศในกระเปาะแห้งหลังจากการปรับเทียบ.....	50
ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบค่าความชื้นของอากาศในกระเปาะแห้งหลังจากการปรับเทียบ.....	52
ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบค่าความชื้นของอากาศในกระเปาะแห้งหลังจากการปรับเทียบ.....	54
ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองก่อนการปรับเทียบ.....	55
ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 1).....	56
ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 2).....	60
ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 3).....	62
ตารางที่ 3.12 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 4).....	64
ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองความดังก่อนการปรับเทียบ.....	67
ตารางที่ 3.14 ความดังที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 1 m.....	72
ตารางที่ 3.15 ความดังที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 2 m.....	73
ตารางที่ 3.16 ความดังที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 1 m.....	74
ตารางที่ 3.17 ความดังที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 2m.....	75
ตารางที่ 3.18 ความดังที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 1 m.....	76

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.19 ความดังที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 2 m.....	77
ตารางที่ 3.20 ความดังที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 1 m.....	79
ตารางที่ 3.21 ความดังที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 2 m.....	80
ตารางที่ 3.22 ความดังที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 1 m.....	81
ตารางที่ 3.23 ความดังที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 2 m.....	82
ตารางที่ 3.24 ความดังที่ความถี่ 1000 Hz ระยะ 1 m.....	84
ตารางที่ 3.25 ความดังที่ความถี่ 2000 Hz ระยะ 1 m.....	85
ตารางที่ 3.26 ความดังที่ความถี่ 3000 Hz ระยะ 1 m.....	86
ตารางที่ 3.27 ความดังที่ความถี่ 5000 Hz ระยะ 1 m.....	87
ตารางที่ 3.28 ความดังที่ความถี่ 8000 Hz ระยะ 1 m.....	88
ตารางที่ 3.29 ความดังที่ความถี่ผสม ระยะ 1 m.....	90
ตารางที่ 3.30 ตารางความถี่ผสม ระยะ 2 m.....	91
ตารางที่ 4.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในการออกแบบสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ.....	95
ตารางที่ 4.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดความเข้มแสง.....	96
ตารางที่ 4.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไขการออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับเสียง.....	97

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework).....	3
รูปที่ 2.2 การวัดอุณหภูมิในงานอุตสาหกรรม.....	8
รูปที่ 2.3 ความแม่นยำของค่าความชื้นสัมพัทธ์.....	17
รูปที่ 2.4 ความแม่นยำของค่าอุณหภูมิ.....	17
รูปที่ 2.5 ช่วงการทำงานปกติของ SHT15.....	18
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ SHT15.....	18
รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อขา SHT15 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	19
รูปที่ 2.8 ลำดับการเริ่มต้นส่งข้อมูลของเซนเซอร์ SHT15.....	19
รูปที่ 2.9 ลำดับการรีเซตข้อมูล.....	20
รูปที่ 2.10 ลักษณะตัวถังบรรจุและการจัดขาของ DS18B20.....	22
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมภายใน DS18B20.....	23
รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิ.....	25
รูปที่ 2.13 รูปแบบข้อมูล 9 บิต.....	25
รูปที่ 2.14 การแบ่งส่วนในหน่วยความจำรวม 64 บิต.....	26
รูปที่ 2.15 การจัดหาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ DS18B20 ในบัส 1-Wire.....	27
รูปที่ 2.16 การจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการ Interface ร่วม DS18B20 หลายตัวบนบัส 1-Wire.....	28
รูปที่ 2.17 การประกอบจอ LCD เข้ากับกล่องอเนกประสงค์.....	28
รูปที่ 2.18 การประกอบสวิตช์เข้ากับกล่องอเนกประสงค์.....	29
รูปที่ 2.19 การประกอบปลอกปากกา โคมหลอดไฟพลาสติก ฝาครอบอุปกรณ์ต่าง ๆ และลูกกลมโลหะเครื่องทองแดง.....	29
รูปที่ 2.20 การเชื่อมต่อรางถ่าน EASY LCD 595 และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ากับกล่องอเนกประสงค์.....	30
รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบต่างๆได้ต่อลงกล่องอเนกประสงค์ตามความต้องการ.....	31
รูปที่ 2.22 ผังการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดความเข้มแสง.....	31
รูปที่ 2.23 วงจรเซนเซอร์ LDR.....	32
รูปที่ 2.24 วงจร LED.....	33
รูปที่ 2.25 แผ่นวงจรพร้อมอุปกรณ์ (PCB Board).....	33
รูปที่ 2.26 แผ่นวงจร (PCB Layout).....	33
รูปที่ 2.27 โครงสร้างการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

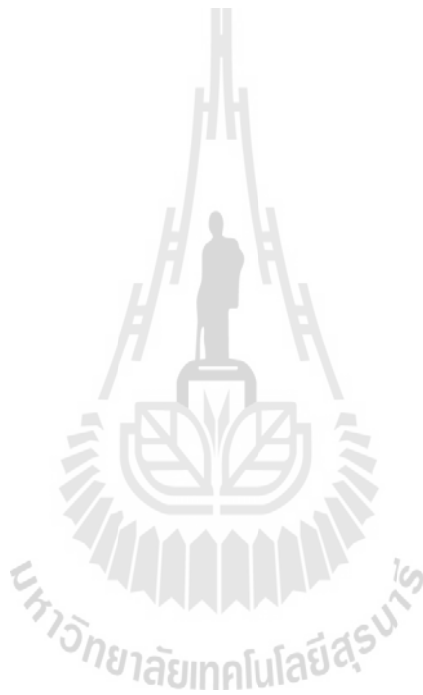
	หน้า
รูปที่ 2.28 แผนภาพการต่ออุปกรณ์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	34
รูปที่ 2.29 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่างๆ ภายในกล่องชิ้นงาน.....	35
รูปที่ 2.30 แสดงผลด้วยจอ LCD.....	35
รูปที่ 2.31 แสดงผลผ่านพอร์ต RS232.....	36
รูปที่ 2.32 Sound Sensor.....	36
รูปที่ 2.33 วงจร LED (แสดงสถานการณ์ทำงาน).....	37
รูปที่ 2.34 วงจร LED (แสดงระดับเสียง).....	37
รูปที่ 2.35 LED แสดงช่วงระดับเสียง.....	37
รูปที่ 2.36 PCB Layout.....	38
รูปที่ 2.37 แผ่นวงจรพร้อมอุปกรณ์ PCB Board.....	38
รูปที่ 2.38 โครงสร้างการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328.....	39
รูปที่ 2.39 แผนภาพการต่ออุปกรณ์ๆ เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	39
รูปที่ 2.40 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่างๆ ภายในกล่องชิ้นงาน.....	40
รูปที่ 2.41 LCD 16x2 Line.....	40
รูปที่ 2.42 Easy LCD 595.....	40
รูปที่ 2.43 การต่อเข้ากับ LCD แบบ 16 Pin.....	41
รูปที่ 2.44 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น.....	41
รูปที่ 2.45 State Diagram.....	42
รูปที่ 2.46 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Microsoft Visual C#.....	43
รูปที่ 2.47 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม SensorMonitoring.....	43
รูปที่ 2.48 เลือกชนิดของเครื่องวัดระดับเสียง.....	43
รูปที่ 2.49 เลือก Serial Port.....	43
รูปที่ 2.50 การเลือก Start เพื่อเริ่มอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับเสียง.....	45
รูปที่ 2.51 การเลือก Stop เพื่อหยุดอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับเสียง.....	45
รูปที่ 3.1 อุณหภูมิโกลบของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ.....	49
รูปที่ 3.2 อุณหภูมิโกลบของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบแล้ว.....	50
รูปที่ 3.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ.....	51
รูปที่ 3.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ.....	51
รูปที่ 3.5 ค่าความชื้นกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ.....	53
รูปที่ 3.6 ค่าความชื้นกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ.....	53
รูปที่ 3.7 ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ.....	54

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ.....	55
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ.....	57
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) ก่อนการปรับเทียบ.....	58
รูปที่ 3.11 การปรับเทียบครั้งที่ 1.....	59
รูปที่ 3.12 การปรับเทียบครั้งที่ 2.....	59
รูปที่ 3.13 การปรับเทียบครั้งที่ 3.....	60
รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 1)....	61
รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 2)....	63
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 3)....	64
รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 4)....	65
รูปที่ 3.18 โปรแกรม Sound Generator.....	67
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor.....	68
รูปที่ 3.20 การแบ่งช่วงในการปรับเทียบ.....	68
รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบช่วงที่ 1.....	69
รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor หลังการปรับเทียบช่วงที่ 1.....	70
รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบช่วงที่ 2.....	70
รูปที่ 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor หลังการปรับเทียบช่วงที่ 2.....	71
รูปที่ 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบช่วงที่ 3.....	71
รูปที่ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor หลังการปรับเทียบช่วงที่ 3.....	72
รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 1 m.....	73
รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 2 m.....	74
รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 1 m.....	75
รูปที่ 3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 2 m.....	76
รูปที่ 3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 1 m.....	77
รูปที่ 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 2 m.....	78
รูปที่ 3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 1 m.....	79
รูปที่ 3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 2 m.....	80
รูปที่ 3.35 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 1 m.....	82
รูปที่ 3.36 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 2 m.....	83
รูปที่ 3.37 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 1000 Hz ระยะ 1 m.....	84

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.38 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 2000 Hz ระยะ 1 m.....	85
รูปที่ 3.39 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 3000 Hz ระยะ 1 m.....	86
รูปที่ 3.40 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 5000 Hz ระยะ 1 m.....	88
รูปที่ 3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 8000 Hz ระยะ 1 m.....	89
รูปที่ 3.42 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ผสม ระยะ 1 m.....	90
รูปที่ 3.43 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ผสม ระยะ 1 m.....	91



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาทางด้านพลังงาน เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และกระบวนการผลิตที่ทันสมัย ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ในทุกภาคส่วนของประเทศ จากการเติบโตและความต้องการของผู้บริโภคทำให้กระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลกระทบต่อภาวะแวดล้อมทำให้เกิดมลพิษ ซึ่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานภายในและชุมชนบริเวณรอบโรงงานอุตสาหกรรม จากข้อมูลจากกองทุนเงินทดแทนกระทรวงแรงงานในปี 2550 ที่ผ่านมามีประเทศไทยต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุและการบาดเจ็บจากสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสมในการปฏิบัติงานมีมูลค่าสูงถึง 1,700 ล้านบาท

จากปัญหาสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสมดังกล่าวกระทรวงแรงงานได้เล็งเห็นความสำคัญในการวางแผนป้องกันความคุ้มครองอันตรายจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยได้ออกเป็นกฎกระทรวงแรงงานเรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง โดยกำหนดให้ทุกสถานประกอบการต้องมีการตรวจวัดความร้อน แสงสว่างและเสียง อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หรือในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต เครื่องจักร อุปกรณ์ ถ้าระดับความร้อน แสงสว่างและเสียง เกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด สถานประกอบการต้องหาทางหรือมาตรการในการป้องกันควบคุมสภาวะแวดล้อมในการทำงานให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ซึ่งจะต้องทำการตรวจวัดสภาพแวดล้อมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ปัญหาที่พบก็คือเครื่องตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้มีราคาสูง ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมต้องจัดสรรงบประมาณเป็นจำนวนมากในการจัดซื้อ โรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งละเว้นที่จะทำการดำเนินการดังกล่าวจึงทำให้ยากต่อการตรวจวัดและหาทางมาตรการป้องกันอันตรายจากการทำงานอย่างทันท่วงที

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการตรวจวัดสภาวะแวดล้อมในการทำงาน เพื่อใช้ในการประเมินค่าและวางแผนในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน อีกทั้งยังช่วยลดอุบัติเหตุความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงได้ออกแบบสร้างเครื่องมือการตรวจวัดสภาพแวดล้อมที่มีสมรรถนะในการทำงานที่มีราคาถูกโดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป ทำให้สามารถเฝ้าตรวจสภาวะการทำงานบริเวณจุดทำงานที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายและที่สนใจได้ ซึ่งจะช่วยให้ได้ค่าข้อมูลที่ถูกต้องและสามารถนำข้อมูลพื้นฐานจากการวัดผลมาพิจารณาและประเมินค่า สามารถนำไปวางแผนเพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างทันท่วงทีก่อนที่ปัญหาด้านสุขภาพและความปลอดภัยจะเกิดขึ้นกับพนักงาน

1.2 วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบการเฝ้าตรวจและประเมินสภาวะการทำงานในงานอุตสาหกรรม

1.2.2 เพื่อสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดสภาวะแวดล้อมในการทำงานที่มีราคาถูก และผลิตได้เองจากวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างเครื่องตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน รวมทั้งนำเครื่องมือที่สร้างขึ้น
ขึ้นไปตรวจวัดจริงในสถานประกอบการ จริง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการป้องกันแก้ไขสภาพแวดล้อม
ในการทำงาน โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือ ดังนี้

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจวัดความร้อน
- 1.3.2 ออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจวัดแสงสว่าง
- 1.3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจวัดเสียง

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากผลการวิจัย

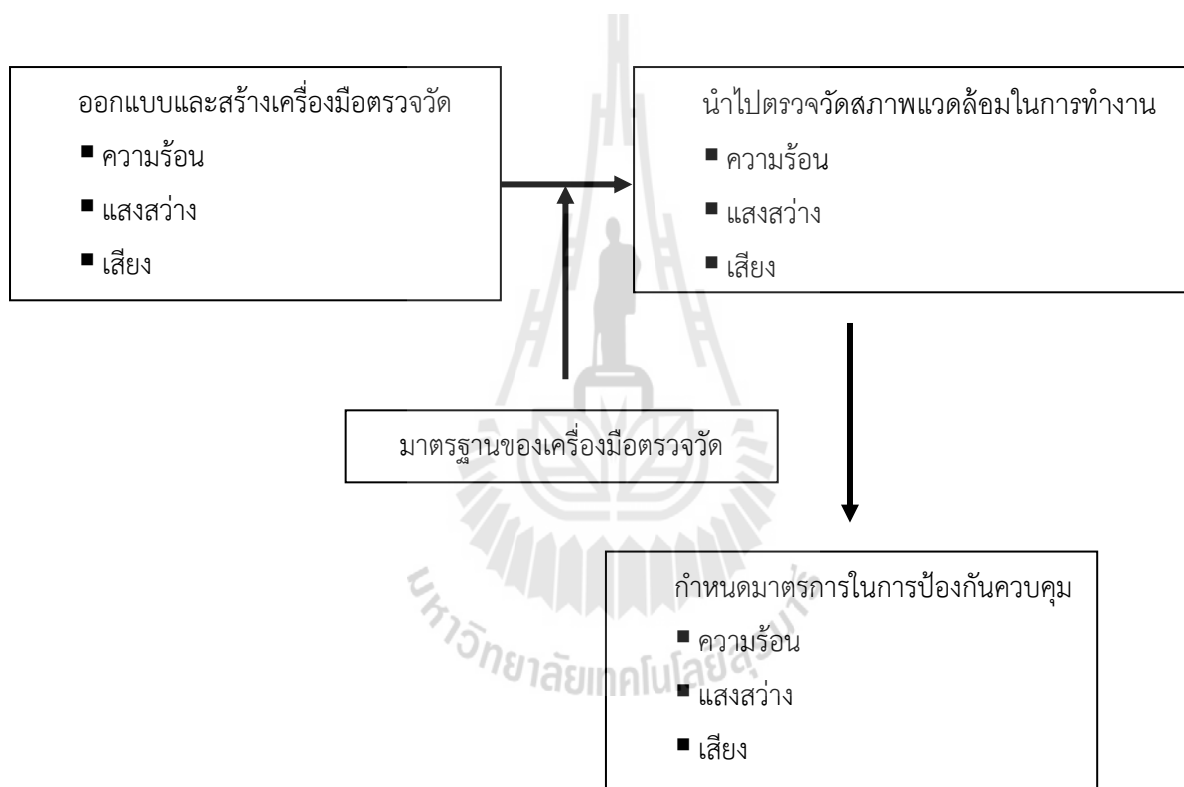
- 1.4.1 อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดทางความร้อนราคาถูก
- 1.4.2 อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดแสงสว่างราคาถูก
- 1.4.3 อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดทางเสียงราคาถูก
- 1.4.4 ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุม/วารสารทั้งในระดับชาติและนานาชาติ



บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

รายละเอียดเนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยจากอันตรายที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมการทำงานทั้งทางด้าน ความร้อน แสง และเสียง ล้วนแล้วแต่มีความเป็นอันตรายและมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานในสถานประกอบการ ถ้ามีเครื่องมือตรวจวัดที่มีคุณภาพ และได้มาตรฐาน จะทำให้เราพบความเป็นอันตรายก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ แล้วหามาตรการในการป้องกันควบคุม ก็จะทำให้อันตรายดังกล่าวไม่เกิดขึ้นกับคนงาน รวมทั้งยังส่งผลให้ลดอุบัติเหตุและโรคจากการทำงาน ลดลง ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และยังสามารถเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านการค้า ซึ่งมีกรอบแนวคิดแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้



รูปที่ 2.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)

2.1 แหล่งที่มาข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความร้อน

ความร้อน เป็นพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวหรือสั่นสะเทือนของโมเลกุลของวัตถุ หน่วยวัดระดับความร้อน คือ องศา เช่น องศาเซลเซียส และองศาฟาเรนไฮต์ และหน่วยวัดปริมาณความร้อน คือ แคลอรี และ บีทียู หนึ่งแคลอรี คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส และหนึ่งบีทียู คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์

มนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ สามารถดำรงชีพได้เมื่อความร้อนภายในร่างกายคงที่ในระดับที่เหมาะสมเท่านั้น อุณหภูมิภายในร่างกายมนุษย์อาจเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงแคบๆ โดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของ

ร่างกาย นั้นคือ ประมาณ $37 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้น ร่างกายจึงพยายามควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาด้วยกลไกต่างๆ เช่น การหลั่งเหงื่อ รู้สึกกระหายน้ำ และมีเลือดไหลเวียนมาที่ผิวเพื่อคายความร้อนมากขึ้น เป็นต้น

โดยทั่วไปแหล่งความร้อนที่มีอิทธิพลต่อความร้อนในร่างกายมนุษย์มี 2 แหล่ง คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายจากการเผาผลาญอาหารเพื่อสร้างพลังงาน และความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งความร้อนจากทั้งสองแหล่งนี้สามารถถ่ายเทระหว่างกันได้ จากแหล่งที่มีระดับความร้อนสูงกว่าไปยังแหล่งที่มีความร้อนต่ำกว่า โดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน ทั้งนี้ เพื่อรักษาระดับความร้อนภายในร่างกายให้คงที่ ซึ่งความพยายามในการรักษาระดับความร้อนของร่างกายนี้อธิบายได้ด้วยสมการสมดุลความร้อน คือ

$$H = M \pm R \pm C - E \pm D \quad (2.1)$$

เมื่อ H = ความร้อนสะสมของร่างกาย (Body Heat Storage)

M = ความร้อนจากการเผาผลาญอาหารเพื่อสร้างพลังงาน (Metabolic Heat)

R = ความร้อนที่ถ่ายเทด้วยการแผ่รังสี (Radiation)

C = ความร้อนที่ถ่ายเทด้วยการพา (Convection)

E = ความร้อนที่สูญเสียไปจากการระเหยของเหงื่อ (Evaporation)

D = ความร้อนที่ถ่ายเทด้วยการนำ (Conduction)

2.1.1.1 อันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพของความร้อน

ความผิดปกติที่เกิดจากการมีอุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิของร่างกายสูงกว่า $41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จะด้วยสาเหตุใดก็ตาม เซลล์ประสาทบางส่วนในระบบประสาทส่วนกลางจะถูกทำลายอย่างถาวร และถ้ายังได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นอีกศูนย์ควบคุมอุณหภูมิที่อยู่ในสมองจะเสียไป ไม่สามารถระบายความร้อนออก จะทำให้เกิดความรู้สึกมึนงงและอาจเกิดอาการชักอย่างรุนแรงได้ (Severe Convulsion) ซึ่งอาจช่วยลดอุณหภูมิโดยการเช็ดตัวด้วยน้ำผสมแอลกอฮอล์ เพื่อช่วยระบายความร้อนออกจากร่างกาย ถ้าอุณหภูมิสูงถึง $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นขีดสูงสุดที่คนจะทนอยู่ได้ ถ้าไม่ได้ช่วยลดความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เซลล์ทั่วไปจะถูกทำลายและอาจถึงแก่ชีวิตได้ ในภาวะที่ร่างกายต้องสัมผัสกับความร้อนเป็นระยะเวลานาน อาจพบอาการต่างๆ ได้แก่

1) การมีไข้ (Fever หรือ Pyrexia) เป็นสภาวะที่ร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่า $37.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ อาจเกิดขึ้นจากการที่อยู่ในอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน มีความผิดปกติภายในเนื้อสมอง เช่น การมีเนื้องอก การผ่าตัดสมองหรือร่างกายขาดน้ำ หรือ เกิดจากสารพิษไปรบกวนการทำงานของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิในสมอง แต่โดยทั่วไปมักเกิดอาการนี้จากการติดเชื้อต่างๆ นอกจากนี้ ไข้อาจเกิดจากการได้รับยาหรือสารเคมีบางอย่าง เป็นต้น

2) ลมแดด (Heat Stroke) และการเป็นลม (Heat Syncope) เกิดขึ้นในภาวะที่ร่างกายต้องเผชิญกับอากาศร้อนเป็นเวลานาน ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิร่างกายของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิที่อยู่ในสมองจะลดลง และหากมีอุณหภูมิในความร้อนสัมพัทธ์สูง จะทำให้อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึง $41 - 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ถ้าไม่ได้ช่วยลดอุณหภูมิลง บุคคลนั้นจะมีอาการของลมแดด ลมแดด คือ มีอาการมึนงง คลื่นไส้ บางครั้งเพื่อ

อาจมีอาการไม่รู้สึกตัว และโคม่าในเวลาต่อมา หากยังไม่ได้ช่วยลดอุณหภูมิของร่างกายอย่างทันท่วงที อาจทำให้เสียชีวิตได้ ซึ่งเกิดจากภาวะช็อก (Shock) เพราะเสียน้ำและเกลือแร่ที่สำคัญทางเหงื่อร่วมด้วย

3) การเป็นลม (Fainting หรือ Heat Syncope) เกิดจากสมองขาดเลือดไปเลี้ยง มีสาเหตุมาจากการที่หลอดเลือดส่วนปลายขยายตัวมากหลายแห่ง มักพบร่วมกับการมีความดันต่ำในท่ายืน คนที่มีความไวต่อยานอนหลับ และยากล่อมประสาท เพราะขณะใช้ยา หลอดเลือดจะขยายตัวมากกว่าปกติ ความดันโลหิตจะต่ำ อัตราการเต้นหัวใจจะช้าลง คนกลุ่มนี้จึงมีโอกาสเกิด Heat Syncope ได้ง่าย

4) การอ่อนเพลียเนื่องจากความร้อน (Heat Exhaustion) เกิดขึ้นจากระบบหมุนเวียนของเลือดไปเลี้ยงสมองได้ไม่เต็มที่

5) การขาดน้ำ (Dehydration) การสูญเสียเหงื่อ เป็นการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ออกจากร่างกายไปมาก รู้สึกกระหายน้ำ ผิวหนังแห้ง รู้สึกไม่สบาย นอกจากนี้ ยังพบอาการอื่นๆ เช่น อาการผดผื่นขนตามผิวหนัง เป็นต้น

6) ตะคริวเนื่องจากความร้อน (Heat Cramp) เกิดจากร่างกายสูญเสียเกลือแร่ไปกับเหงื่อ ทำให้ขาดเกลือแร่ที่จะไปควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อไม่สมดุลกัน

2.1.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดสภาพความร้อน

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดสภาพความร้อน ประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ 3 ชนิด คือ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก (ธรรมชาติ) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดโกลบ์ ซึ่งมีคุณลักษณะดังอธิบายต่อไปนี้

1) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Thermometer; DB) เป็นชนิดปรอทหรือแอลกอฮอล์ที่มีความละเอียดของสเกล 0.5°C มีการกำบังป้องกันเทอร์โมมิเตอร์จากแสงอาทิตย์และการแผ่รังสีความร้อน

2) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียกตามธรรมชาติ (Natural Wet Bulb Thermometer; NWB) ประกอบด้วย ผ้าฝ้ายสะอาด (ชั้นเดียว) หุ้มที่กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์สูงถึงจุดเหนือกระเปาะ ประมาณหนึ่งช่วงกระเปาะหรือ ประมาณ $1 - 1\frac{1}{4}$ นิ้ว และต่อหุ้มยาวลงไปให้ปลายอกด้านหนึ่งจมลงในภาชนะบรรจุน้ำากล้น โดยส่วนกระเปาะจะอยู่เหนือน้ำ ประมาณ 1 นิ้ว ผ้าฝ้ายที่หุ้มกระเปาะต้องแนบติดเทอร์โมมิเตอร์และเปียกตลอดเวลา

3) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดโกลบ์ (Globe Thermometer; GT) ประกอบด้วย โกลบ์ ซึ่งทำจากโลหะทองแดงบาง ทรงกลมภายในกลวง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้วผิวด้านนอกทำด้วยสีดำด้าน และมีเทอร์โมมิเตอร์เสียบเข้าไปในกระเปาะทรงกลมโดยให้อยู่กึ่งกลางของกระเปาะ มีช่วงการตรวจวัดตั้งแต่ -5 ถึง 100°C เทอร์โมมิเตอร์ทั้งสามนี้ต้องมีความแม่นยำ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ การเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือ การเปรียบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดว่ามีคุณลักษณะข้างต้นหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์จากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

2.1.1.3 การตรวจวัดสภาพความร้อนตามกฎกระทรวง

ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบกิจการ ระยะเวลา และประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ ได้กำหนดให้

ข้อ 3 นายจ้างจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบกิจการในสภาวะที่เป็นจริงของสภาพการทำงาน อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง กรณีที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร อุปกรณ์ กระบวนการผลิต วิธีการทำงาน หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง ให้นายจ้างดำเนินการจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานฯ เพิ่มเติมภายใน 90 วันนับจากวันที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง

ข้อ 4 ให้ตรวจวัดระดับความร้อน บริเวณที่มีลูกจ้างปฏิบัติงานอยู่ในสภาพการทำงานปกติและต้องตรวจวัดในช่วงเดือนที่มีอากาศร้อนที่สุดของการทำงานในปีนั้น

2.1.1.4 การตรวจวัดความร้อน โดยใช้ Thermal Sensors

ในวัสดุที่เป็นของแข็งแต่ละอะตอมหรือแต่ละโมเลกุลจะยึดเกาะหรือมีพันธะต่อกันอย่างแข็งแรง ภาวะดังกล่าวนี้เรียกว่า “ตำแหน่งสมดุล” (equilibrium position) อย่างไรก็ตามแต่ละอะตอมยังคงสามารถสั่นสะเทือนรอบตำแหน่งที่มันตั้งอยู่ได้ แต่ถ้าของแข็งที่ไม่มีการสั่นสะเทือนของโมเลกุล แสดงว่าพลังงานความร้อนภายในอะตอมเป็นศูนย์หรือ $W_{TH} = 0$ ตอนนี้นำพลังงานให้กับวัตถุดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนรอบ ๆ ตำแหน่งสมดุล จึงกล่าวได้ว่าขณะนี้พลังงานความร้อนเกิดขึ้นหรือ $W_{TH} > 0$ หากเพิ่มพลังงานเข้าไปในวัตถุนี้อีก การสั่นสะเทือนจะเพิ่มมากขึ้น สุดท้ายสภาวะในการยึดเกาะก็จะน้อยลงและแตกออกในที่สุด แสดงว่าวัตถุดังกล่าวนี้เกิดการหลอมละลายและกำลังจะกลายเป็นของเหลวในกรณีของแก๊ส หากเพิ่มพลังงานความร้อนในวัตถุที่เป็นของเหลวให้มากขึ้นต่อไปอีก ความเร็วของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นจนอยู่ในสภาวะสุดท้ายทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแต่ละโมเลกุลเต็มที่ หากถึงขั้นโมเลกุลไม่สัมผัสกันและเคลื่อนที่อย่างสุ่ม ๆ (random) ในภาชนะ วัตถุดังกล่าวก็จะกลายเป็นแก๊สไปในที่สุดมีผลทำให้โมเลกุลชนกระแทกกับโมเลกุลอื่น ๆ รวมถึงผนังของภาชนะ ในงานจริง วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดความร้อน อุปกรณ์วัดความร้อนของวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน

International Practice Temperature Scale (IPTS)

IPTS ได้ถูกกำหนดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1927 และได้ทำการปรับปรุงเรื่อยมาจนกระทั่งครั้งล่าสุดเมื่อปี 1990 เพื่อให้ทันสมัยขึ้นตามเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาตามลำดับ

IPTS เป็นค่า Fixed Point Temperature ที่กำหนดมา เพื่อใช้เป็นตัวเลขอ้างอิง สำหรับการปรับแต่ง (Calibrate) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Instrument) ซึ่งมีทั้งหมด 17 ค่า Fixed Point ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 Fixed Points on the IPTS (1990 Definitions)


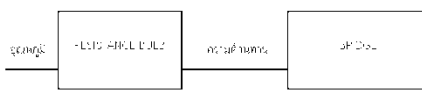
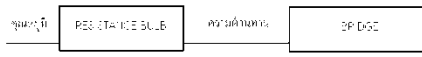
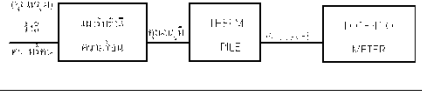





Fixed Point No.	Substance	State	Temperature °C
1	He (Helium)	Vapor	-270.15 to –
2	e-H ₂ ^a (Hydrogen)	Triple Point ^b	268.15
3	e-H ₂ (Hydrogen)	Vapor	-259.3467
4	e-H ₂ (Hydrogen)	Vapor	-256.16
5	Ne (Neon)	Triple Point	-252.85
6	O ₂ (Oxygen)	Triple Point	-248.5939
7	Ar (Argon)	Triple Point	-218.7916
8	Hg (Mercury)	Triple Point	-189.3442
9	H ₂ O (Water)	Triple Point	-38.8344
10	Ga (Gallium)	Melting	0.01
11	In (Indium)	Freezing	27.7646
12	Sn (Tin)	Freezing	156.5985
13	Zn (Zinc)	Freezing	231.928
14	Al (Aluminium)	Freezing	419.527
15	Ag (Silver)	Freezing	660.323
16	Au (Gold)	Freezing	961.78
17	Cu (Copper)	Freezing	1064.18
			1084.62

^ae-H₂: Hydrogen at the Equilibrium Concentration of Orthomolecular and Paramolecular Forms.

^bTriple Point: Temperature at which the Solid, Liquid, and Vapor Phases are in Equilibrium.

ในการวัดอุณหภูมิมีกาศยตัวแปรสัญญาณเชิงกลหรือ เชิงไฟฟ้าแบบต่างเปลี่ยนค่าอุณหภูมิเป็นค่าแปรมูลฐาน อันได้แก่ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง, ความดัน (หรือแรงหรือแรงปิด) แรงดันไฟฟ้า (หรือกระแสไฟฟ้า), impedance แล้วส่งเข้าเครื่องวัดทำการเปลี่ยนค่าแปรมูลฐานดังกล่าวเป็น การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งขั้นสุดท้าย เพื่อ indicator หรือ record หรือไปขับกลไกในเครื่องควบคุมต่อไป

การวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรม

แบบ	เครื่องวัด	หลักการวัด	ชนิด	ช่วงวัด
thermo-electric	THERMOCOUPLE		COPPER-CONSTANTAN IRON-CONSTANTAN C-A Kh-Pt	-200~350°C -200~750°C -200~1100°C 0~1450°C
	RESISTANCE BULB		Pt NICKEL COPPER	-258~900°C -150~300°C -200~120°C
	THERMISTOR		THERMISTOR	-30~300°C
optical and radiation	RADIATION - PYROMETER			> 600°C
	OPTICAL PYROMETER	 		> 700°C
mechanical	bulb thermometer		ปรอท แอลกอฮอล์	-30~500°C อุณหภูมิต่างๆ
	expansion thermometer		ปรอท แอลกอฮอล์	
	BIMETAL		ทองเหลือง-INPAT MONEL-STEEL	-40~250°C -0~400°C

รูปที่ 2.2 การวัดอุณหภูมิในงานอุตสาหกรรม

การเลือกใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใดนั้น จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมกับงาน เนื้อที่ว่างและสภาพแวดล้อมของจุดวัด ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการวัด ความจำเป็นของการวัดจากที่ไกล ความละเอียดแม่นยำ และความเชื่อถือได้ (Reliability) ของค่าวัด ความทนทาน และความสะดวกในการใช้และบำรุงรักษาตลอดจนราคาเชิงเศรษฐกิจ เป็นต้น

ในวงการอุตสาหกรรมในปัจจุบัน การวัดอุณหภูมิเชิงไฟฟ้า โดยใช้ thermocouple และความต้านทานไฟฟ้า เป็นแบบที่ใช้มากที่สุดคือมากกว่าครึ่งหนึ่งของการวัดอุณหภูมิทั้งหมด ทั้งนี้เป็นเพราะตัววัดทั้งสองมีช่วงวัดอุณหภูมิที่เหมาะสม มีความละเอียดแม่นยำสูง สามารถวัดจากที่ไกลได้ และสัญญาณที่ส่งออกเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสะดวกในการใช้ร่วมกับเครื่องวัด เครื่องบันทึก หรือเครื่องควบคุมแบบไฟฟ้าได้

ส่วนการวัดอุณหภูมิเชิงกล โดยใช้ตัววัดแบบกระเปาะบรรจุของเหลว นั้น ยังคงนิยมใช้กันอยู่มาก เพราะตัววัดแบบนี้ไม่ต้องอาศัยพลังขับเคลื่อนอื่นมาช่วย แข็งแรงทนทาน สะดวกในการใช้และบำรุงรักษา

2.1.1.5 การควบคุมและการป้องกัน

แนวทางการควบคุมสภาพความร้อนจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานโดยทั่วไป สามารถดำเนินการได้หลายวิธี ได้แก่

- การใช้ฉนวนหุ้ม (Insulator) แหล่งกำเนิดความร้อน เช่น ใช้ฉนวนบุท่อน้ำร้อน หม้อไอน้ำ เพื่อเป็นการลดการแผ่รังสีและการพาความร้อนลง
- การใช้ฉากกันป้องกันรังสีความร้อน (Radiation Shielding) เช่น การใช้ฉากอลูมิเนียมกันระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนและพนักงาน
- การจัดระบบการระบายอากาศแบบทั่วไป หรือการติดตั้งระบบการระบายอากาศเฉพาะที่ในการระบายความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนออกไป
- การแยกแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดความร้อนออกจากบริเวณการทำงานอื่น
- การติดประกาศเตือน
- การจัดอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล
- การลดเวลาการทำงานสัมผัสกับความร้อนและเพิ่มเวลาการพัก
- การจัดน้ำดื่ม - น้ำเกลือแร่ เป็นต้น

2.1.2 แสงสว่าง

แสงเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นซึ่งสามารถกระตุ้นจอภาพ (Retina) และทำให้เกิดการมองเห็น แสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วงระหว่างคลื่นวิทยุ และรังสีเอ็กซ์ เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค พลังงานที่มีความยาวคลื่นกว้าง เช่น คลื่นวิทยุมีคุณสมบัติก่อนไปทางคลื่น ในขณะที่พลังงานซึ่งมีความยาวคลื่นสั้น เช่น รังสีเอ็กซ์คุณสมบัติส่วนใหญ่เป็นอนุภาค (โฟตอน) ดังนั้นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้นั้นจึงมีลักษณะที่เฉพาะ คือ มีคุณสมบัติผสมผสานระหว่างคลื่นและอนุภาค มีความยาวคลื่นในช่วง 380 – 770 นาโนเมตร

2.1.2.1 กลไกการเกิดภาพ (Image-Forming Mechanism)

นัยน์ตา ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานประสาท (Action Potential) โดยภาพจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนเรตินา ในลักษณะภาพกลับหัวจากวัตถุจริงซึ่งลำแสงที่ตกลงบนเรตินา จะไปกระตุ้น Rod และ Cone Cells ให้เกิดพลังงานประสาท จากนั้นคลื่นสัญญาณประสาทที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยัง Cerebral Cortex เพื่อแปลผลเป็นรูปที่เห็น สมองจะแปลภาพออกมาในลักษณะเหมือนวัตถุจริง

2.1.2.2. อันตรายของแสงสว่างและผลกระทบต่อสุขภาพ

อันตรายของแสงสว่างนั้นมีผลกระทบต่อคนทำงาน ในกรณี แสงสว่างน้อยเกินไป จะมีผลเสียต่อนัยน์ตา ทำให้กล้ามเนื้อตาทำงานมากเกินไป เพราะบังคับให้รูม่านตาเปิดกว้างขึ้น เนื่องจากการมองเห็นนั้นไม่ชัดเจน ต้องใช้เวลาในการมองรายละเอียดนานขึ้น ทำให้เกิดความเมื่อยล้าของนัยน์ตาที่ต้องเพ่งขึ้นงานเกิดอาการปวดตา มีน้ตื้นระ

การหยิบจับโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์อาจผิดพลาดทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ หรือไปสัมผัสส่วนที่เป็นอันตราย และในกรณี แสงสว่างที่มากเกินไป จะทำให้ผู้ทำงานเกิด ความไม่สบาย เมื่อยล้า ปวดตา มีน้ตริระะ กล้ามเนื้อหนังตากระตัก วิงเวียน นอนไม่หลับ การมองเห็นแย่ง ซึ่งทั้งแสงสว่างน้อยเกินไปและมากเกินไป นอกจากจะก่อให้เกิดผลทางจิตใจ คือเบื่อหน่ายในการทำงาน ขวัญและกำลังใจในการทำงานลดลงแล้ว ยังทำให้เกิดอุบัติเหตุในการทำงานเกิดขึ้นได้

2.1.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง ซึ่งอ่านค่าเป็น ลักซ์ (ตามกฎกระทรวงฯ เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549) หรือ ฟุตแคนเดิล เครื่องมือวัด มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

1) เซลล์รับแสง (Photo Cell) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติก ด้านในเคลือบด้วยสารซิลิกอน (Silicon) หรือ เซเลเนียม (Selenium) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าความเข้มแสงสว่างมาก พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมากตามไปเป็นสัดส่วน เซลล์รับแสง อาจถูกออกแบบให้โค้งงอเล็กน้อย เพื่อให้แสงจากทิศทางต่างๆ ตกกระทบในมุม 90° หรือใกล้เคียงที่สุดได้รอบด้าน

2) ส่วนมิเตอร์ (Meter) ส่วนนี้จะรับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์รับแสง และแสดงค่าบนหน้าจอบนความเข้มแสงสว่าง

2.1.2.4 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง ตามกฎกระทรวง

ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีดำเนินการตรวจวัด และวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบกิจการระยะเวลา และประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ ได้กำหนดให้

ข้อ 3 นายจ้างจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบกิจการในสภาวะที่เป็นจริงของสภาพการทำงาน อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง กรณีที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร อุปกรณ์ กระบวนการผลิต วิธีการทำงาน หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง ให้นายจ้างดำเนินการจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานฯ เพิ่มเติมภายใน 90 วัน นับจากวันที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง

ข้อ 8 ให้ตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างในสถานประกอบกิจการทุกประเภทกิจการ โดยให้ตรวจวัด “บริเวณพื้นที่ทั่วไป” บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ลูกจ้างทำงาน และบริเวณที่ลูกจ้างต้องทำงาน โดยใช้สายตามองเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาคู่กับที่ในการทำงาน ในสภาพการทำงานปกติและในช่วงเวลาที่มีแสงสว่างตามธรรมชาติน้อยที่สุด

2.1.2.5 การจัดการกับแหล่งแสง

การจัดแสงสว่างในสถานประกอบกิจการใหม่สรุปที่เหมาะสม มีหลักในการพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) การเลือกระบบแสงสว่างและแหล่งกำเนิดแสงสว่าง

แสงสว่างตามธรรมชาติ เป็นแหล่งกำเนิดของแสงสว่างที่ดีที่สุดและถูกที่สุด การจัดพื้นที่ของสถานประกอบกิจการใหม่พื้นที่ของหน้าต่างหรือช่องแสงเข้าจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ หากต้องการนำประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ ควรใหม่พื้นที่ของหน้าต่างมากกว่า $1/3$ ของพื้นที่ของสถานประกอบกิจการนั้น แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงความร้อนที่จะเข้ามาด้วย

2) ลักษณะของห้องหรือพื้นที่ใช้งาน

ลักษณะของห้องหรือพื้นที่ใช้งาน นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการที่จะนำรายละเอียดไปใช้เป็นขอพิจารณาในการกำหนดความสว่างให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการมองเห็นที่ดี การจดสภาพแวดล้อมในการมองเห็นเพื่อให้เกิดความรู้สึกสบายและอยากทำงาน การพิถีพิถันในการเลือกใช้สี และวัสดุในการทาเพดานและผนัง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะช่วยเพิ่มการมองเห็นให้ดียิ่งขึ้น โดยจะลดการสูญเสียจากแสงสะท้อน การกระจายของแสงดีขึ้น ปกติแล้วการทาสีเพดานควรทาสีที่ใกล้เคียงกับสีขาวให้มากที่สุดและผนังไม่ควรทาสีที่มีความมันวาว ควรทาสีอ่อนๆ

3) ปริมาณของแสงสว่างที่เพียงพอและมีคุณภาพ

ลักษณะงานแต่ละชนิด ต้องการปริมาณแสงสว่างไม่เท่ากัน ลักษณะงานที่มีความละเอียดมาก หรือมีชิ้นงานขนาดเล็กมาก หรือทำงานกับชิ้นงานที่มีสีทึบ ย่อมต้องการปริมาณแสงสว่างมากกว่างานที่มีชิ้นงานขนาดใหญ่หรือมีสีอ่อน นอกจากปริมาณแสงสว่างที่พอเหมาะกะกับลักษณะงานแล้ว คุณภาพของแสงสว่างก็มีความสำคัญ

2.1.2.6 แสงสว่างที่ควรหลีกเลี่ยง

1) การเกิดแสงจ้า (Glare)

คือ จุดหรือพื้นที่ที่มีแสงจ้าเกิดขึ้นในระยะของลานสายตา (Visual Field) ทำให้ตาารู้สึกว่ามีแสงสว่างมากเกินไปที่ตาจะปรับได้ ทำให้เกิดความรำคาญ ไม่สบาย หรือความสามารถในการมองเห็นลดลง แสงจ้ามี่ 2 ชนิด คือ

1.1) แสงจ้าเข้าตาโดยตรง (Direct Glare) เกิดจากแหล่งกำเนิดที่แสงสว่างจ้าในระยะลานสายตา ซึ่งอาจเกิดจากแสงสว่างที่ส่องผ่านหน้าต่าง หรือแสงสว่างที่เกิดจากดวงไฟที่ติดตั้ง การแก้ปัญหาแสงจ้าโดยตรงสามารถทำได้ ดังนี้

- ติดผ้าม่าน ที่บังตา บานเกร็ด ต้นไม้ หรือไม้เลื้อยต่าง ๆ
- เปลี่ยนเป็นกระจกฝ้าแทนกระจกใส
- เปลี่ยนทิศทางของโต๊ะและการนั่งทำงาน โดยให้แสงสว่างเข้าด้านข้าง หรือนั่งหันหลังให้หน้าต่าง แทนการหันหน้าไปหาแสง แต่ต้องระวังการเกิดเงาบังแสงสว่างที่ตกกระทบขนงาน
- การใช้โคมไฟ หรือที่ครอบลึกลับพอควร ขอบด้านในทำสีเข้มและผิวด้าน
- ติดตั้งโคมไฟให้ต่ำพอ เพื่อว่าแสงจ้าที่พื้นผิวจะถูกกลบหายไป แต่ให้มีระดับสูง เพียงพอที่จะช่วยในการส่องสว่าง

1.2) แสงจ้าจากการสะท้อน (Reflected Glare) เกิดจากเมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวต่างๆ เช่น วัตถุผิวมันและสะท้อนมาเข้าตา แสงจ้าชนิดนี้จะก่อให้เกิดความรำคาญมากกว่าแสงจ้าโดยตรง การลดแสงจ้าจากการสะท้อน สามารถทำได้ ดังนี้

- การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งแสง
- การลดความสว่างของแหล่งแสง
- การเลือกใช้ผิววัสดุที่มีการสะท้อนแสงต่ำ
- การทาสีทึบป้องกันแสงสะท้อน
- การทาสีหลัง (Background) ข้างเคียงให้สว่างกว่า โดยออกแบบพื้น/วัสดุผิวสีอ่อนให้อยู่ด้านหลัง

2) การเกิดเงา

เงาเป็นอุปสรรคต่อการทำงานอย่างยิ่ง บริเวณที่มีเงามืดบนพื้นผิวของชิ้นงาน จะทำให้การทำงานลำบากมากยิ่งขึ้น เพราะมองไม่เห็นหรือเห็นไม่ชัด คุณภาพของงานไม่ดี เมื่อยตา และอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ การหลีกเลี่ยงการเกิดเงา สามารถทำได้ ดังนี้

- การวางผังโต๊ะในลักษณะที่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดเงาในบริเวณที่ทำงาน
- จัดกลุ่มดวงไฟสำหรับกลุ่มต่าง ๆ ของเครื่องจักร
- จัดทิศทางของแสง
- การเพิ่มแสงสว่างจะสามารถป้องกันการเกิดเงาได้ ดังนั้น การดูแลความสะอาดและเพิ่มจำนวนหน้าต่าง และช่องแสง เป็นวิธีทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มการส่องสว่างได้

2.1.2.7 การบำรุงรักษาแสงสว่าง

แม้จะมีปริมาณและคุณภาพของแสงสว่างที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานนั้นแล้ว แต่หากไม่มีการดูแลบำรุงรักษาระบบแสงสว่างอย่างเหมาะสม ความเข้มของการส่องสว่างที่ได้รับจะเหลือเพียงครึ่งเดียว และทำให้การจัดแสงสว่างที่ดำเนินการไว้ไม่เพียงพอต่อการปฏิบัติงานได้ สาเหตุที่ทำให้ระบบการส่องสว่างลดลง คือ

- ฝุ่น หรือสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนดวงไฟ พื้นผิวงานต่างๆ รวมทั้งพื้นผิวห้องด้วย อาทิเช่น ฝ้า กำแพง เพดาน หน้าต่าง ช่องแสง เป็นต้น
- อายุการใช้งานของแหล่งกำเนิดแสง เช่น ดวงไฟ หลอดฟลูออโรเรสเซนต์ (ก่อนที่หลอดจะขาดหรือหมดอายุ ความสว่างของหลอดไฟจะลดลง 25-30% เมื่อเทียบกับหลอดไฟใหม่)
- การนำสิ่งของต่าง ๆ วางกีดขวางทางเข้าของแสงสว่าง หรือตั้งบังทางที่แสงส่องสว่างผ่านมายังบริเวณที่ปฏิบัติงาน

2.1.3 เสียง

เสียง (Sound) หมายถึง ความสั่นสะเทือนของตัวกลางหรืออากาศที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศและจากแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน เสียงเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศในตัวกลางต่าง ๆ (อากาศ ของเหลว และของแข็ง) โดยทั่วไปในตัวกลางชนิดหนึ่งในทุก

ความถี่ จะเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากันเสมอ ความเร็วเสียงจึงขึ้นกับชนิดของตัวกลางที่เสียงผ่าน โดยตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก เช่น ของแข็ง จึงนำเสียงได้ดีกว่าหรือเร็วกว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า เช่น ของเหลว และก๊าซ

2.1.3.1 ผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษทางเสียง

เสียงที่ดังมากเกินไปเท่าที่มนุษย์ได้รับฟังแล้วจะมีอันตรายต่อร่างกายและเป็นมลพิษ แต่เสียงที่เบาและเป็นเสียงที่ไม่สบบอารมณ์ก็ทำให้ผลเสียได้เช่นเดียวกัน ผลเสียของมลพิษทางเสียงที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1) เกิดผลเสียต่อสมรรถภาพของการได้ยิน

เสียงที่ดังเกินไปหรือมีความถี่สูงเกินไปจะทำให้หูหนวกได้ เช่น ถ้าฟังเสียงที่ต่ำกว่า 85 เดซิเบลติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้หูหนวกได้ ผู้ที่อยู่ในภาวะเช่นนี้ ได้แก่ คนที่ทำงานอยู่ในโรงงานเป็นประจำ พนักงานที่ทำงานในลานจอดเครื่องบิน หรือได้ยินเสียงระเบิด ซึ่งมีความดังถึง 160 เดซิเบล สมรรถภาพการได้ยินอาจจะเสียไป แต่อาจกลับคืนได้บ้างภายหลัง ถ้าแก้วหูไม่ฉีกขาดมากเกินไปนัก

นอกจากนี้เสียงที่ดังเกินไปยังเป็นอันตรายต่อระบบการได้ยิน เนื่องจากอวัยวะรับเสียงนั้นเป็นอวัยวะที่ละเอียดอ่อนมากมีการเคลื่อนไหวสันสะเทือนอยู่ตลอดเวลาที่มีเสียงมากระทบ ไม่ว่าเสียงนั้นจะดังมากน้อยเพียงใด ถ้าเสียงยิ่งดังมากก็ยิ่งทำให้เกิดการสันสะเทือนของอวัยวะรับเสียงมากขึ้น หากได้ยินเสียงดังเป็นเวลานานๆ ก็จะส่งผลให้การทำงานของหูชั้นในค่อยๆ เสื่อมสภาพลงได้ จนเกิดอาการที่เรียกว่า หูอื้อ และถ้าปล่อยให้เป็นอย่างนี้ต่อไปเรื่อยๆ จะทำให้เกิดอาการหูตึง ประสาทหูเสื่อม หูพิการ จนกระทั่งถึงขั้นที่ไม่สามารถได้ยินเสียงอีกเลยที่ เรียกว่า หูหนวก ยิ่งไปกว่านั้นการได้ยินเสียงที่ดังมาก เช่น เสียงดังตั้งแต่ 130 เดซิเบลขึ้นไป คลื่นเสียงจะทำอันตรายแก้วหู ทำให้เกิดอาการเจ็บปวด เกิดอันตรายเฉียบพลันจนถึงขั้นแก้วหูฉีกขาดหรือหูหนวกทันที ความสะเทือนของเสียงที่ดังมากเกินไป และดังอยู่นาน ก็อาจทำให้กล้ามเนื้อหูฉีกขาดทำลายเซลล์ประสาทและปลายประสาท ซึ่งก่อให้เกิดอาการดังนี้

1. หูตึงหรือหูอื้อชั่วคราว อาการนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเสียงนั้นยังไม่ดังมาก แต่นานพอที่จะทำให้เกิดการทำลายปลายประสาท และเซลล์ประสาทอย่างถาวร ดังนั้นการสูญเสียการได้ยินแบบนี้อาจจะกลับคืนเป็นปกติได้ ถ้าได้พักจากการฟังเสียงดัง และอาจเข้าสู่สภาพปกติหลังจากพัก 2-3 ชั่วโมงแล้วก็ได้

2. หูตึงและหูหนวกอย่างถาวร เนื่องจากเสียงที่ได้รับนั้นดังมากเกินไป จนถึงขั้นทำลายปลายประสาท และเซลล์ประสาทอย่างถาวร ทำให้การได้ยินไม่อาจกลับคืนเป็นปกติได้อีก แม้ว่าจะพักเป็นเวลานานแล้วก็ตาม

3. อันตรายอย่างเฉียบพลัน ทำให้เกิดอาการหูหนวกทันทีหลังจากได้รับเสียงดังมากเกินไป เช่น เสียงระเบิด เสียงประทัด เสียงฟ้าผ่า เนื่องจากแรงสันสะเทือนที่มากจนทำให้เกิดการฉีกทำลายไม่เพียงแต่ปลายประสาทและเซลล์ประสาทเท่านั้น แต่อาจทำให้แก้วหูฉีกขาดไปด้วย

2) อันตรายของเสียงต่อสุขภาพทั่วไปและจิตใจ

นอกจากมลพิษของเสียงจะมีผลต่อหูโดยตรงแล้ว ยังมีผลต่ออารมณ์และสุขภาพส่วนอื่นของร่างกายทำให้เกิดความผิดปกติต่างๆ ได้แก่

1. *รบกวนการนอนหลับและการพักผ่อน* การนอนถือเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่งประการหนึ่งของชีวิตและจำเป็นต่อสุขภาพ แม้ว่าหลายๆ คนอาจปรับตัวได้และสามารถหลับนอนได้ในที่ซึ่งมีเสียงดังก็ตาม แต่บางคนก็ไม่อาจปรับตัวได้เลย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของบุคคลนั้น และขึ้นอยู่กับลักษณะของเสียงที่รบกวนด้วย

เสียงในระดับสูงกว่า 48 dBA สามารถรบกวนการนอนหลับของคนส่วนใหญ่ได้ เสียงที่มีความดังประมาณ 70 เดซิเบล สามารถปลุกให้คนตื่นจากการนอนหลับได้ แต่ถึงแม้ว่าเสียงที่ปลุกคนให้ตื่นได้จะมีความดังไม่มาก แต่ก็สามารถรบกวนการนอนหลับ ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้นขณะนอนหลับได้ ประสาทเครียด และอาจทำให้เกิดโรคหัวใจได้

2. *มีผลต่อสุขภาพทั่วไป* เสียงที่ดังมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น เสียงที่ดังเกิน 135 เดซิเบล และมีความถี่ระหว่าง 200-1,500 เฮิรตซ์ จะทำให้คลื่นไส้ อาเจียน เวียนศีรษะ เดินเซ กระโหลกศีรษะ และกระดูกขากรรไกรสั่น เป็นต้น อาการเหล่านี้จะหายไปเมื่อเสียงนั้นหยุด นอกจากนั้นเสียงที่ดังอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอีก เช่น มีความดันโลหิตสูง ทำให้เกิดโรคกระเพาะอาหาร โรคหัวใจบางชนิด เกิดภาวะตึงเครียด และทำให้ชีพจรเต้นผิดปกติ เกิดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อ รวมทั้งอาจเกิดอาการหดตัวของหลอดเลือดเล็กๆ ที่มือและเท้า ซึ่งถ้าเป็นอยู่นานอาจเกิดอาการชาได้ นอกจากนี้ยังทำให้มีอาการปวดศีรษะ เหนื่อยง่าย เพลียง่ายกว่าธรรมดา ทำให้การหลั่งน้ำลายและน้ำย่อยในกระเพาะรวมทั้งการหดตัวของกระเพาะน้อยลง

3. *ผลทางด้านจิตใจ* เสียงที่ไม่พึงปรารถนาทำให้เกิดการหงุดหงิดไม่สบายใจ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของเสียงนั้นๆ นอกจากนี้เสียงที่ดังมากเกินไป อาจกระตุ้นอาการทางประสาทที่แฝงอยู่ในคนๆ นั้นให้ปรากฏขึ้นได้ เสียงดังหรือเสียงไม่ดังมาก แต่เป็นเสียงที่ไม่ปรารถนา ไม่ต้องการได้ยิน สามารถทำให้เกิดความรำคาญ อารมณ์เสีย คลุ้มคลั่ง ไม่สบายใจ อารมณ์อ่อนไหวง่าย และอาจทำให้เป็นโรคจิตได้

4. *เสียงรบกวนการติดต่อสื่อสาร* เสียงที่ดังจะรบกวนและขัดขวางการได้ยินสัญญาณเตือนภัยอันตรายต่างๆ อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุและอันตราย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความไม่ชัดเจนในการติดต่อสื่อสาร และเกิดความไม่สะดวกในการปฏิบัติงานซึ่งในเรื่องของการรบกวนการสื่อสารนี้ เสียงที่ดังตลอดเวลาจะรบกวนมากกว่าเสียงที่ดังเป็นครั้งคราว เสียงที่มีความดังมากจะรบกวนการสนทนา ทำให้การติดต่อประสานงานล่าช้า เกิดการผิดพลาด ทำให้ต้องมีการตะโกนให้ดังขึ้น หรือก่อให้เกิดความไม่พอใจ เป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกายและจิตใจ

3) เสียงรบกวนการทำงาน ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง

เสียงบางอย่างทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง จากการศึกษาพบว่าเสียงที่ดังมากๆ และดังเป็นครั้งคราว ทำลายประสิทธิภาพในการทำงานได้มากกว่าเสียงที่ไม่ดังมาก และเกิดติดต่อกันตลอดเวลา ทำให้เกิดความล่าช้าในการปฏิบัติงาน และทำให้ความถูกต้องของงานลดลงด้วย และเสียงสูงจะรบกวนการทำงานมากกว่าเสียงต่ำ และอาจทำให้บาดเจ็บเหตุการณ์ไม่คาดฝันที่เป็นอันตรายอื่นๆ ได้ อย่างไรก็ตามการที่เสียงจะเป็นมลพิษต่อคนได้ก็ขึ้นอยู่กับสภาพความคิด ลักษณะการทำงาน และลักษณะของเสียงนั้นด้วย แต่ก็เป็นที่ยอมรับกันว่า เสียงดังที่ไม่ต้องการ ย่อมรบกวนการปฏิบัติงานและการเรียนรู้ได้เห็นชัด โรงเรียนที่มี

ห้องเรียนติดถนนที่มีรถวิ่งตลอดเวลา จะทำให้ทั้งครูอาจารย์ และนักเรียนรู้สึกหนวกหู เสียงจะทำให้สมาธิในการเรียนลดลง ประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำในการเรียนรู้ลดลง โดยเฉพาะเสียงที่ดังเกิน 90 dBA

2.1.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดเสียง

เครื่องวัดเสียง (Sound Level Meter) เป็นเครื่องมือพื้นฐานในการวัดระดับเสียง สามารถวัดระดับเสียงได้ตั้งแต่ 40 - 140 เดซิเบล โดยทั่วไปผู้ผลิตจะผลิตเครื่องวัดเสียงที่สามารถวัดระดับเสียงได้ 3 ข่าย (Weighting Networks) คือ A, B และ C ข่ายที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ ข่าย A เพราะเป็นข่ายตอบสนองต่อเสียงคล้ายคลึงกับหูคนมากที่สุด หน่วยวัดของเสียงที่วัดด้วยข่าย A คือเดซิเบลเอ (dBA) เครื่องวัดเสียงที่ใช้ในการประเมินระดับเสียงในสถานประกอบการกิจการตามกฎหมายอย่างน้อยต้องสอดคล้องกับมาตรฐาน IEC 651 Type 2 (International Electro technical Commission 651 Type 2) หรือเทียบเท่าเช่น ANSI S 1.4 , BS EN 60651, AS/NZS 1259.1 เป็นต้น หรือดีกว่าเช่น IEC 60804, IEC 61672, BS EN 60804 , AS/NZS 1259.2 เป็นต้น

2.1.3.3 การตรวจวัดเสียงตามกฎหมายกระทรวง

ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบการระยะเวลา และประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ ได้กำหนดให้

ข้อ 3 นายจ้างจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบการในสภาวะที่เป็นจริงของสภาพการทำงาน อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง กรณีที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร อุปกรณ์ กระบวนการผลิต วิธีการทำงาน หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง ให้นายจ้างดำเนินการจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเพิ่มเติมภายใน 90 วันนับจากวันที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง

ข้อ 12 ประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการตรวจวัดระดับเสียง ได้แก่ การระเบิด ย่อย โม่หรือบดหิน ผลิตน้ำตาลหรือทำให้บริสุทธิ์ การผลิตน้ำแข็ง การปั่น ทอโดยใช้เครื่องจักร การผลิตเครื่องเรือน เครื่องใช้จากไม้ การผลิตเยื่อกระดาษหรือกระดาษ กิจการที่มีการปั๊มหรือเจียรโลหะ กิจการที่มีแหล่งกำเนิดเสียงหรือสภาพการทำงานที่อาจทำให้ลูกจ้างได้รับอันตรายเนื่องจากเสียง

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานการสัมผัสเสียงตามกฎกระทรวง

เวลาการทำงานที่ได้รับเสียง (ชั่วโมง)	ระดับเสียงเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน (TWA) ไม่เกิน (เดซิเบลเอ)
12	87
8	90
7	91
6	92
5	93
4	95
3	97
2	100
1 ½	102
1	105
½	110
¼	115

หากไม่มีค่าในตารางให้ใช้สูตรคำนวณเพื่อหาระยะเวลาที่สามารถทำงานในพื้นที่ดังกล่าวได้จากสูตร

$$T_{\text{ชั่วโมง}} = \frac{8}{2^{(L-90)/5}}$$

เมื่อ $T_{\text{ชั่วโมง}}$ หมายถึง เวลาการทำงานที่ยอมให้ได้รับเสียง (ชั่วโมง)
 L หมายถึง ระดับเสียง (เดซิเบลเอ) [ตัดเศษทศนิยมออก (ถ้ามี)]

2.1.3.4 วิธีป้องกันควบคุมอันตรายจากเสียงดัง

การควบคุมและป้องกันอันตรายจากเสียงดัง มีหลักการสำคัญ 3 ประการ คือ การควบคุมเสียงที่แหล่งกำเนิด การควบคุมที่ทางผ่าน และการควบคุมที่ตัวบุคคล

1) การควบคุมเสียงที่แหล่งกำเนิด ซึ่งควรพิจารณาเป็นลำดับแรก เช่น การออกแบบเครื่องจักร เครื่องมือให้ทำงานเงียบ การออกแบบจัดผังการทำงานเพื่อลดการสัมผัสเสียง การจัดที่ครอบปิดเครื่องจักร การติดตั้งในตำแหน่งให้มั่นคงและการใช้อุปกรณ์ป้องกันการสั่นสะเทือน หรือการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่แหล่งกำเนิด เช่น Silencers, Muffler, Vibration Isolators, Damper Treatments เป็นต้น และการบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบและสม่ำเสมอ

2) การควบคุมที่ทางผ่าน เป็นการควบคุมเพื่อต้องการ ลดระดับเสียงที่จะมาถึงหูของผู้ปฏิบัติงาน สามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดและบริเวณที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ การปิดกั้นห้องหรือทำฉากกำบังกันทางเดินเสียง การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่เพดานหรือฝ้าผนัง

3) การควบคุมเสียงที่ผู้ปฏิบัติงาน เป็นการควบคุมโดยให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงดังให้น้อยที่สุด โดยอาจหมุนเวียนคนทำงาน การจัดทำเป็นห้องควบคุม การทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน การใช้ที่อุดหูหรือที่ครอบหู บางครั้งอาจต้องสวมใส่ทั้งที่อุดหูและที่ครอบหูพร้อมกัน หากต้องปฏิบัติงานสัมผัสเสียงดังกว่า 115 เดซิเบลเอ เนื่องจากการสวมใส่ที่อุดหูหรือที่ครอบหูอย่างใดอย่างหนึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการป้องกันการสูญเสียการได้ยิน

2.2 การออกแบบสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

แนวคิดและการออกแบบสร้างเครื่องมือตรวจวัดนั้นใช้ตัวเซนเซอร์ในการตรวจจับสถานะใด ๆ เช่น อุณหภูมิ สี แสง หรือ วัตถุ ต่าง ๆ โดยอาศัยหลักการที่แตกต่างกันไปแต่ละตัว เพื่อเปลี่ยนจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์มาเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันเซนเซอร์ได้พัฒนาไปมากมีความแม่นยำสูง จึงทำให้เราสามารถมีตัวเลือกในการใช้งานเพื่อให้ตรงตามความต้องการมากขึ้น ดังนั้นรายละเอียดในบทนี้จึงได้นำเสนอเกี่ยวกับ ทฤษฎีและการใช้งานเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เบอร์ SHT15 , DS18B20 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่มีความแม่นยำสูง

2.2.1 ทฤษฎีและการใช้งาน SHT15

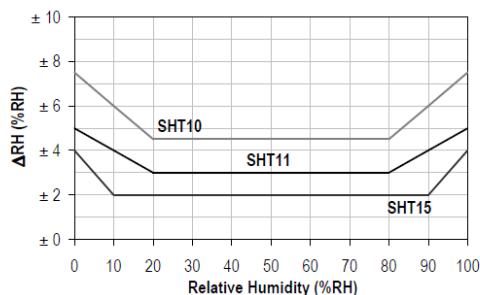
SHT15 เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ขนาด 14 บิต จะทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลมีวงจรเชื่อมต่อบนอนุกรม ซึ่งส่งผลให้มีคุณภาพของสัญญาณที่ดี มีเวลาการตอบสนองที่รวดเร็วและลดการรบกวนจากสัญญาณภายนอก อีกทั้งมีค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบซึ่งทำการโปรแกรมลงในหน่วยความจำในตัว SHT15 เพื่อใช้ในการสอบเทียบสัญญาณที่เข้ามาภายในเซนเซอร์ ตัวเซนเซอร์มีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำทำให้ SHT15 เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับนำมาใช้งาน

2.2.1.1 ช่วงการใช้งานของเซนเซอร์ SHT15

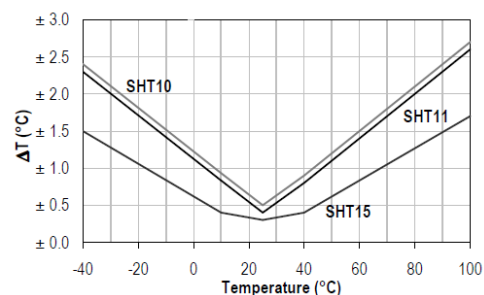
วัดอุณหภูมิเป็นหน่วยองศาเซลเซียสในช่วง -40°C ถึง 124°C วัดความชื้นในช่วง 0% ถึง 100% โดยมีความแม่นยำของตัวเซนเซอร์ ดังตารางที่ 2.2 และสามารถเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ SHT15 กับ SHT10 และ SHT11 ดังรูปที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 ความแม่นยำของเซนเซอร์ SHT15

Part Number	Humidity accuracy [%RH]	Temperature accuracy [$^{\circ}\text{C}$]
SHT15	± 2.0	± 0.3



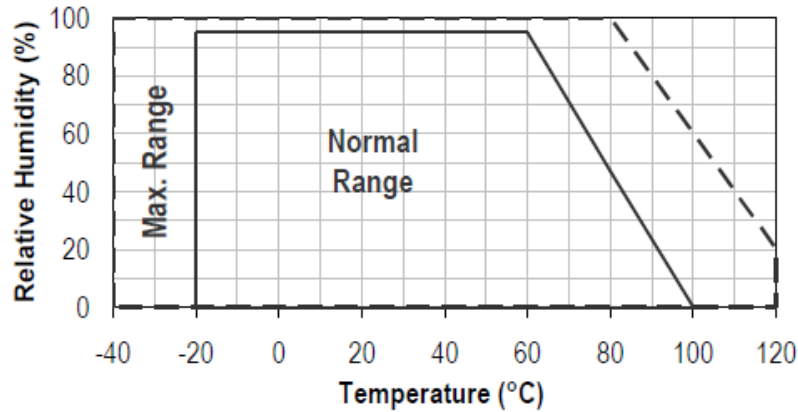
รูปที่ 2.3 ความแม่นยำของค่าความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 2.4 ความแม่นยำของค่าอุณหภูมิ

2.2.1.2 ข้อแนะนำในการใช้งานเซนเซอร์ SHT15

เซนเซอร์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงการทำงานปกติดังรูปที่ 2.5 นอกเหนือจากช่วงการทำงานปกติแล้วจะทำให้มีความแม่นยำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความชื้นมากกว่า 80% RH

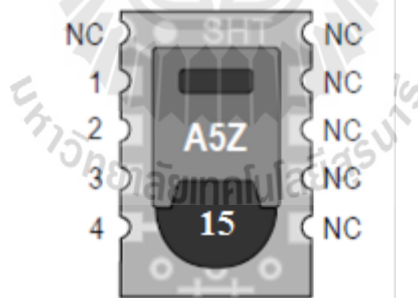


รูปที่ 2.5 ช่วงการทำงานปกติของ SHT15

- การติดตั้งตัวเซนเซอร์ต้องคำนึงถึงผลของอุณหภูมิจากบอร์ด และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยต้องจัดให้มีการระบายความร้อนที่ดี
- SHT15 ไม่ไวต่อแสงสามารถใช้งานในบริเวณที่ได้รับแสงแดดหรือได้รับผลจากการแผ่รังสีได้
- SHT15 ไม่มีอุปกรณ์หุ้มที่เซนเซอร์ อาจเพิ่มอุปกรณ์หุ้มเซนเซอร์เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกและฝุ่นละออง

2.2.1.3 ข้อมูลจำเพาะของการเชื่อมต่อ (Interface)

สามารถแสดงโครงสร้างของ SHT15 ดังรูปที่ 2.6 และขบวนการทำงานแสดงดังตารางที่ 2.4

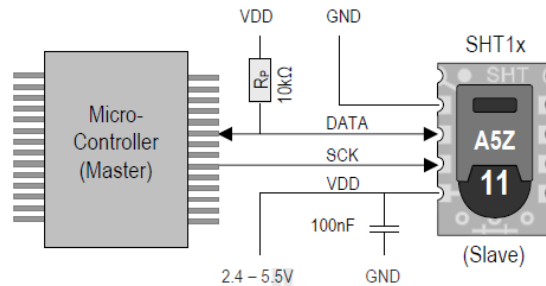


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ SHT15

ตารางที่ 2.4 ขบวนการทำงานของ SHT15

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

- ขาเพาเวอร์ (VDD, GND) แหล่งจ่ายแรงดันของ SHT15 จะต้องอยู่ในช่วง 2.4 - 5.5V, ช่วงแรงดันที่แนะนำคือ 3.3 โวลต์ ขาแหล่งจ่ายแรงดัน (VDD) และ Ground (GND) จะต้องต่อร่วมกับตัวเก็บประจุขนาด 100 nF ดังรูปที่ 2.7 การเชื่อมอนุกรมของ SHT15 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูลและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเชื่อมต่อกับบัสภายนอกได้โดยไม่รบกวนอุปกรณ์อื่นๆ ที่เชื่อมต่อกับบัส



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อขา SHT15 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

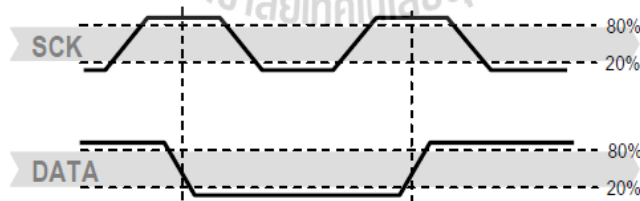
- Serial clock input (SCK) จะใช้เพื่อประสานการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และ SHT15

- Serial data (DATA) ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลเข้าและออกสำหรับการส่งคำสั่งไปยังเซนเซอร์

2.2.1.4 การสื่อสารกับเซนเซอร์

- เริ่มการตรวจจับขณะทำการจ่ายแรงดันให้กับเซนเซอร์ SHT15 จะมีการเข้าโหมดพักชั่วคราว (sleep mode) 11 mS ดังนั้นจึงไม่ต้องติดต่อไปก่อนหน้า

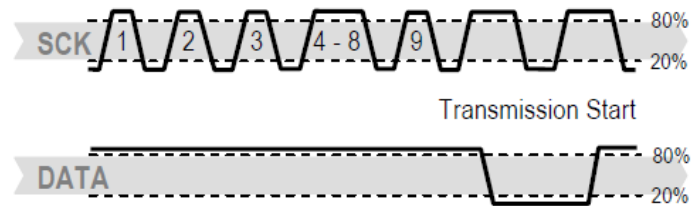
- การส่งคำสั่งในการเริ่มต้นส่งคำสั่งต่างๆจะต้องมีลำดับการส่ง ประกอบด้วยการลดสายข้อมูลในขณะที่ SCK อยู่ในช่วงพัลส์สูงตามด้วยพัลส์ต่ำและจะเพิ่มสายข้อมูลอีกครั้งเมื่อ SCK กลับมาอยู่ในช่วงพัลส์สูง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลำดับการเริ่มต้นส่งข้อมูลของเซนเซอร์ SHT15

- การวัดอุณหภูมิ (T) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) หลังจากการออกคำสั่งการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไปแล้วตัวควบคุมจะรอให้การวัดเสร็จสมบูรณ์โดยจะใช้เวลาสูงสุด 20/80/320 ms สำหรับข้อมูลขนาด 8/12/14bit ตามลำดับ เวลาในการวัดจะขึ้นอยู่กับความเร็วของออสซิลเลเตอร์ภายใน เมื่อการวัดสัญญาณเสร็จสิ้น SHT15 จะทำการดึงข้อมูลทางสายเข้ามาไว้แล้วเข้าสู่โหมดไม่ทำงาน ตัวควบคุมจะต้องรอรับสัญญาณข้อมูลก่อนที่จะเริ่มต้น SCK ต่อไป การอ่านข้อมูลการวัดจะถูกไว้นานกว่าตัวควบคุมจะดำเนินการอื่น ๆ เสร็จสิ้น

- ลำดับการรีเซต เมื่อมีปัญหาเรื่องการเชื่อมต่อสัญญาณจะต้องส่งพัลส์รีเซตเข้าไปจัดการพัลส์รีเซตนี้จะต้องจ่ายพัลส์ 9 พัลส์แล้วส่ง Data เป็น Low แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลำดับการรีเซตข้อมูล

- การคำนวณ CRC Checksum การส่งสัญญาณดิจิทัลจะมีการตรวจสอบว่าข้อมูลใด ๆ ที่ไม่ถูกต้องถ้าสามารถตรวจพบจะตัดส่วนที่ผิดพลาดนั้นออก

2.2.1.5 การแปลงสัญญาณข้อมูล

- ความละเอียดการวัด
 - อุณหภูมิ มีค่าเริ่มต้นความละเอียดการวัด คือ 14 บิต
 - ความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าเริ่มต้นความละเอียดการวัด คือ 12 บิต
- ความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อชดเชยการไม่เป็นเชิงเส้นของเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ให้มีความถูกต้องแม่นยำ จะต้องทำการแปลงข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (val_{RH}) ด้วยสมการการปรับเทียบดังต่อไปนี้

$$RH_{linear} = [(C_1 + C_2) \times val_{RH}] + [C_3 \times (val_{RH})^2] \quad (\%RH) \quad (2.2)$$

- เมื่อ RH_{linear} คือ สมการค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เป็นเชิงเส้น
- C_1, C_2, C_3 คือ สัมประสิทธิ์การปรับเทียบ
- val_{RH} คือ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่เซนเซอร์วัดได้

โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การปรับเทียบตามเอกสารข้อมูลจำเพาะของ SHT15 ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การปรับเทียบค่าความชื้น

val_{RH}	C_1	C_2	C_3
12 bit	-4.0000	0.0405	-0.0000028

- อุณหภูมิ เพื่อชดเชยการไม่เป็นเชิงเส้นของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิให้มีความถูกต้องแม่นยำ จะต้องแปลงข้อมูลอุณหภูมิ (val_T) ด้วยสมการการปรับเทียบดังต่อไปนี้

$$T = (d_1 + d_2) \times \text{val}_T \quad (2.3)$$

เมื่อ

T คือ สมการค่าอุณหภูมิที่เป็นเชิงเส้น

d_1, d_2 คือ สัมประสิทธิ์การปรับเทียบ

val_T คือ ข้อมูลความอุณหภูมิที่เซนเซอร์วัดได้

โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การปรับเทียบดังตารางที่ 2.5 และตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การปรับเทียบค่าอุณหภูมิ

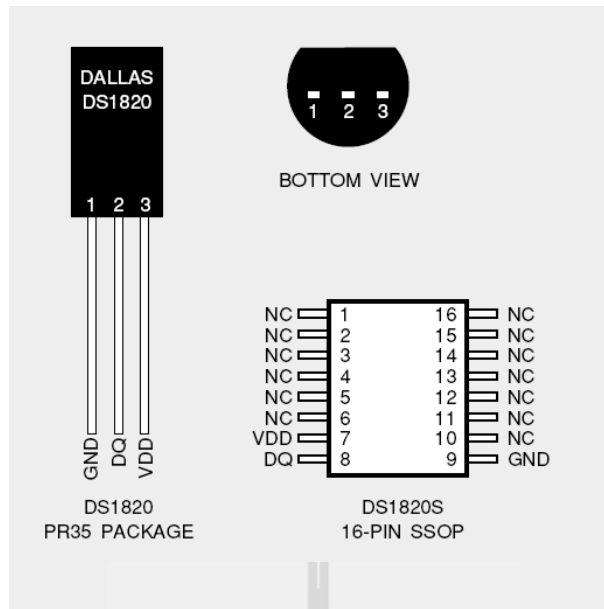
VDD	d_1 (°C)	d_1 (°F)
5 V	-40.1	-40.2
4 V	-39.8	-39.6
3.5 V	-39.7	-39.5
3 V	-39.6	-39.3
2.5 V	-39.4	-38.9

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การปรับเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์

val_{RH}	d_2 (°C)	d_2 (°F)
14 bit	0.01	0.018

2.2.2 ทฤษฎีและการใช้งาน DS18B20

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์อุณหภูมิขนาดเล็กและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาจากสัญญาณเส้นเดียวมีอยู่มากมายหลายเบอร์และหลายรูปแบบแต่ส่วนมากแล้วอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิเหล่านั้น มักจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบอนาล็อก แต่ในส่วน DS18B20 สามารถทำได้มากกว่านั้น เพราะนอกจากจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบดิจิทัลแล้ว ยังเขียนโปรแกรมเข้าไปยังส่วนหน่วยความจำ และควบคุมฟังก์ชันภายในไอซีได้อีกด้วย ซึ่งหน่วยความจำรวมขนาด 64 บิตแบบเลเซอร์รอม ดังนั้นจึงสามารถอ่านและเขียนข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับหน้าที่การทำงานในการตรวจวัดอุณหภูมิได้อย่างมากมายตามการประมวลผลของไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของ DS18B20 ดังรูปที่ 2.10



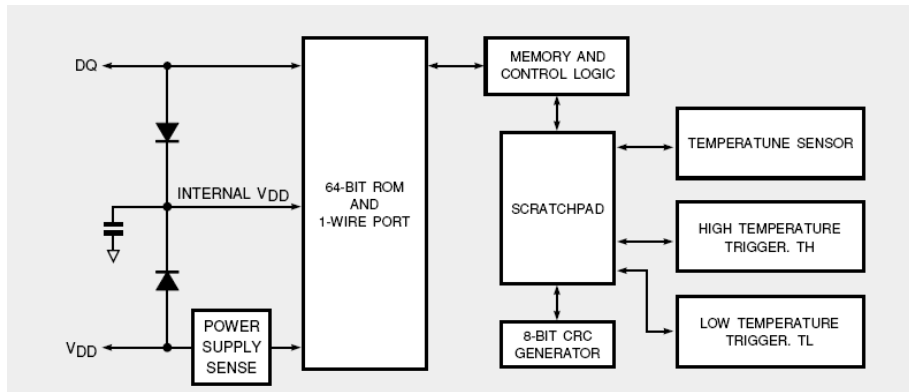
รูปที่ 2.10 ลักษณะตัวถังบรรจุและการจัดขาของ DS18B20

2.2.2.1 จุดเด่นของเซนเซอร์ DS18B20

- อินเทอร์เฟซสัญญาณผ่านขาเอาต์พุตเพียงพอร์ตเดียวแบบ 1 สายข้อมูล
- ขยายจุดตรวจจับอุณหภูมิได้หลายๆ จุดบนสายข้อมูลเพียง 1 สายข้อมูล
- ใช้งานได้โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ภายนอกต่อร่วม
- สามารถควบคุมการทำงานเพาเวอร์ออนได้ผ่านทางสายข้อมูล
- เพาเวอร์ขณะสแตนด์บายเป็นศูนย์
- ย่านการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -55 องศาเซลเซียสถึง +125 องศาเซลเซียสที่ 0.5 องศาต่อสแต็ป หรือตั้งแต่ย่าน -67 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง +257 องศาฟาเรนไฮต์ที่ 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ต่อสแต็ป
- อุณหภูมิจะถูกอ่านออกมาเป็นค่าทางดิจิตอล 9 บิต
- อัตราความเร็วในการแปลงจากอุณหภูมิมาเป็นค่าตัวเลขทางดิจิตอลเท่ากับ 200 มิลลิวินาที
- ผู้ใช้งานสามารถกำหนดการเซตค่าการเตือนย่านอุณหภูมิได้ในแบบ non-volatile
- การเตือนย่านอุณหภูมินั้นสามารถกำหนดรหัสผ่านการสั่งการและแอดเดรสของอุปกรณ์ได้จากภายนอกพื้นที่ตรวจวัดอุณหภูมิผ่านทางโปรแกรมภายนอก
- เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานตรวจวัดอุณหภูมิและติดตั้งไว้ในอุปกรณ์ควบคุมเทอร์โมสแตติก ระบบโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ และเทอร์โมมิเตอร์หรือในระบบอื่น ๆ ที่มีส่วนตรวจจับอุณหภูมิทำงานร่วมอยู่

2.2.2.2 ส่วนประกอบของการทำงานต่างๆ ภายในตัว DS18B20

ลักษณะการทำงานภายในของเซนเซอร์ DS18B20 ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมภายใน DS18B20

จะสังเกตเห็นว่าส่วนประกอบหลัก ๆ มีอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ หน่วยความจำเลเซอร์ขนาด 64 บิต ส่วนเซนเซอร์อุณหภูมิและส่วนกระตุ้นเตือนอุณหภูมิแบบ non-volatile (TH และ TL) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมินี้จะถูกควบคุมสถานะการเพาเวอร์ออนและเพาเวอร์ออฟจากไลน์ข้อมูลเพียง 1 สายข้อมูล จากการเก็บรักษากำลังงานสำรองไว้ในตัว เก็บประจุภายใน ในช่วงระหว่างคาบเวลาเมื่อสัญญาณภายในไลน์มีสถานะเป็น high และจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ และการหยุดการทำงานจะเกิดขึ้นจากการหยุดจ่ายแหล่งจ่าย ในช่วงระหว่างคาบเวลานั้นเป็น low ของไลน์ข้อมูลและจะหยุดอยู่เช่นนั้นจนกว่าขาไลน์ข้อมูลจะกลับมาเป็น high อีกครั้งจึงจะเกิดการดำเนินงานขึ้นที่ DS18B20 และแหล่งจ่ายไฟหลักให้กับไอซีนี้จะได้จากแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์จากภายนอก

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ DS18B20

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันไฟเลี้ยง	V_{DD}	2.8 ถึง 5.5	โวลต์
แรงดันขาข้อมูล	I/O	-0.5 ถึง +5.5	โวลต์
ความผิดพลาดของการวัดอุณหภูมิ	t_{ERR}	$\pm 1/2$	องศาเซลเซียส
กระแสชิ่งค์	I_L	-4.0	มิลลิแอมป์
กระแสขณะสแตนด์บาย	I_Q	200 - 350	นาโนแอมป์
กระแสขณะทำงาน	I_{DD}	1 - 1.5	มิลลิแอมป์
กระแสโหลดทางอินพุต	I_L	5	ไมโครแอมป์
ค่าเวลาการแปลงอุณหภูมิ	t_{CONV}	200 - 500	มิลลิวินาที
ค่าเวลาไทม์สล็อต	t_{SLOT}	60 - 120	ไมโครวินาที
ค่าความจุ I/O	$C_{IN/OUT}$	25	พิโกฟารัด
เวลาการอ่านข้อมูล	t_{RDV}	15	ไมโครวินาที
ย่านอุณหภูมิ	T_O	-55 ถึง +125	องศาเซลเซียส

2.2.2.3 การติดต่อข้อมูลกับ DS18B20

ในการเชื่อมต่อข้อมูลจะติดต่อผ่านพอร์ตเพียงพอร์ตเดียว คือ 1-Wire port ภายในพอร์ต 1-Wire นี้ในส่วนของหน่วยความจำและควบคุมฟังก์ชันจะยังไม่รับข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้นก่อนที่ฟังก์ชันโปรโตคอลของรอมจะถูกทำการเซตค่าเสียก่อน ในส่วนสำคัญของการทำงานฟังก์ชันอันดับแรกซึ่งเป็นหนึ่งในห้าลำดับของการสั่งการฟังก์ชันในรอม คือ

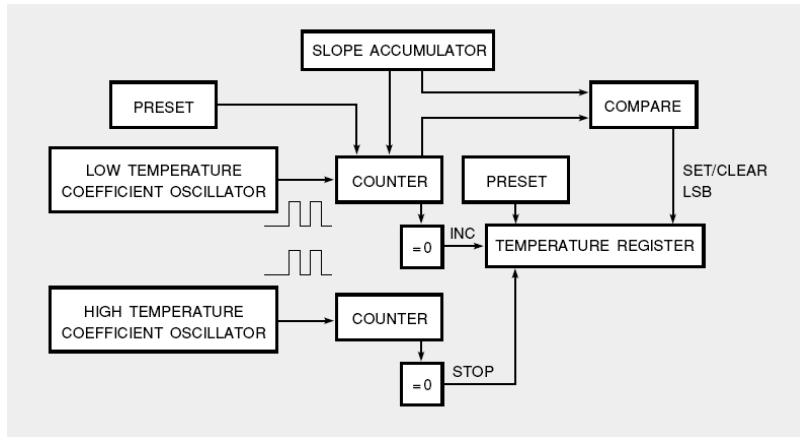
- อ่านหน่วยความจำ ROM
- ทำการแมตซ์ ROM
- ค้นหา ROM
- กระโดดข้าม ROM
- เตือนการค้นหา

ซึ่งการทำงานของระบบการสั่งการนี้จะทำงานบนพื้นที่หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิต ผ่านพอร์ตของไอซีแต่ละตัวและสามารถให้เอาต์พุตเดี่ยวเพื่อกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมินี้หลายๆ ตัวทำได้โดยสั่งการผ่านไลน์ข้อมูล 1-Wire นี้ หลังจากทีฟังก์ชันในรอมถูกลำดับการทำงานแล้ว พร้อมทั้งจะถูกใช้งานหรือเริ่มต้นทำงานได้แล้ว และสามารถที่จะเข้าถึงการทำงานภายในตัวไอซีได้ทั้งหมด หน่วยความจำและส่วนควบคุมฟังก์ชันจะถูกเข้าถึงการทำงานได้ และส่วนจัดเก็บค่าที่เซตไว้สามารถเก็บไว้ในพื้นที่ 1 ส่วนจากทั้งหมด 6 ส่วนของหน่วยความจำและส่วนควบคุมฟังก์ชันการสั่งการ

ส่วนการควบคุมฟังก์ชันการสั่งการหนึ่งส่วนจะถูกกำหนดคุณสมบัติของ DS18B20 ให้อยู่ในรูปแบบของการวัดค่าของอุณหภูมิซึ่งผลของการวัดนี้จะถูกบันทึกไว้ใน DS18B20 ในส่วนของหน่วยความจำส่วนหนึ่ง (scratchpad) และบางครั้งจะอ่านออกมาได้จากตารางสารบัญของหน่วยความจำฟังก์ชันการสั่งการซึ่งเป็นการอ่านออกมาเฉพาะหัวข้อที่ถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ scratchpad สัญญาณกระตุ้นเตือนค่าอุณหภูมิสูงเกินและต่ำเกิน (TH และ TL) จะประกอบด้วย 1 ไบต์ EEPROM ถ้าสัญญาณเตือนการค้นหาไม่ถูกจ่ายเข้าไปยัง DS18B20 รีจิสเตอร์เหล่านี้บางครั้งจะถูกใช้ได้อย่างทั่วๆไป จากหน่วยความจำที่ผู้ใช้งานกำหนดได้และการเขียนเข้าไปในส่วนของการเตือน TH และ TL จะไม่ใช่หน่วยความจำฟังก์ชันสั่งการและการอ่านเข้าไปถึงรีจิสเตอร์นี้จะอ่านผ่านหน่วยความจำ scratchpad และข้อมูลอื่นๆ ที่ต้องการอ่านและเขียนจะกระทำได้ในบิตแรกของ LSB

2.2.2.4 การทำงานในการวัดอุณหภูมิ

DS18B20 จะทำการวัดค่าอุณหภูมิโดยอาศัยเทคนิคการวัดแบบอนบอร์ดพิเศษซึ่งเป็นเทคนิคการวัดอุณหภูมิโดยเฉพาะของอุปกรณ์ชนิดนี้ ดังรูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิของ DS18B20

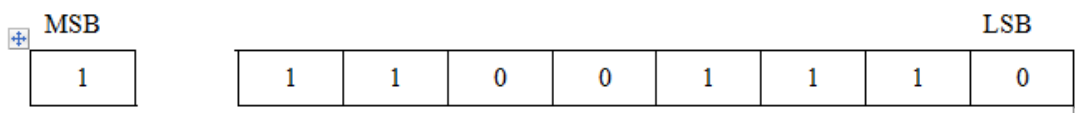


รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิ

ซึ่งจะอาศัยการวัดอุณหภูมิโดยการนับจำนวนวงรอบของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลเตอร์ผลิตขึ้นมา ช่วงค่าเวลาเกิดของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลตขึ้นมาจะเป็นการกำหนดได้จากช่วงคาบเวลาที่ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ซึ่งจะมีค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ไม่เท่ากัน โดยที่ค่าการนับตัวเลขจะเริ่มนับที่ค่าอุณหภูมิต่ำสุดพื้นฐาน คือ -55 องศาเซลเซียส ถ้าการนับสัญญาณนาฬิกามาถึงค่าศูนย์ก่อนที่ค่าเวลาเกิดจะเกินมา รีจิสเตอร์อุณหภูมิจะแสดงผลที่ค่า -55 องศาเซลเซียส ถ้าหากค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การแสดงผลของอุณหภูมิขณะนั้นจะสูงกว่า -55 องศาเซลเซียส

ในทำนองเดียวกันนี้ การตั้งค่าของการนับจะกำหนดได้จากการเพิ่มความลาดลงของวงจรถับ ซึ่งวงจรถับต้องการการชดเชยสำหรับการแสดงคุณสมบัติของส่วนโค้งของออสซิลเลเตอร์ที่อุณหภูมิมีค่าเกินมา วงจรถับจะนับสัญญาณนาฬิกาอีกครั้งจนกว่ามันจะได้ค่าเป็นศูนย์ ถ้าคาบเวลาเกิดอยู่ในสภาวะสงบนิ่งไม่มีการปรับแต่งจะเกิดการประมวลผลใหม่อีกครั้งหนึ่ง

การคำนวณค่าภายใน DS18B20 จะให้ความละเอียด 0.5 องศาเซลเซียสต่อสแต็ปของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การอ่านค่าอุณหภูมิจะถูกกำหนดไว้ภายใน 16 บิต โดยมีนัยสำคัญของตัวเลข 2 ส่วน ประกอบการอ่าน ข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นอนุกรมบนการ Interface กับสายข้อมูล 1-Wire ซึ่ง DS18B20 สามารถทำการวัดค่าอุณหภูมิได้เกินย่านตั้งแต่ 0.5 องศาต่อสแต็ป ค่าอุณหภูมิที่ถูกทำการปรับตั้งไว้ใน DS18B20 ในเทอมของ 1/2 องศาเซลเซียส LSB ซึ่งจะเป็นไปตามรูปที่ 2.13 แบบของข้อมูล 9 บิต



รูปที่ 2.13 รูปแบบข้อมูล 9 บิต

ที่ MSB บิตเป็นคู่เปรียบเทียบกับทุกบิตใน MSB สูงสุดของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 2 ไบต์ ในหน่วยความจำซึ่งการอ่านค่าอุณหภูมิแบบ 16 บิต ในลักษณะสำคัญต่างๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 2.7 แล้ว

ตารางที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต

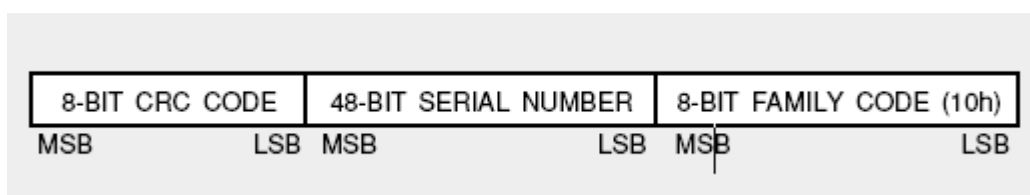
ค่าอุณหภูมิ	ดิจิทัลเอาต์พุต (Binary)	ดิจิทัลเอาต์พุต (Hex)
+125 °C	00000000 11111010	00FA
+25 °C	00000000 00110010	0032h
+1/2 °C	00000000 00000001	0001h
+0 °C	00000000 00000000	0000h
-1/2 °C	11111111 11111111	FFFFh
-25 °C	11111111 11001110	FFCEh
-55 °C	11111111 10010010	FF92h

2.2.2.5 การทำงานของสัญญาณเตือน

เมื่อ DS18B20 มีการตรวจวัดอุณหภูมิเกิดขึ้นแล้วค่าของอุณหภูมิจะทำการเปรียบเทียบเพื่อทำเป็นสัญญาณกระตุ้น การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจะเปรียบเทียบกับค่าที่ถูกบันทึกหรือกำหนดไว้ของค่าอุณหภูมิสูงสุด (TH) และค่าอุณหภูมิต่ำสุด (TL) ตลอดย่านอุณหภูมิที่วัดได้ โดยจะให้พื้นที่รีจิสเตอร์ 8 บิต สำหรับการทำงานนี้ ใน MSB ของ TH หรือ TL ที่ตรงกันจะถูกส่งตรงไปยัง SB ของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 16 บิต ถ้าผลของการวัดอุณหภูมิมีก่าสูงเกินกว่า TH หรือต่ำกว่า TL ลำดับสัญญาณเตือนภายนอกอุปกรณ์จะถูกเซต ซึ่งลำดับของสัญญาณเตือนนี้จะถูกอัปเดตทุกครั้งที่มีการวัดค่าอุณหภูมิ เมื่อลำดับสัญญาณเตือนถูกเซต DS18B20 จะมีการตอบสนองนำไปสู่การค้นหาสัญญาณเตือนการสั่งการและจะยอมให้ทำการต่อ DS18B20 ในลักษณะขนานกันหลายตัวได้ เพื่อทำการจำลองการวัดค่าอุณหภูมิแล้วนำมาเฉลี่ยค่าของการวัดในครั้งนั้นอีกขึ้นตอนหนึ่ง

2.2.2.6 บิตเลเซอร์รวม

ใน DS18B20 นั้นจะประกอบด้วยส่วนของรหัสหน่วยความจำรวมที่มีความยาวถึง 64 บิต โดยใน 8 บิตแรกจะเป็นรหัสตระกูล (family code) 1-Wire ของ DS18B20 (Ds18B20 มีรหัสเป็น 10h) และอีก 48 บิตต่อมาเป็นส่วนระบุอนุกรมตัวเลข (Serial number) และอีก 8 บิตสุดท้ายคือส่วนบันทึก CRC ของ 56 บิตแรก ดังแสดงการแบ่งส่วนไว้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การแบ่งส่วนในหน่วยความจำรวม 64 บิต

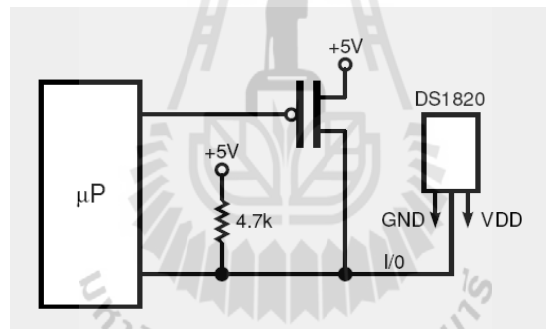
หน่วยความจำรอมขนาด 64 บิตและในส่วนควบคุมฟังก์ชันรอมนี้จะยอมให้ DS18B20 สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์อินเทอร์เฟซแบบ 1-Wire ได้ และมีรายละเอียดตามโปรโตคอลของระบบบัส 1-Wire ซึ่งฟังก์ชันและส่วนควบคุมต่างๆใน DS18B20 จะยังไม่สามารถทำงานหรือเข้าถึงได้จนกว่าจะมีการเซตอัปโปรโตคอลฟังก์ชันในหน่วยความจำรอมเสียก่อน โดยการ Interface ในส่วนหลักของฟังก์ชันการส่ง การในหน่วยความจำรอมจะต้องมีการลำดับฟังก์ชันดังนี้ คือ

- อ่านรอม
- แมตซ์รอม
- ค้นหารอม
- กระโดดข้ามรอม
- เตือนการค้นหา

หลังจากที่มีการเซตลำดับฟังก์ชันรอมดังข้างต้นเสร็จแล้วฟังก์ชันต่างๆ ของ DS18B20 จะสามารถเข้าถึงได้

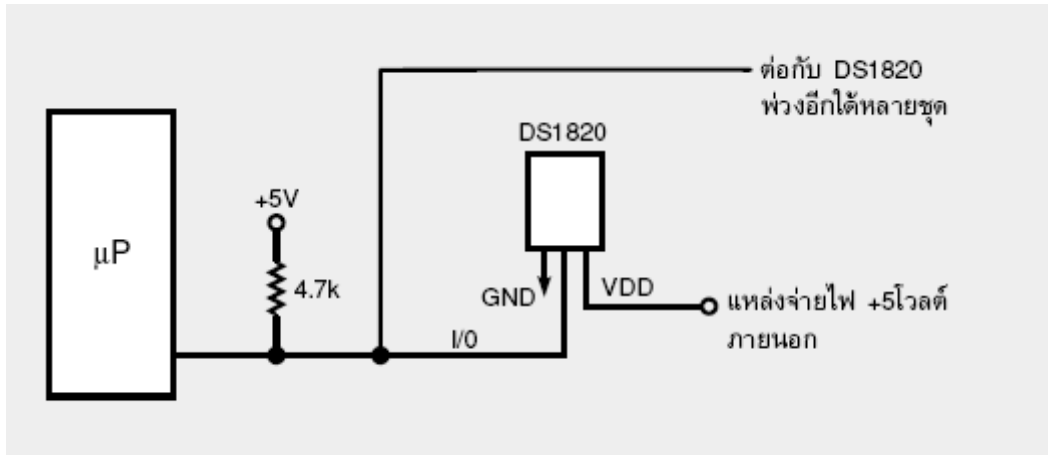
2.2.2.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้า

ในการต่อ DS18B20 ร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อการควบคุมจากระยะไกล แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การจัดหาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ DS18B20 ในบัส 1-Wire

จะสังเกตเห็นว่าที่ขารับไฟเลี้ยง VDD ของ DS18B20 นั้นจะถูกต่อเข้าไว้กับกราวด์ แต่จะได้รับไฟเลี้ยงมาจากทางขา I/O ข้อมูลในแบบ 1-Wire จากระบบควบคุมหลักไมโครโปรเซสเซอร์แทน ซึ่งวิธีนี้จะใช้สำหรับการควบคุมจากระยะไกลแล้วไม่ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟภายนอกให้กับ DS18B20 ให้อยู่ยากเพราะในการ Interface แบบ 1-Wire นี้สามารถที่จะทำการกำหนดการทำงาน (power on) ของไอซีได้จากคำสั่งของไมโครโปรเซสเซอร์จึงไม่สิ้นเปลืองกำลังและจะเป็นในลักษณะการกระตุ้นแหล่งจ่ายไฟสำรองที่เป็นตัวแบ่งประจุภายในไอซีให้จ่ายไฟเลี้ยงวงจรภายในตัวไอซีแทน ดังรูปที่ 14 เป็นการจัดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายนอกให้กับ DS18B20 ณ จุดที่ติดตั้งใช้งาน และการส่งการจากไมโครโปรเซสเซอร์ยังทำงานได้เหมือนเดิมและสามารถที่จะต่อ DS18B20 ขนานกันโดยใช้การ Interface ผ่านบัส 1-Wire เดียวกันได้หลายตัว จึงเหมาะกับการตรวจวัดอุณหภูมิหลายจุดที่ควบคุมได้จากระยะไกลผ่านระบบไมโครโปรเซสเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการ Interface ร่วมกับ DS18B20 หลายตัวบนบัส 1-Wire

2.2.3 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ

การสร้างเครื่องวัดความร้อนโดยดัชนี WBGT จะมีการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ 4 ขั้นตอนดังนี้
ขั้นตอนที่ 1 การประกอบจอ LCD ซึ่งจอ LCD จะอยู่ด้านหน้าของกล่องอเนกประสงค์ ดัง

รูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การประกอบจอ LCD เข้ากับกล่องอเนกประสงค์

ขั้นตอนที่ 2 การประกอบสวิตช์ ซึ่งสวิตช์จะอยู่ด้านข้างของกล่องอเนกประสงค์

ดังรูปที่ 2.18



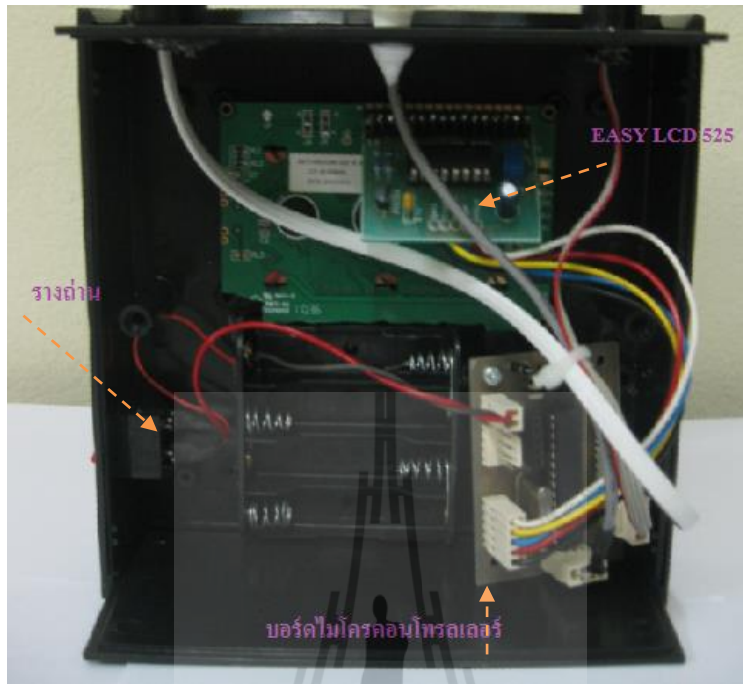
รูปที่ 2.18 การประกอบสวิตช์เข้ากับกล่องอเนกประสงค์

ขั้นตอนที่ 3 การประกอบปลอกปากกา โคมหลอดไฟพลาสติก ฝาครอบอุปกรณ์ต่างๆ ลูกกลมโลหะเครื่องทองแดง ซึ่งจะวางไว้ด้านบนของกล่องอเนกประสงค์ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การประกอบปลอกปากกา โคมหลอดไฟพลาสติก ฝาครอบอุปกรณ์ต่าง ๆ และลูกกลมโลหะเครื่องทองแดง

ขั้นตอนที่ 4 การประกอบรางถ่าน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และ EASY LCD 595 ซึ่ง
จะประกอบไว้ด้านในของกล่องอเนกประสงค์ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การเชื่อมต่อรางถ่าน EASY LCD 595 และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
เข้ากับกล่องอเนกประสงค์

เมื่อเสร็จสิ้นการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.21



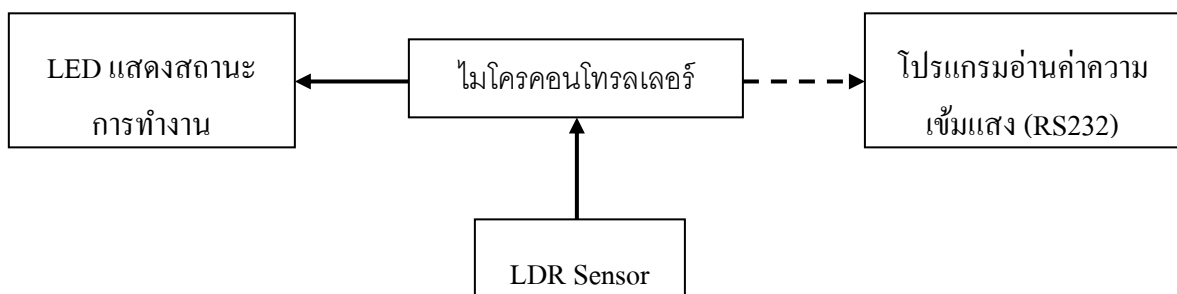
รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ต่อลงกล่องอเนกประสงค์ตามความต้องการ

2.3 การออกแบบสร้างเครื่องมือวัดความเข้มแสง

ในส่วนแรกทำให้ทราบเกี่ยวกับการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งทางด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ในส่วนนี้จะนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเป็นเครื่องมือวัดความเข้มแสงที่แสดงค่าผ่านพอร์ต RS232 พร้อม LED แสดงสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมถึงโปรแกรม SensorMonitoring ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม Microsoft Visual C# สำหรับอ่านค่าจากเครื่องมือวัดความเข้มแสง

2.3.1 ออกแบบระบบการทำงาน

เมื่อเปิดสวิตซ์การทำงาน หลอด LED จะติดเพื่อแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์กำลังทำงานอยู่ และเซนเซอร์ LDR เป็นอินพุตของระบบเข้าไปทำการประมวลผลในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเมื่อต้องการอ่านค่าจากจอยคอมพิวเตอร์หรือส่งข้อมูลสามารถทำได้ด้วยการต่อพอร์ต RS232 แล้วเปิดโปรแกรม SensorMonitoring เพื่อทำการอ่านค่าความเข้มแสง

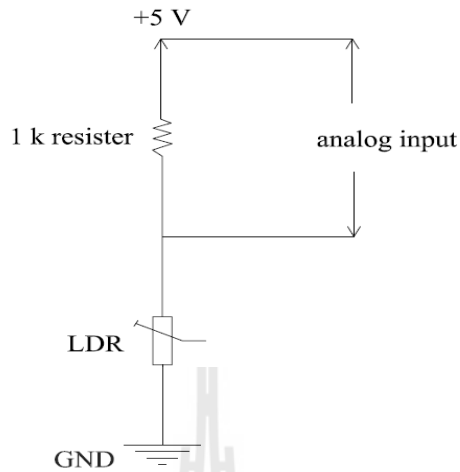


รูปที่ 2.22 ผังการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องมือวัดความเข้มแสง

2.3.2 หลักการทำงานและการต่อขาเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.2.1 เซนเซอร์ LDR

การต่อวงจรของเซนเซอร์ LDR



รูปที่ 2.23 วงจรเซนเซอร์ LDR

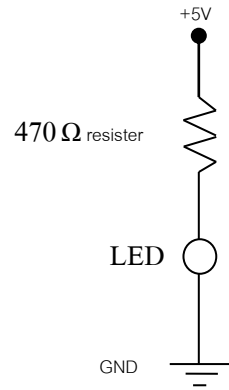
จากรูปที่ 2.23 จะพบว่าอินพุตที่วัดได้เป็นสัญญาณอนาล็อกซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 – 1023 จึงนำอินพุตที่วัดได้ไปปรับเทียบกับเครื่องมาตรฐาน

ตารางที่ 2.9 การต่อขาเซนเซอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328

เซนเซอร์ LDR	ATmega328
Vcc	Vcc
Din	Pin23
GND	GND

2.3.2.2 LED (แสดงสถานะ การทำงาน)

วงจร LED จะต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวด์ ดังรูปที่ 2.24

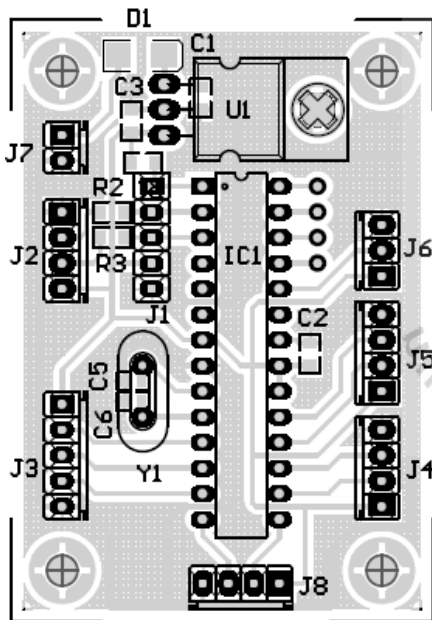


รูปที่ 2.24 วงจร LED

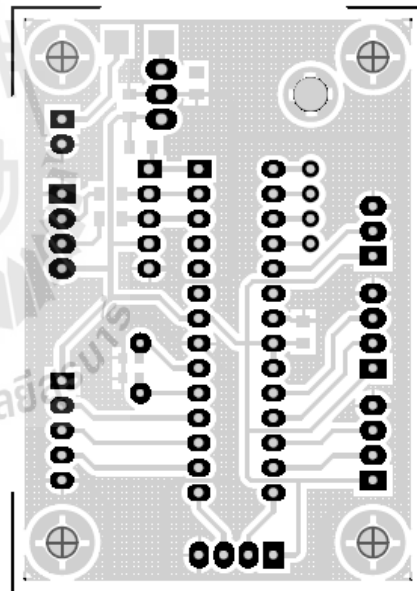
2.3.3.3 การต่อขาอุปกรณ์ต่างๆเข้า กับไมโครคอนโทรลเลอร์

แผ่นวงจรหรือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26 ออกแบบโดยใช้โปรแกรม

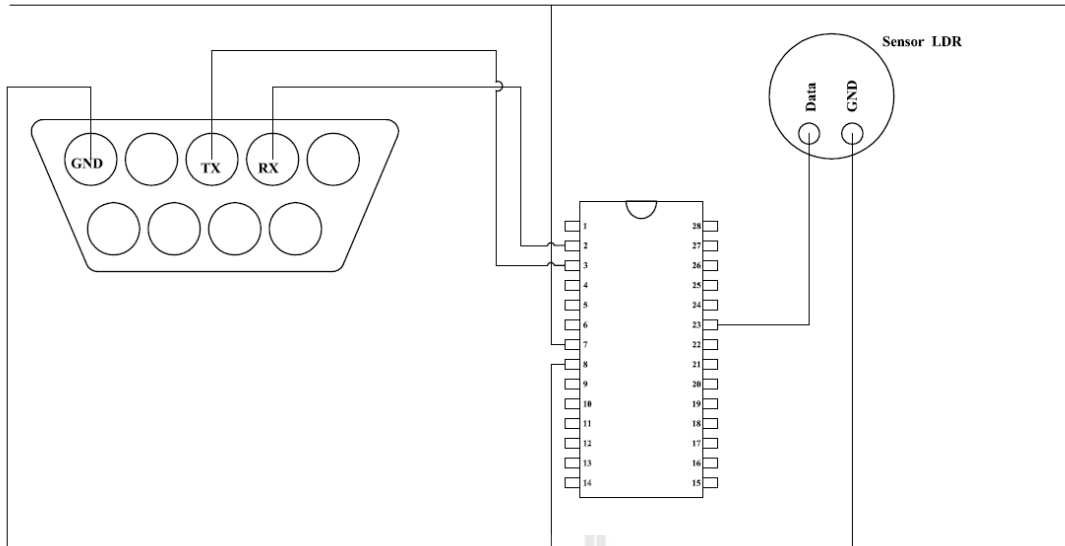
POTEL



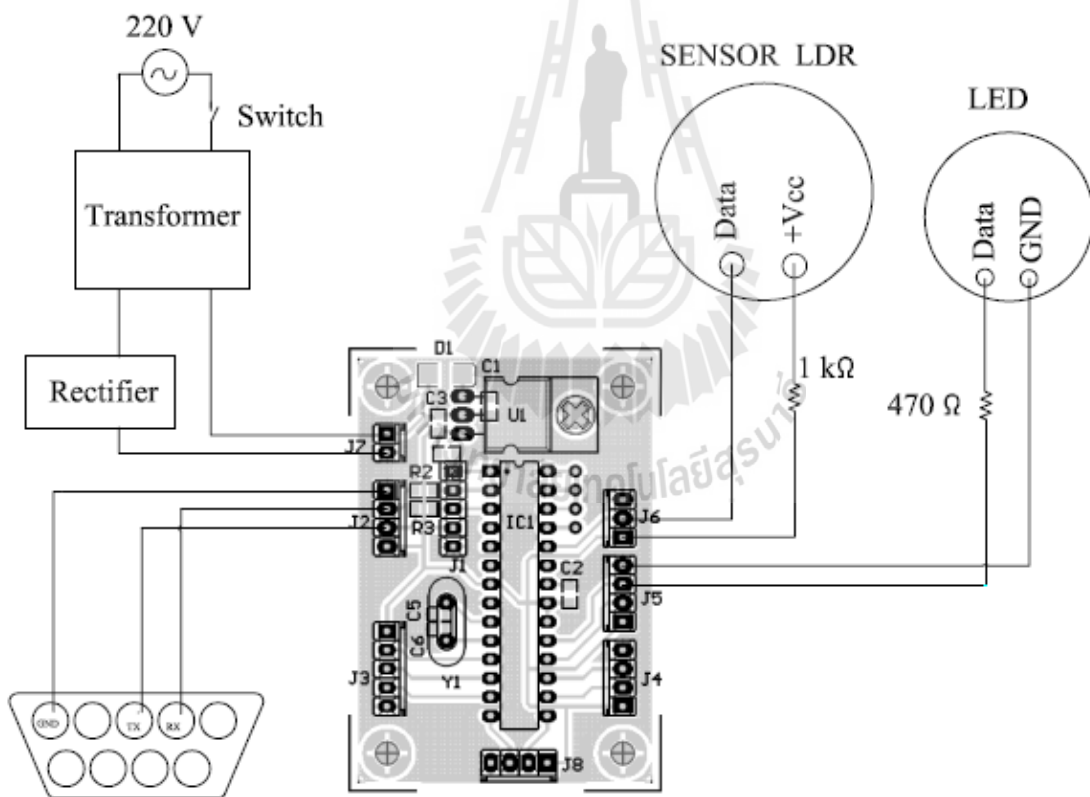
รูปที่ 2.25 แผ่นวงจรพร้อมอุปกรณ์ (PCB Board)



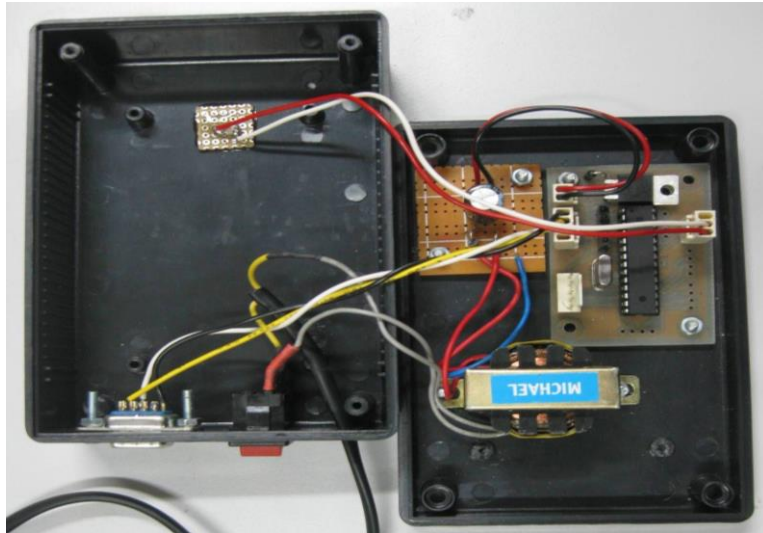
รูปที่ 2.26 แผ่นวงจร (PCB Layout)



รูปที่ 2.27 โครงสร้างการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328



รูปที่ 2.28 แผนภาพการต่ออุปกรณ์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.29 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในกล่องชิ้นงาน

2.4 การออกแบบสร้างเครื่องมือตรวจวัดเสียง

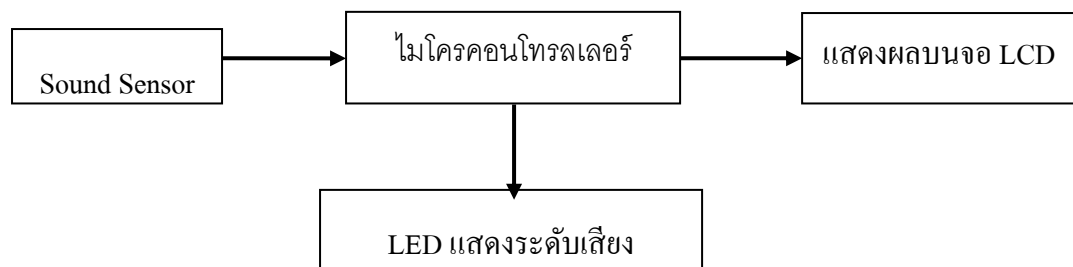
ในเนื้อหาส่วนนี้จะเป็นการนำทฤษฎีและอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการจัดทำเครื่องวัดระดับเสียง การเชื่อมต่อเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino การเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับบอร์ด Arduino การเชื่อมต่อหลอด LED เข้ากับบอร์ด Arduino การกำหนดเงื่อนไขการเขียนโปรแกรมในการรับค่าจากเซนเซอร์และจอแสดงผล LCD

2.4.1 การออกแบบวงจรและโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

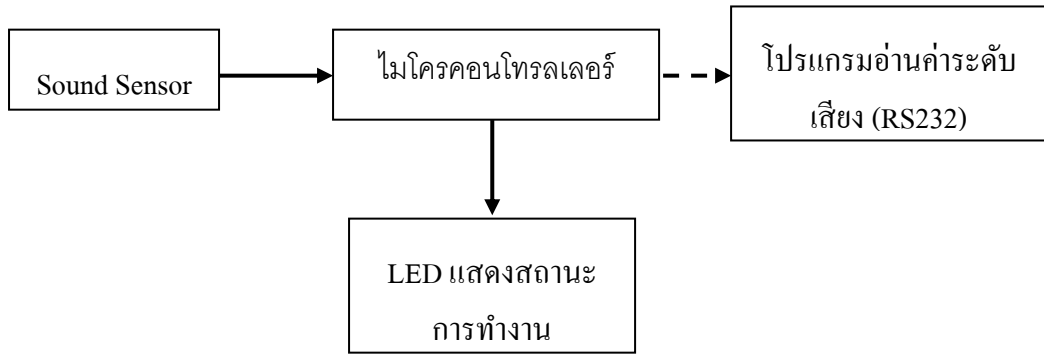
การออกแบบวงจรและโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1.1 ฟังก์ชันการทำงานการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

การต่อจอ LCD และพอร์ตอนุกรม RS232 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 2.30 และรูปที่ 2.31 ตามลำดับ



รูปที่ 2.30 แสดงผลด้วยจอ LCD



รูปที่ 2.31 แสดงผลผ่านพอร์ต RS232

2.4.1.2 การต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

- อุปกรณ์ตรวจจับเสียง (Sound Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับเสียงนั้นมีลักษณะดังรูปที่ 2.32 การเชื่อมต่อระหว่าง Sound Sensor กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ดังตารางที่ 2.9



รูปที่ 2.32 Sound Sensor

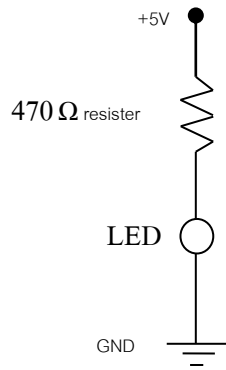
ตารางที่ 2.10 การต่อขา Sound Sensor เข้ากับขา ATmega328

Sound Sensor	ATmega328
Vcc	Vcc
Din	Pin 23
GND	GND

- หลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน (LED)

- LED (แสดงสถานะการทำงาน)

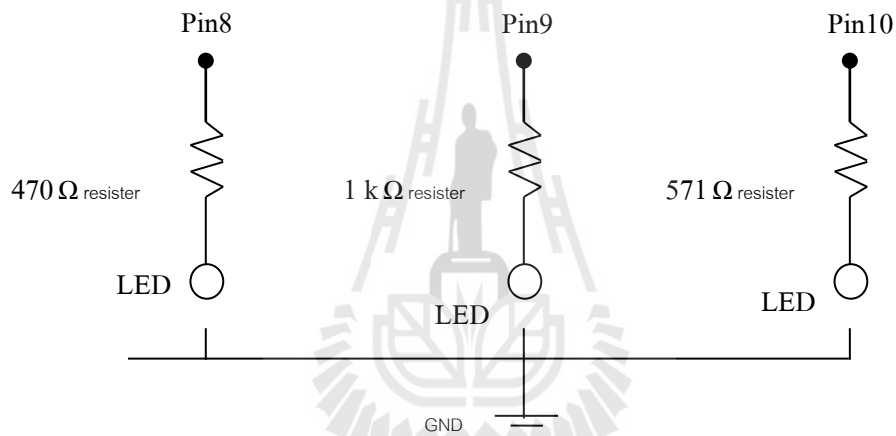
วงจร LED (แสดงสถานะการทำงาน) ต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวด์ดังรูปที่ 2.33



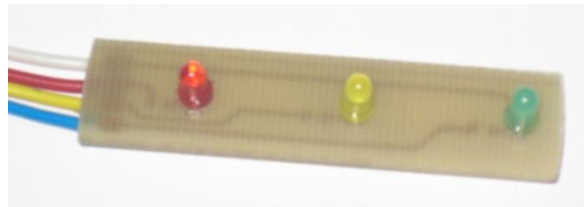
รูปที่ 2.33 วงจร LED (แสดงสถานการณ์ทำงาน)

- LED (แสดงระดับเสียง)

วงจร LED (แสดงระดับเสียง) มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 วงจร LED (แสดงระดับเสียง)



รูปที่ 2.35 LED แสดงช่วงระดับเสียง

สีเขียวแสดงระดับเสียงระหว่าง 0 – 85 dB

สีเหลืองแสดงระดับเสียงระหว่าง 86- 89 dB

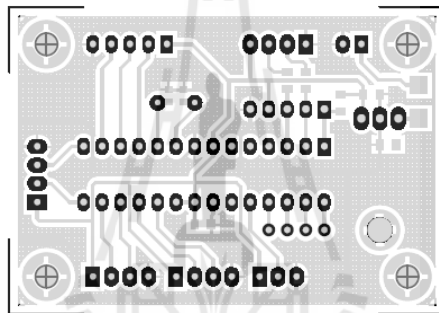
สีแดงแสดงระดับเสียงระหว่าง 90 dB ขึ้นไป

ตารางที่ 2.11 การเชื่อมต่อ LED เข้ากับขา ATmega328

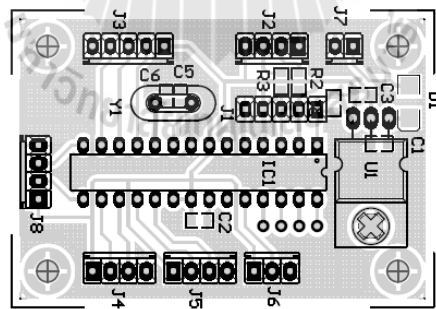
LED	ATmega328 (Pin)
หลอดสีเขียว (สายสีน้ำเงิน)	8
หลอดสีเหลือง(สายสีเหลือง)	9
หลอดสีแดง(สายสีแดง)	10
Ground (สายสีขาว)	GND

2.4.1.3 ต่ออุปกรณ์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

ลายวงจรที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Protel ดังรูปที่ 2.36 – 2.37

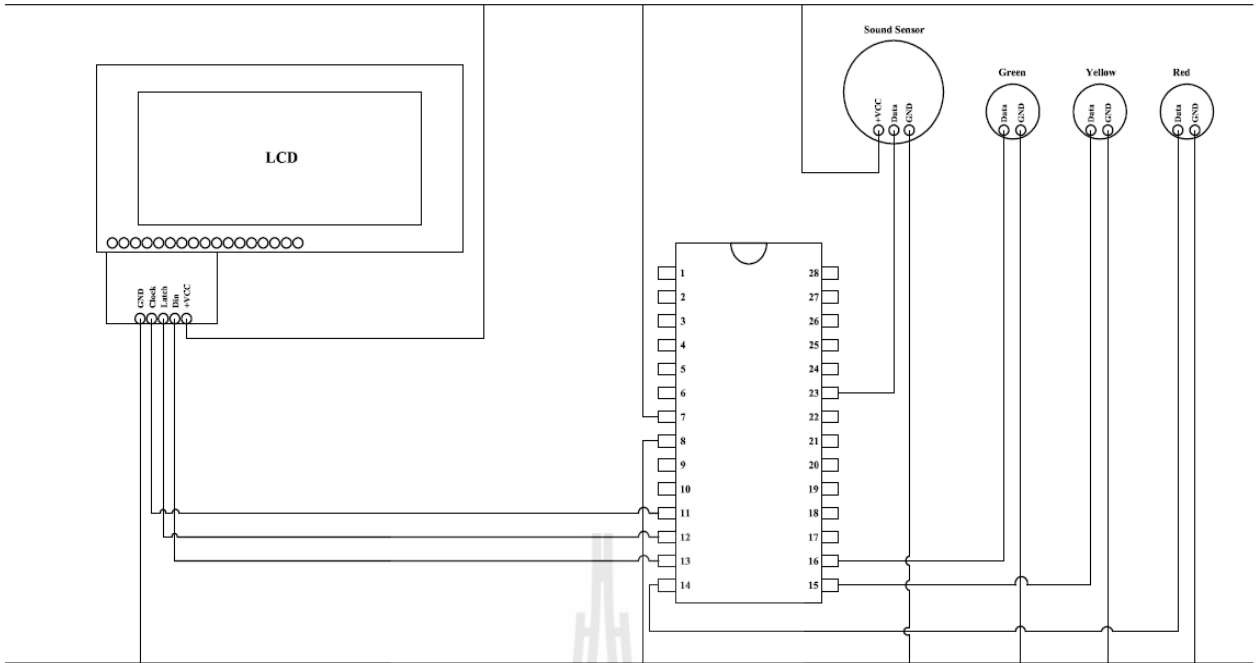


รูปที่ 2.36 PCB Layout



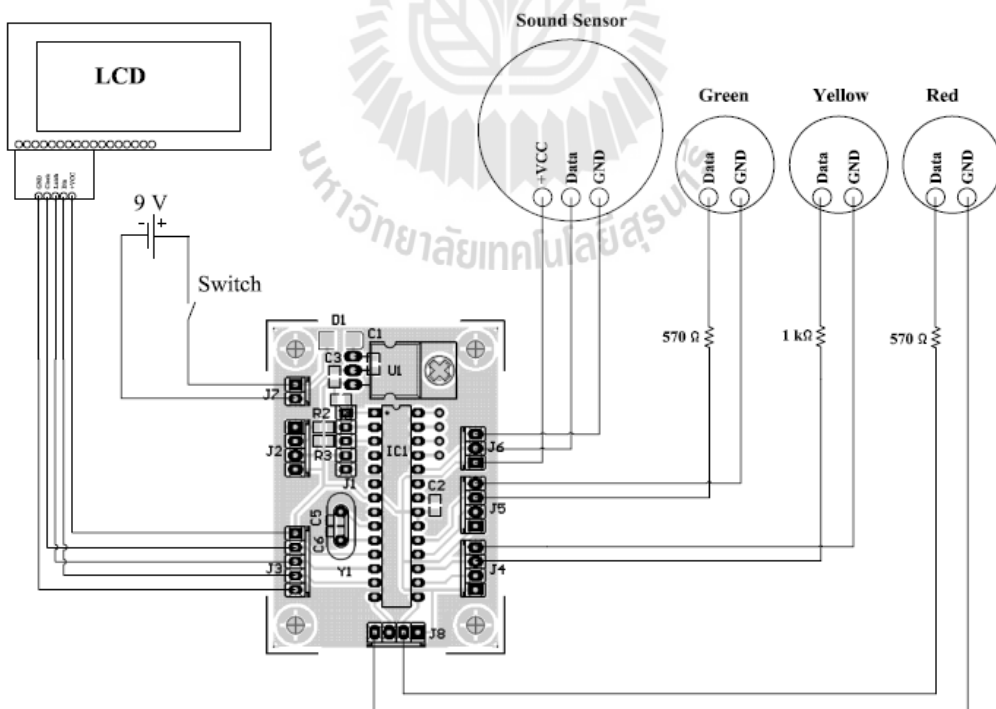
รูปที่ 2.37 แผ่นวงจรพร้อมอุปกรณ์ PCB Board

- แผนภาพการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega32 ดังรูปที่ 2.38



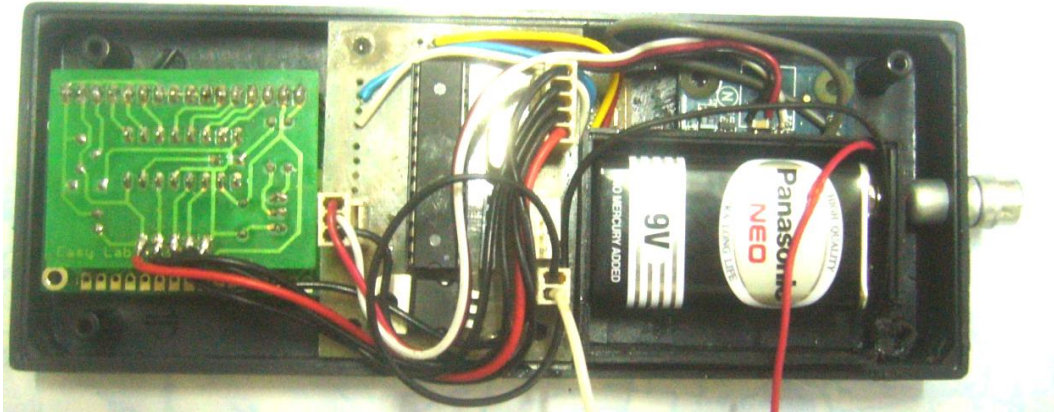
รูปที่ 2.38 โครงสร้างการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328

- แผนภาพการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 แผนภาพการต่ออุปกรณ์ ๆ เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

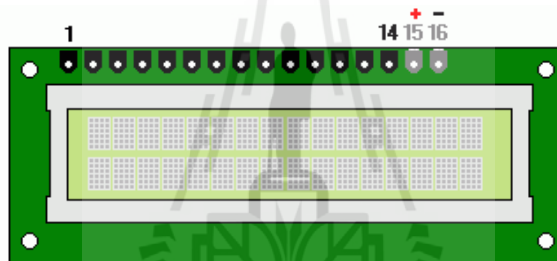
- การต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับบอร์ดดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่างๆ ภายในกล่องใช้งาน

2.4.1.4 แสดงผลด้วยจอ LCD

ลักษณะตำแหน่งขาของ LCD 16x2 Line ดังรูปที่ 2.41



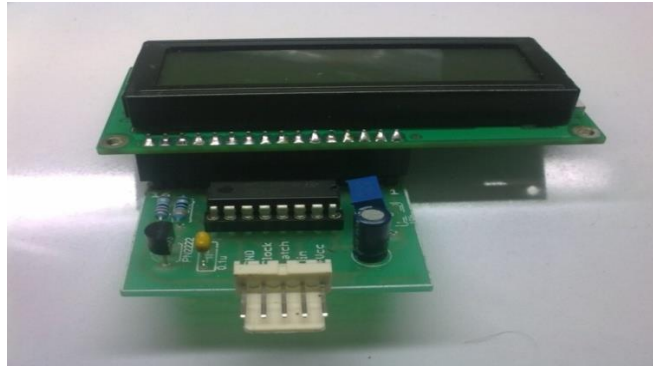
รูปที่ 2.41 LCD 16x2 Line

- Easy LCD 595

ลักษณะ Easy LCD 595 ดังรูปที่ 2.40 และต่อ Easy LCD 595 เข้ากับจอแสดงผล LCD ดัง-รูปที่ 2.42 - 2.43



รูปที่ 2.42 Easy LCD 595



รูปที่ 2.43 การต่อเข้ากับ LCD แบบ 16 Pin

- การต่อ Easy LCD 595

การต่อ Easy LCD 595 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ดังตารางที่ 2.12

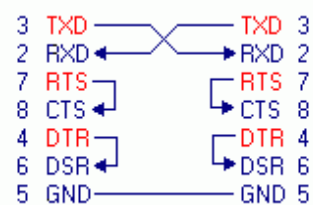
ตารางที่ 2.12 การต่อ Easy LCD 595 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328

Easy LCD 595	ATmega328
Vcc	Vcc
Clock	Pin11
Latch	Pin12
Din	Pin13
GND	GND

2.5 การแสดงผลผ่านพอร์ต RS232

2.5.1 RS232

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9 ดังรูปที่ 2.44 และตารางที่ 2.13



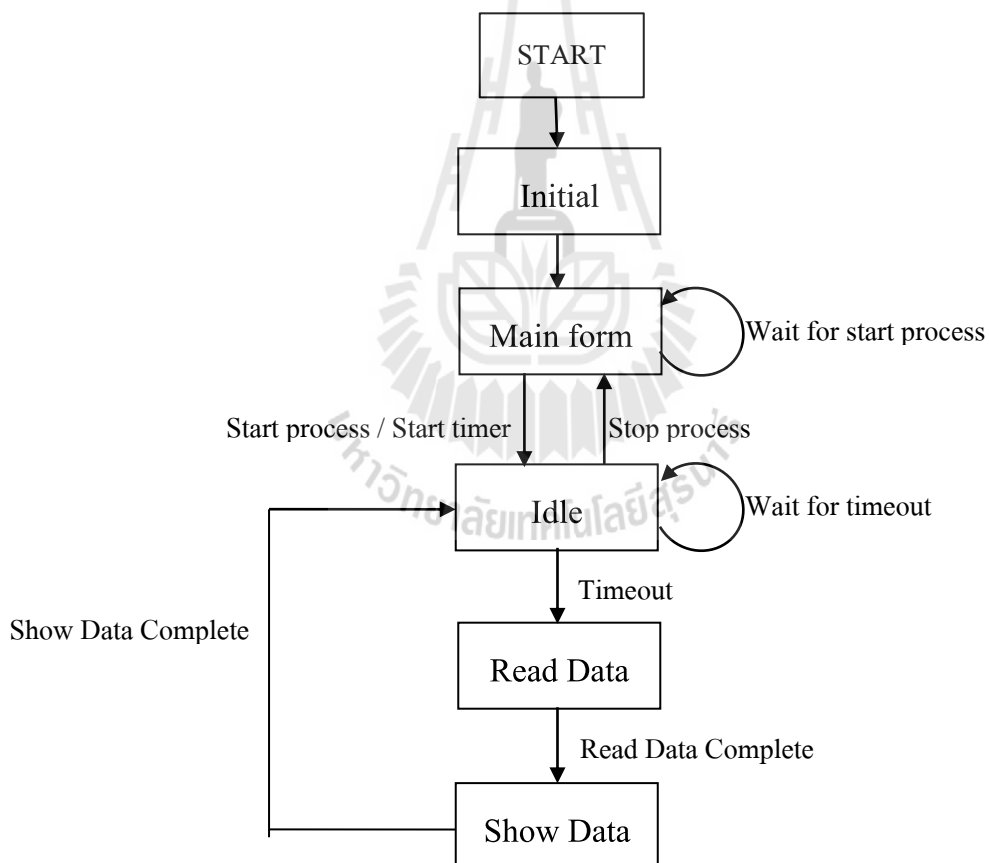
รูปที่ 2.44 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

ตารางที่ 2.13 การต่อขา RS232 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328

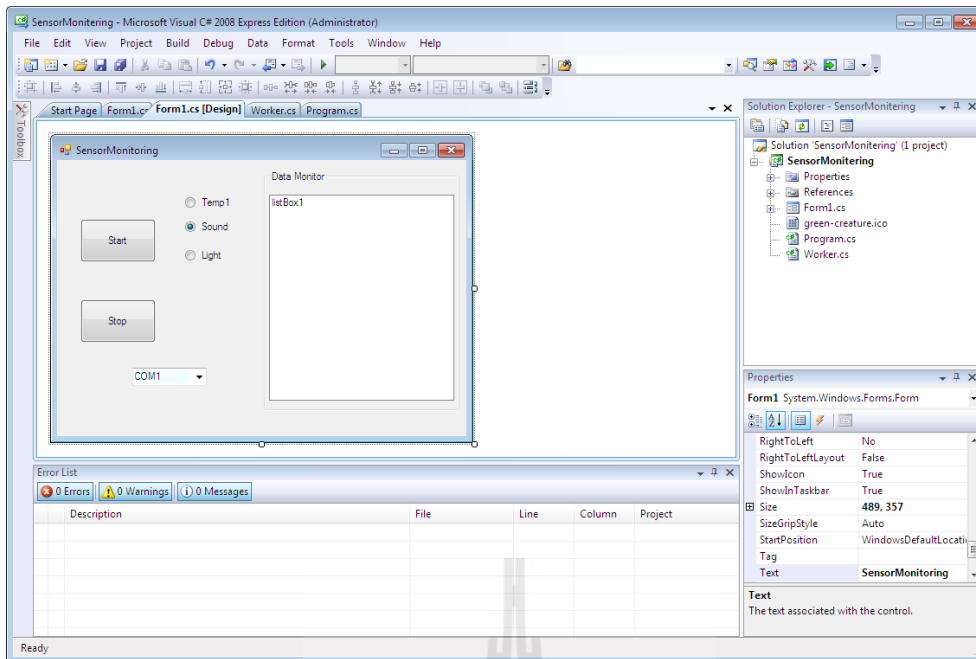
RS232	ATmega328
Pin 2 (Rx/D)	TxD
Pin 3 (Tx/D)	RxD
Pin 5 (GND)	GND

2.5.2 โปรแกรม SensorMonitoring

โปรแกรม SensorMonitoring เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก โปรแกรม Microsoft Visual C# สำหรับอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับเสียง มี State Diagram ของโปรแกรม SensorMonitoring ดังรูปที่ 2.45 และมีหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Microsoft Visual C# ดังรูป 2.46



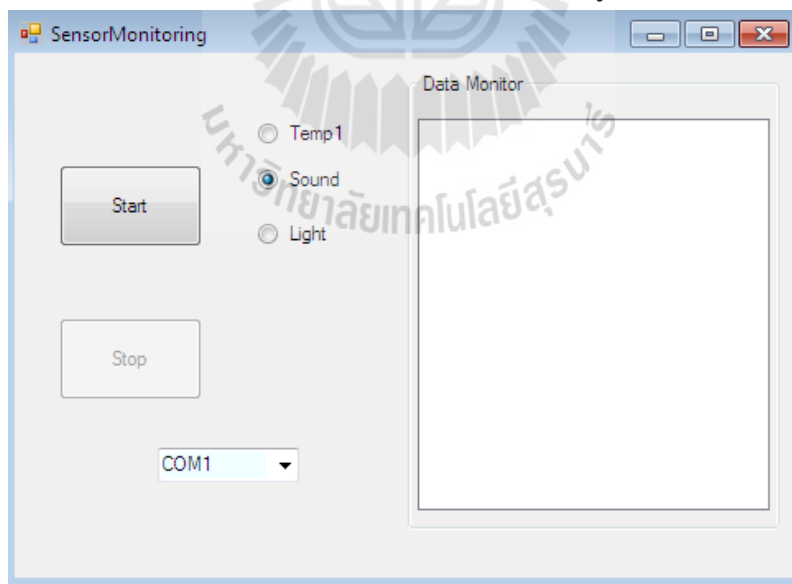
รูปที่ 2.45 State Diagram



รูปที่ 2.46 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Microsoft Visual C#

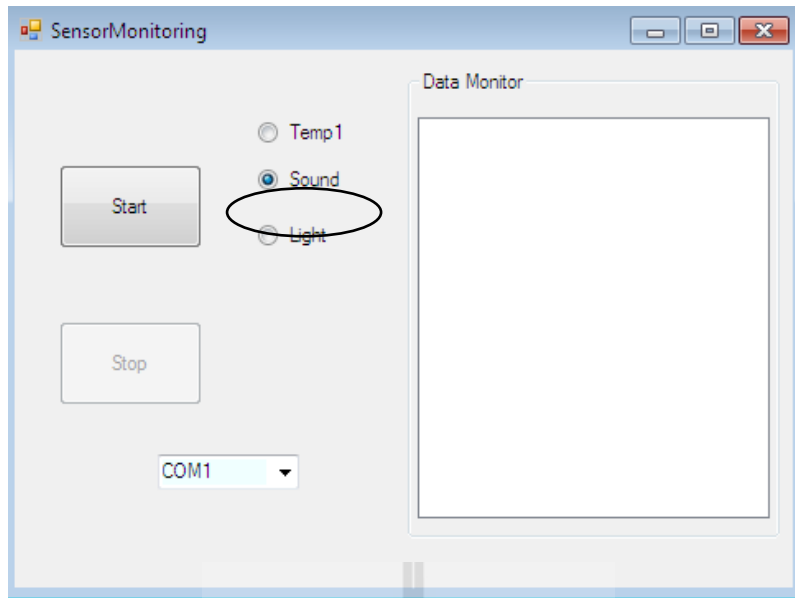
จากการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual C# จะได้โปรแกรม Sensor Monitoring สำหรับอ่านค่าเครื่องวัดระดับอุณหภูมิ แสง และเสียง มีขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Sensor Monitoring ดังนี้

1. เรียกใช้งานโปรแกรม Sensor Monitoring จะได้หน้าต่างดังรูปที่ 2.47



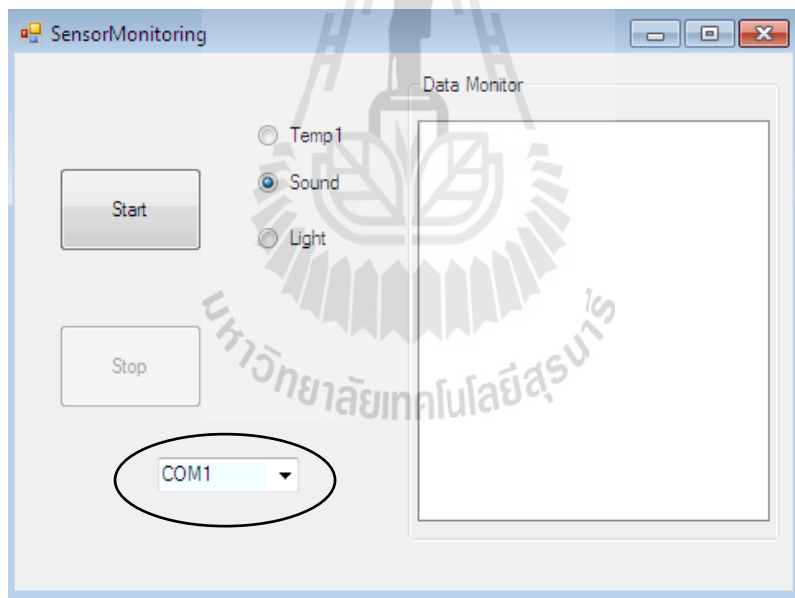
รูปที่ 2.47 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม SensorMonitoring

2. กำหนดเลือกชนิดของเครื่องวัดระดับเสียง โดยเลือก sound ดังรูปที่ 2.48



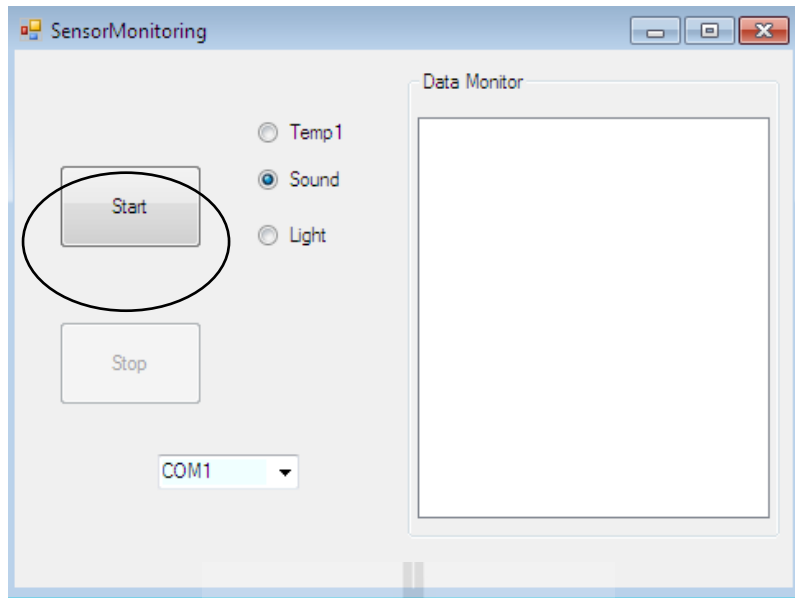
รูปที่ 2.48 เลือกชนิดของเครื่องวัดระดับเสียง

3. เลือก Serial Port ให้ตรงกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน ดังรูปที่ 2.49



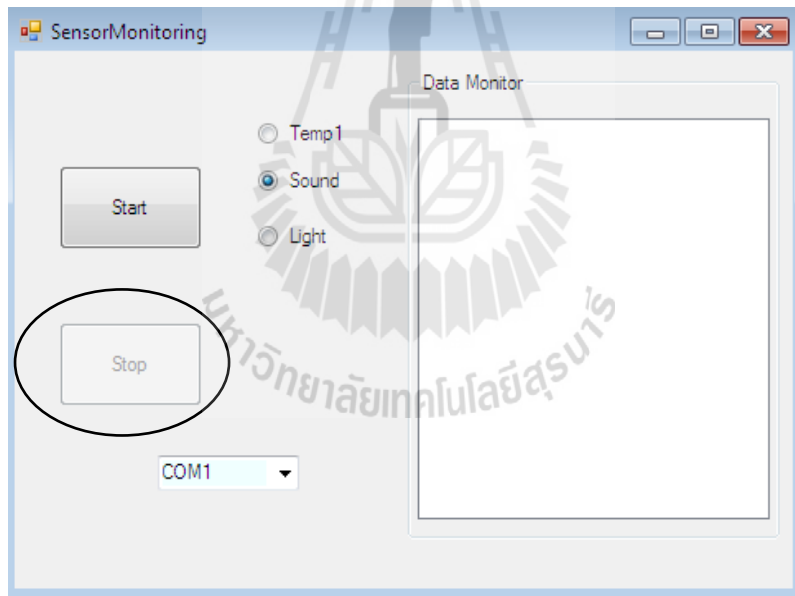
รูปที่ 2.49 เลือก Serial Port

4. เริ่มการทำงานโดยเลือกที่ปุ่ม Start โปรแกรมจะเริ่มอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับเสียง ดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 การเลือก Start เพื่อเริ่มอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับเสียง

5. หยุดการทำงานโดยเลือกที่ปุ่ม Stop โปรแกรมจะหยุดการอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับเสียง ดังภาพที่ 2.51



รูปที่ 2.51 การเลือก Stop เพื่อหยุดอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับเสียง

2.6 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้ก็ได้กล่าวถึงการออกแบบวงจรและไมโครคอนโทรลเลอร์ การต่อเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด การต่ออุปกรณ์แสดงผลกับบอร์ด การแสดงข้อมูลที่ได้โดยผ่านหลอด LED และแสดงเป็นตัวเลขโดย LCD และการส่งข้อมูลโดยสายเชื่อมต่อ RS232 และ DB9

- สืบค้นและรวบรวมข้อมูล โดยประสานขอความร่วมมือกับหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง การสืบค้นวรรณกรรมเพิ่มเติม และเซนเซอร์ตรวจวัดความร้อนและเสียงรบกวนรูปแบบต่าง ๆ

- นำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงเพื่อแทนที่เครื่องมือวัดในทางอุตสาหกรรมที่มีราคาแพง พร้อมทั้งวิเคราะห์และสร้างความสัมพันธ์เพื่อใช้ออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อตรวจวัดความร้อนและเสียงรบกวนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- ประเมินความสอดคล้องของข้อมูลจากข้อที่ 1 และ 2 กับลักษณะการใช้งานจริงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อให้การออกแบบใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ
- นำผลจากข้อที่ 3 มาสร้างอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อทดลองตรวจวัดสภาวะแวดล้อมในงานอุตสาหกรรม
- เมื่อผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ จะดำเนินการประเมินการใช้งานโดยนำไปติดตั้งเพื่อทดสอบการใช้งานจริงในโรงงานหรือสถานประกอบการที่เข้าร่วมโครงการ
- สรุปผลการวิเคราะห์และการออกแบบที่ได้ รวมทั้งประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

2.7 สรุป

บทนี้ก็ได้กล่าวถึงการออกแบบวงจรและไมโครคอนโทรลเลอร์ การต่อเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด การต่ออุปกรณ์แสดงผลกับบอร์ด การแสดงข้อมูลที่ได้โดยผ่านหลอด LED และแสดงเป็นตัวเลขโดย LCD และการส่งข้อมูลโดยสายเชื่อมต่อ RS232 และ DB9



บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

รายละเอียดในส่วนนี้จะนำเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบสร้างซึ่งประกอบด้วย เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดแสง และเครื่องมือวัดเสียง มาทดสอบการทำงานหาค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดแล้วนำมาแสดงผลบนโปรแกรม Matlab ก็จะทำรอฟังก์ชันทำงานเปรียบเทียบค่าผิดพลาดกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน แล้วทำการเปรียบเทียบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อปรับตั้งค่าเครื่องมือวัดให้ได้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน จากข้อมูลที่แสดงนั้นค่าความผิดพลาดต้องอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า $\pm 10\%$ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เมื่อทำการต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เสร็จแล้ว จึงนำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความร้อนโดยดัชนีกระเปาะเปียกและโกลบ (wet bulb globe temperature : WBGT) กับเครื่องวัดความร้อนมาตรฐาน รุ่น QUESTemp^o 34 (Temperature<2% Humidity<5%) โดยเรียกเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นนี้ว่า “SHT15” และเรียกเครื่องวัดความร้อนมาตรฐานว่า “Standard” ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.1 ถึง ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของการแผ่ความร้อนในโกลบ(GLOBE THERMOMETER)

SHT15 (°C)	Standard (°C)	Error (%)
34	35.5	4.41
34	35.6	4.71
34	35.6	4.71
34	37.0	8.82
34	37.5	10.29
36	38.0	5.56
36	40.2	11.67
36	41.1	14.17
36	41.4	15.00

จากตารางที่ 3.1 พบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 15% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับไม่ได้ ดังนั้นควรมีการปรับเทียบค่าใหม่

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศในกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER)

SHT15 (°C)	Standard (°C)	Error (%)
35	35.0	0.00
34	35.1	3.24
34	35.1	3.24
36	35.7	0.83
36	35.8	0.56
36	36.0	0.00
36	36.4	1.11
36	36.5	1.39
36	36.6	1.67

จากตารางที่ 3.2 พบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 3.24% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับไม่ได้ ดังนั้นควรมีการปรับเทียบค่าใหม่

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบค่าความชื้นของอากาศในกระเปาะแห้ง(DRY BULB THERMOMETER)

SHT15 (%)	Standard (%)	Error (%)
48	54	12.50
48	55	14.58
45	52	15.56
43	46	6.98
43	45	4.65
43	45	4.65
34	42	23.53
34	43	26.47
34	42	23.53

จากตารางที่ 3.3 พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 26.47% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับไม่ได้ ดังนั้นควรมีการปรับเทียบค่าใหม่

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ในกระเปาะเปียก (WET BULB THERMOMETER)

DS18B20 (°C)	Standard (°C)	Error (%)
29	26.7	7.93
29	27.4	5.52
30	27.6	8.00
28	26.5	5.36
27	26.3	2.59
28	26.3	6.07
27	26.1	3.33
27	26.3	2.59
27	26.4	2.22

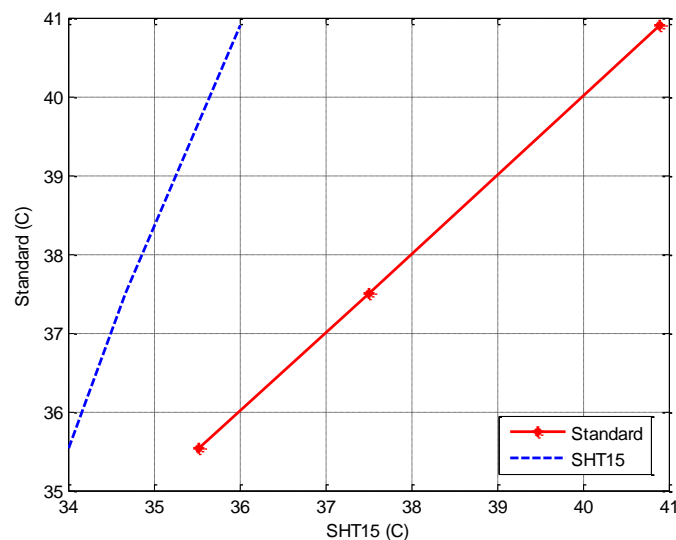
จากตารางที่ 3.4 พบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 8.00% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับไม่ได้ ดังนั้นควรมีการปรับเทียบค่าใหม่

3.1.1 การปรับเทียบและค่าที่ได้หลังจากการปรับเทียบ

จากการทดลองก่อนการปรับเทียบกับเครื่องวัดความร้อนมาตรฐานจะพบว่าค่าที่ได้มีค่าต่างจากเครื่องมาตรฐานมาก จึงนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SHT15 และ DS18B20 กับเครื่องวัดความร้อนมาตรฐานพบว่ากราฟที่ได้ต่างกันมาก จึงต้องทำการปรับเทียบโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการปรับเทียบดังนี้

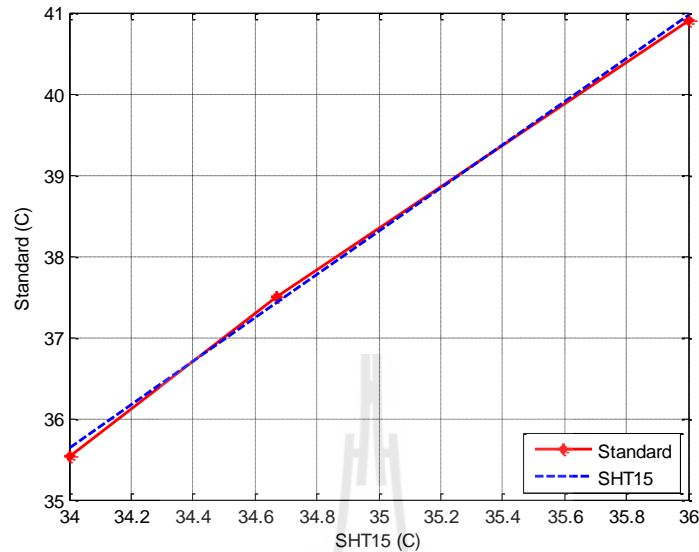
3.1.1.1 การปรับเทียบค่าอุณหภูมิโกลบ (GLOBE THERMOMETER)

ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของการแผ่ความร้อนในโกลบ (GLOBE THERMOMETER) ก่อนการปรับเทียบดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อุณหภูมิโกลบของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ

จากรูปที่ 3.1 แสดงค่าอุณหภูมิก่อนการปรับเทียบพบว่าเส้นกราฟจะห่างกันทั้งความชันและจุดเริ่มต้น ดังนั้นจึงควรมีการปรับตั้งค่าเครื่องมือวัดเพื่อให้กราฟทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 อุณหภูมิโกลบของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ

เมื่อทำการปรับเทียบแล้วพบว่ามีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ 7.58% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เส้นกราฟใกล้เคียงกันมากทั้งความชันและจุดเริ่มต้น ดังนั้นการปรับเทียบครั้งนี้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานและสามารถนำสมการที่ได้หลังจากการปรับเทียบไปใช้ได้จริงดังสมการที่ 3.1

$$^{\circ}\text{C} = 2.668 \times \text{SHT15} - 55.1695 \quad (3.1)$$

เมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิมียค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ที่ได้หลังจากการปรับเทียบ ดังตารางที่ 3.5

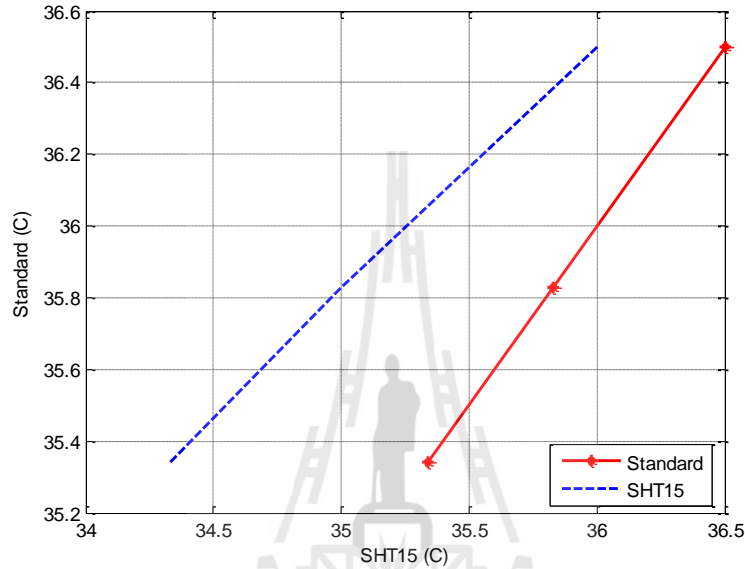
ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิจากการแผ่ความร้อนในโกลบ(GLOBE THERMOMETER) หลังจากรปรับเทียบ

SHT15 (°C)	Standard (°C)	Error (%)
35.5	35.5	0.12
35.5	35.6	0.16
35.5	35.6	0.16
35.5	37.0	3.94
35.5	37.5	5.22
40.9	38.0	7.58

40.9	40.2	1.69
40.9	41.1	0.54
40.9	41.4	1.26

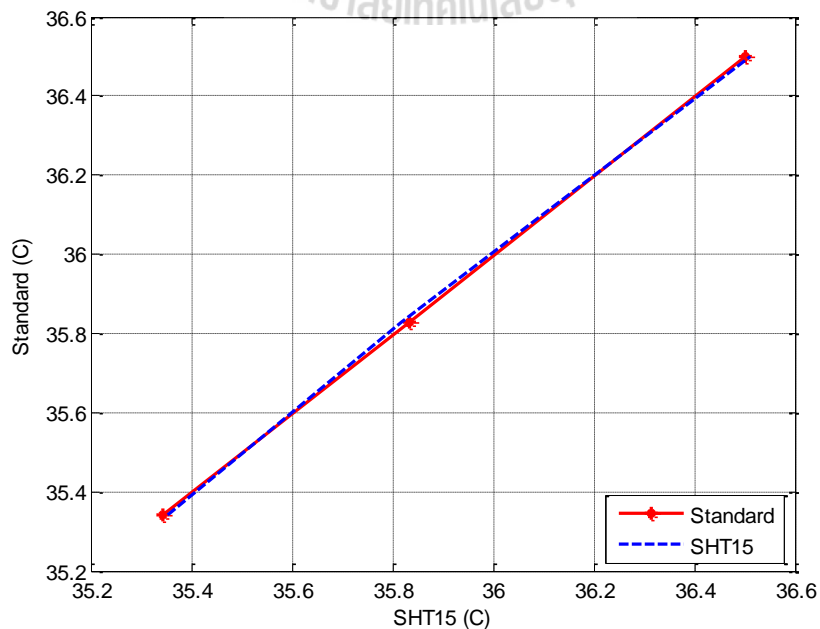
3.1.1.2 การปรับเทียบค่าอุณหภูมิของอากาศในกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER)

ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศในกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER) ก่อนการปรับเทียบแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ

เส้นกราฟก่อนการปรับเทียบพบว่าจะห่างกันทั้งความชันและจุดเริ่มต้น ดังนั้นจึงควรมีการปรับเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้กราฟทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ
 หลังจากการปรับเทียบพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ 2.33% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เส้นกราฟมีค่าใกล้เคียงกันมากทั้งความชันและจุดเริ่มต้น ดังนั้นการปรับเทียบใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน และสามารถนำสมการที่ได้หลังจากการปรับเทียบไปใช้ได้จริงดังสมการที่ 3.2

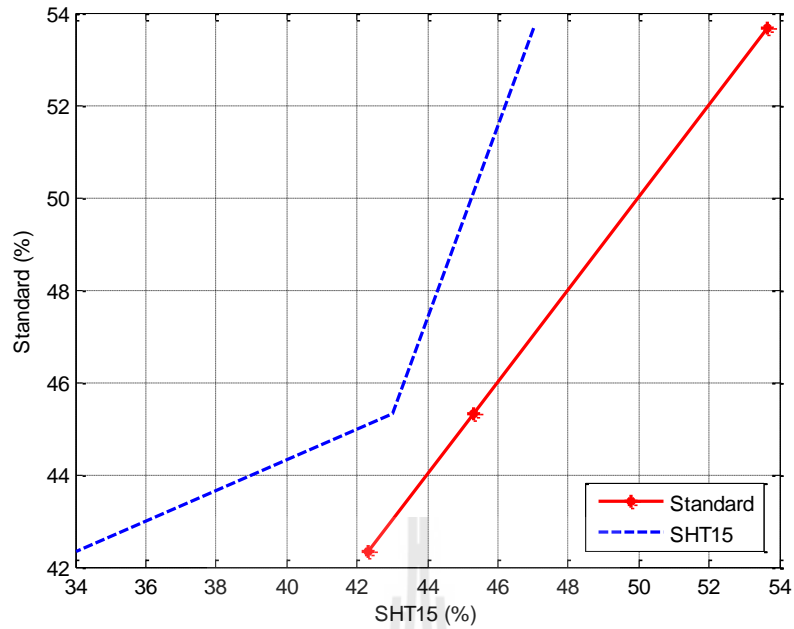
$$^{\circ}\text{C} = 0.6927 * \text{SHT15} + 11.5695 \quad (3.2)$$

ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ที่ได้หลังจากการปรับเทียบดังตารางที่ 3.6
 ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศในกระเปาะแห้ง(DRY BULB THERMOMETER) หลังจากการปรับเทียบ

SHT15 (°C)	Standard (°C)	Error (%)
35.8	35.0	2.33
35.1	35.1	0.06
35.1	35.1	0.06
36.5	35.7	2.26
36.5	35.8	1.97
36.5	36.0	1.41
36.5	36.4	0.29
36.5	36.5	0.02
36.5	36.6	0.25

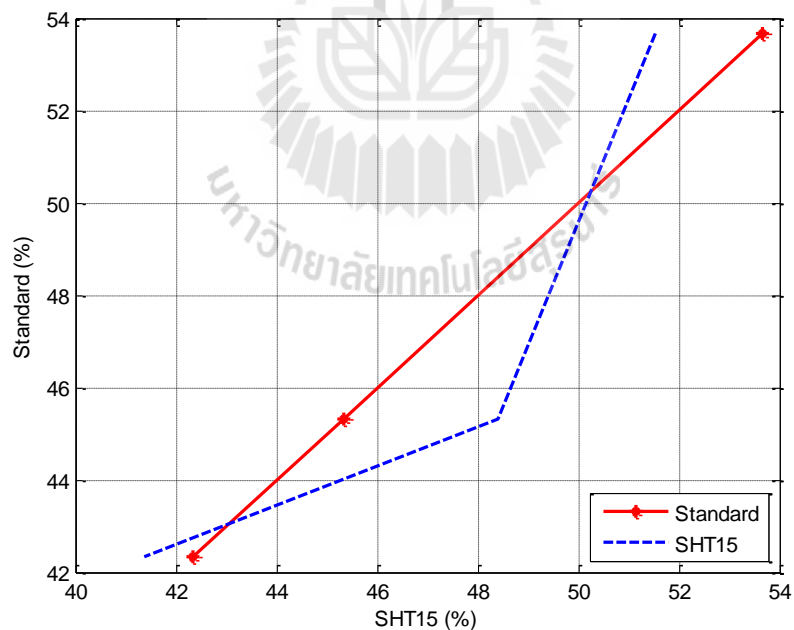
3.1.2 การปรับเทียบค่าความชื้นของอากาศในกระเปาะแห้ง (DRY BLUB THERMOMETER)

ผลการทดสอบค่าความชื้นของอากาศที่วัดได้ในกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER) ก่อนการปรับเทียบ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ค่าความชื้นกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ

เส้นกราฟจะห่างกันทั้งความชันและจุดเริ่มต้นก่อนการปรับเทียบ ดังนั้นจึงควรมีการปรับเทียบกราฟ เพื่อให้กราฟทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ค่าความชื้นกระเปาะแห้งของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ

จากการปรับเทียบพบว่ามีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ 7.58% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เส้นกราฟใกล้เคียงกันมากทั้งความชันและจุดเริ่มต้น ดังนั้นการปรับเทียบมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานสามารถนำสมการที่ได้หลังจากการปรับเทียบไปใช้ได้จริงดังสมการที่ 3.3

$$^{\circ}\text{C} = 0.7811 \cdot \text{SHT15} + 14.8234 \quad (3.3)$$

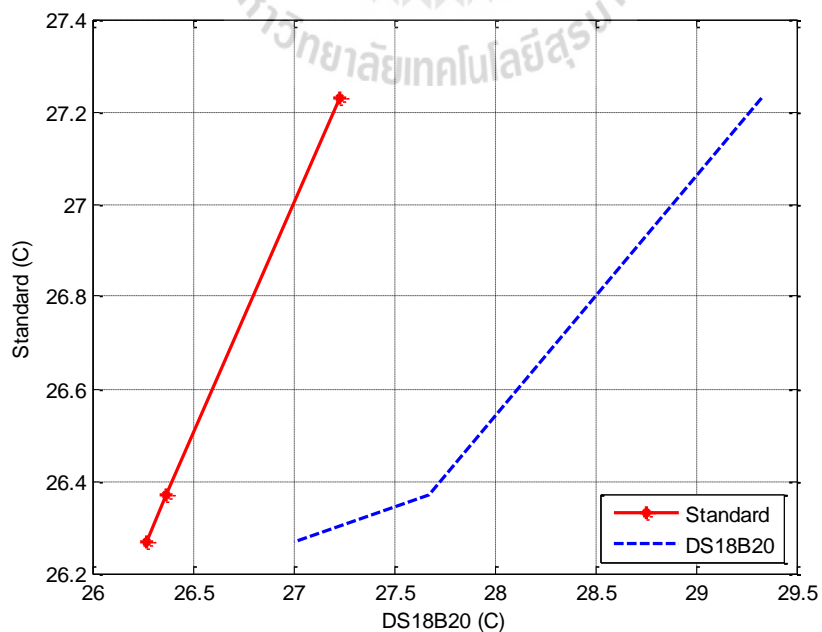
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ที่ได้หลังจากการปรับเทียบ ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบค่าความชื้นของอากาศในกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER) หลังจากการปรับเทียบ

SHT15 ($^{\circ}\text{C}$)	Standard ($^{\circ}\text{C}$)	Error (%)
52	54	3.12
52	55	4.88
50	52	3.90
48	46	5.24
48	45	7.58
48	45	7.58
41	42	1.47
41	43	3.77
41	42	1.47

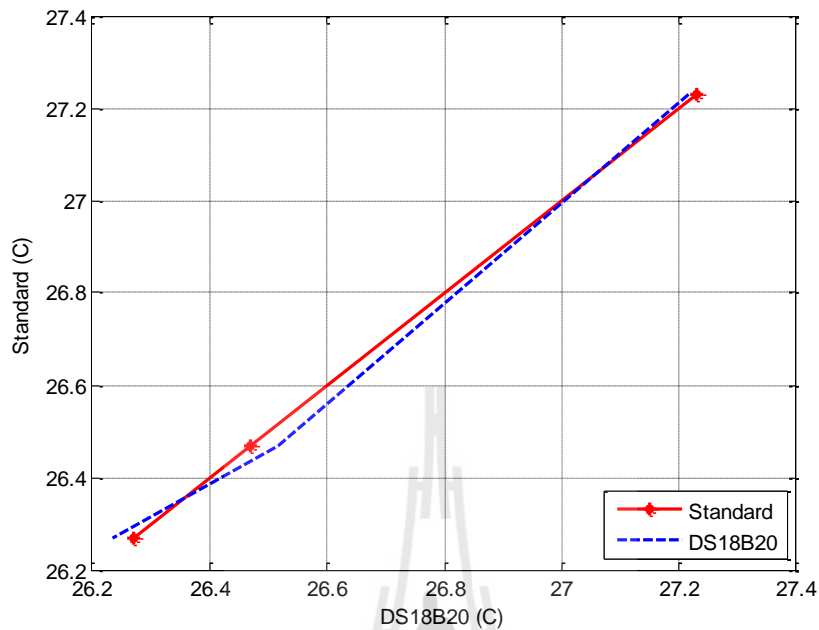
3.1.3 การปรับเทียบค่าอุณหภูมิของอากาศในกระเปาะเปียก (WET BULB THERMOMETER)

ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ในกระเปาะเปียก (WET BULB THERMOMETER) ก่อนการปรับเทียบ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ

เส้นกราฟจะห่างกันทั้งความชันและจุดเริ่มต้นก่อนการปรับเทียบ ดังนั้นจึงควรมีการปรับเทียบกราฟ เพื่อให้กราฟทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ

กราฟที่ได้หลังจากการปรับเทียบพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ 1.41% ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เส้นกราฟใกล้เคียงกันมาก ทั้งความชันและจุดเริ่มต้น ดังนั้นการปรับเทียบใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานและสามารถนำสมการที่ได้หลังจากการปรับเทียบไปใช้ได้จริงดังสมการที่ 3.4

$$^{\circ}\text{C} = 0.4207 * \text{SHT15} + 14.876 \quad (3.4)$$

ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ที่ได้หลังจากการปรับเทียบ ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบค่าความชื้นของอากาศในกระเปาะแห้งหลังจากการปรับเทียบ

SHT15 (°C)	Standard (°C)	Error (%)
27.1	26.7	1.41
27.1	27.4	1.18
27.5	27.6	0.37
26.7	26.5	0.59
26.2	26.3	0.25
26.7	26.3	1.35
26.2	26.1	0.52
26.2	26.3	0.25
26.2	26.4	0.63

3.1.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เมื่อนำเครื่องวัดความร้อนโดยใช้ดัชนี WBGT ไปวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความร้อนมาตรฐาน รุ่น QUESTemp^o 34 (Temperature<2% Humidity<5%) ก่อนการปรับเทียบ พบว่าค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนเกินค่าของเครื่องวัดความร้อนมาตรฐานซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้จึงต้องทำการปรับเทียบค่ามาตรฐานกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น แต่หลังจากการปรับเทียบแล้วค่าของความคลาดเคลื่อนจะมีค่าลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้เกิดจากความไม่ถูกต้องของอุปกรณ์ ฉะนั้นจึงควรมีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆให้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น

- โกลบ ควรเลือกที่เป็นทองแดงและมีความหนาน้อยกว่าที่ใช้อยู่ เพราะทองแดงสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าโลหะผสมทองแดง
- โคมหลอดไฟพลาสติก ควรเลือกที่มีความหนาน้อยกว่านี้ เพราะสามารถทำให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก
- ฝาครอบอุปกรณ์ต่างๆ ควรเลือกที่มีความกว้าง ความยาว ความหนา ที่เท่ากัน
- การต่อเซนเซอร์ DS18B20 เนื่องจากใช้ท่อพลาสติกหุ้มตัวเซนเซอร์ จนทำให้รับค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ไม่เต็มความสามารถของตัวเซนเซอร์ จึงไม่ควรหุ้มท่อพลาสติกจนส่งผลกระทบต่อารรับค่าความชื้นสัมพัทธ์
- ลักษณะการทดสอบ ควรทดสอบหลายๆค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพราะจะทำให้ได้ค่าที่แตกต่างๆกัน และสามารถตรวจสอบความแม่นยำได้อีกด้วยว่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดความร้อนมาตรฐานมากน้อยเพียงไร

จากการทดสอบเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้น พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ DRY BULB THERMOMETER, WET BULB THERMOMETER, GLOBE THERMOMETER มีเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน (%error) ไม่เกิน 8% ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้สามารถยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อลดความคลาดเคลื่อนลงควรมีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆให้ถูกต้องตามมาตรฐานการใช้งาน

3.2 ผลการทดสอบเครื่องวัดความเข้มแสง

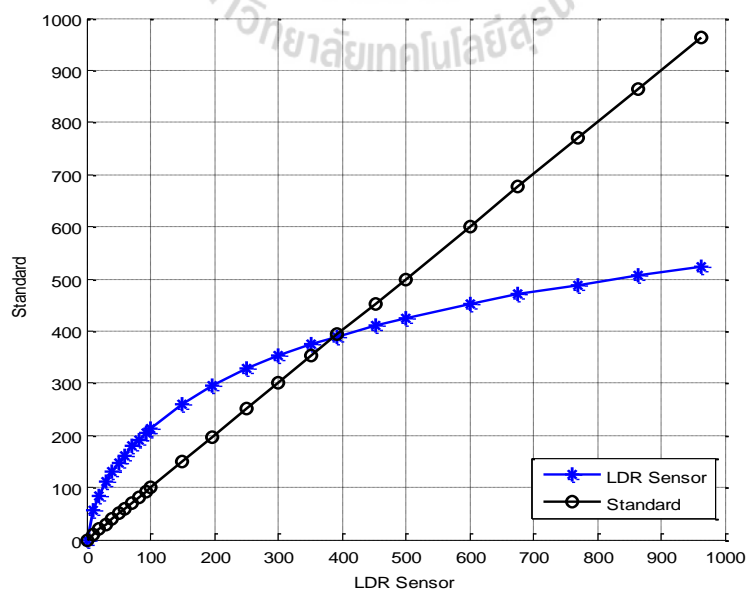
การทดลองเปรียบเทียบค่าระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐานก่อนการปรับเทียบโดยเรียกเครื่องวัดแสงที่สร้างขึ้นนี้ว่า “LDR Sensor” และเรียกเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐานว่า “Standard” ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.9 ถึง ตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองก่อนการปรับเทียบ

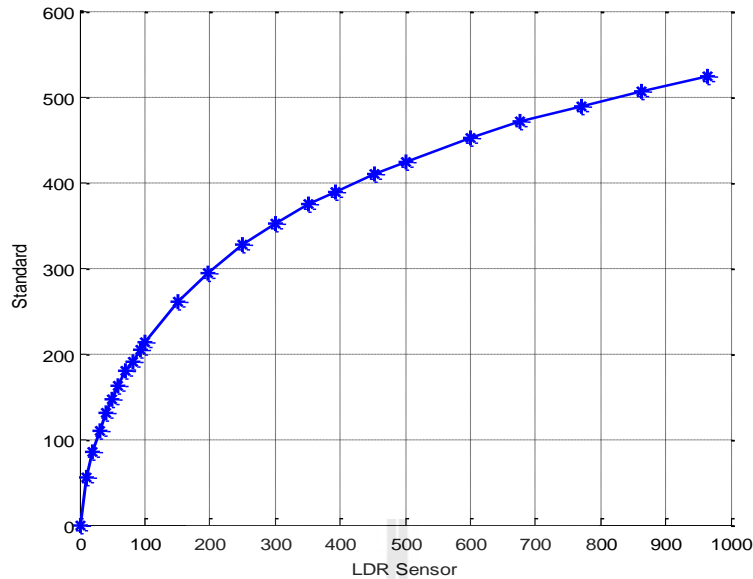
LDR Sensor(lx)	Standard(lx)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
0	0	0
12.42	9.68	22.06

21.8	19.15	12.16
33.2	30.2	9.04
41.9	40.1	4.3
51.4	50.1	2.53
57.9	57.6	0.52
67.2	68.5	1.93
78.2	79.2	1.28
87	90.1	3.56
103	106.5	3.4
193	200.8	4.04
294	302	2.72
393	398	1.27
484	493	1.86
599	612	2.17
691	705	2.03
780	782	2.31
886	989	1.92
986	998	2.23

จากตารางที่ 3.9 เมื่อพิจารณาค่าผลการทดลองก่อนการปรับเทียบจากเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) ทำให้ไม่ทราบลักษณะสมการการปรับเทียบ ดังนั้นจึงนำค่าจากผลการทดลองมาวาดกราฟดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นก่อนการปรับเทียบ



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างก่อนการปรับเทียบ

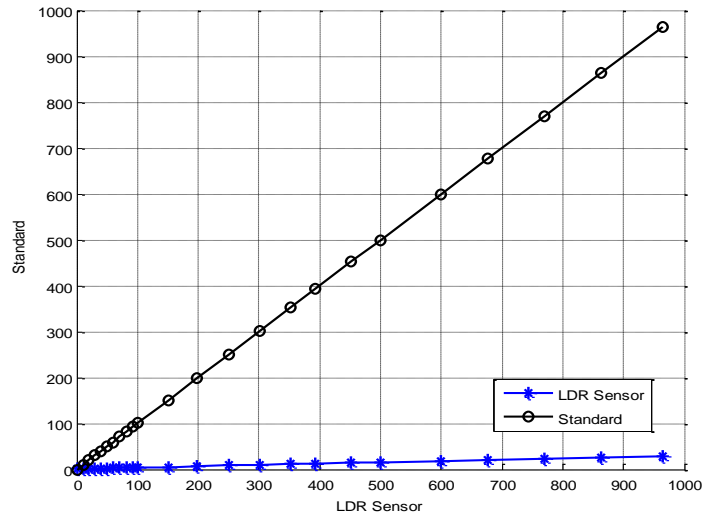
จากรูปที่ 3.9 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐานมีเส้นกราฟแตกต่างกันมากดังนั้นจึงต้องหาสมการการปรับเทียบขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.10 จะพบว่าเส้นกราฟที่เกิดขึ้นจากเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นเป็นกราฟฟังก์ชัน \ln เพราะฉะนั้นสามารถหาสมการการปรับเทียบได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 ขั้นตอนการปรับเทียบเครื่องวัดความเข้มแสง

จากการทดลองก่อนการปรับเทียบกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐานจะพบว่าค่าที่ได้มีค่าต่างจากเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐานมาก จึงนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น(LDR Sensor) กับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน(Standard) จะพบว่ากราฟที่ได้เป็นกราฟ $y = \ln(x)$

เมื่อ x คือ ค่าจากเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor)

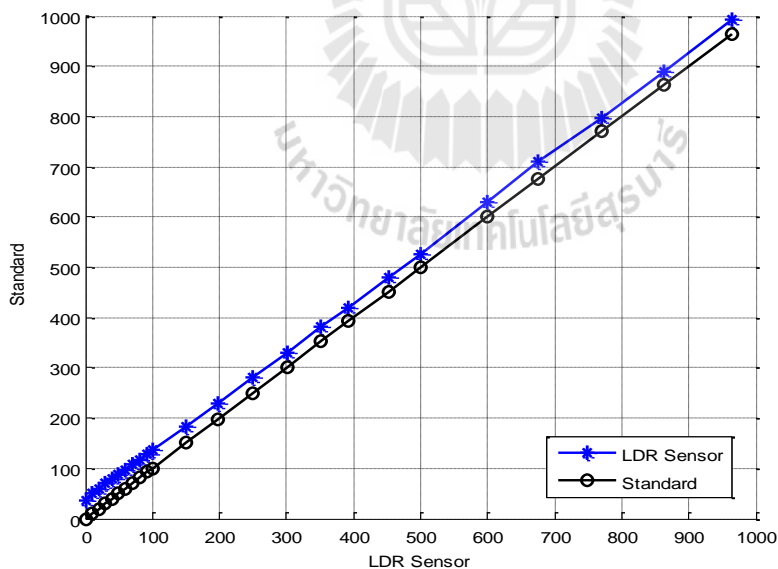
y คือ ค่าจากเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard)



รูปที่ 3.11 การปรับเทียบครั้งที่ 1

กราฟของเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR sensor) จากเดิมที่เป็นเส้นโค้งดังรูปที่ 3.10 เมื่อแทนค่าสมการที่ (3.5) จะทำให้กราฟเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 3.11 โดยค่าคงที่ 156 ที่นำมาหารในสมการข้างต้นได้จากการสุ่มค่าเพื่อปรับความโค้งของกราฟให้เป็นเชิงเส้น

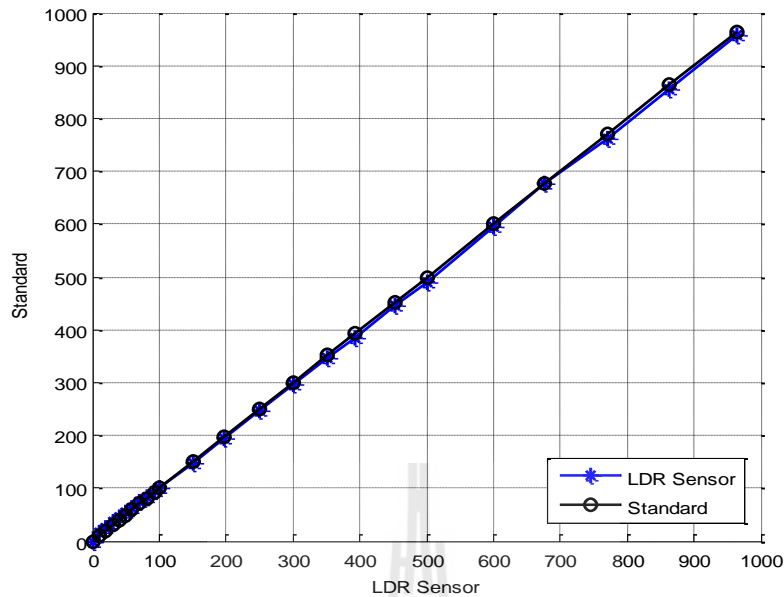
$$\text{Lux} = \text{Exp}(\text{SensorValue}/156) \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.12 การปรับเทียบครั้งที่ 2

จากรูปที่ 3.11 จะพบว่ากราฟของเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR sensor) จะมีความชันน้อยกว่าความชันของเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน ดังนั้นต้องทำการปรับความชันของกราฟโดยคูณด้วยค่าคงที่ 34.7 ดังสมการที่ (3.6) จะทำให้กราฟมีความชันเท่ากันดังรูปที่ 3.13

$$\text{Lux} = \text{Exp}(\text{SensorValue}/156)*34.7 \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.13 การปรับเทียบครั้งที่ 3

จากรูปที่ 3.12 เมื่อกราฟมีความชันเท่ากันแล้ว จากนั้นต้องการปรับกราฟของเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR sensor) ให้ทับซ้อนกับกราฟของเครื่องวัดแสงมาตรฐานโดยทำการเลื่อนกราฟขึ้นไป 34.7 จึงได้สมการที่ 3.7 ทำการปรับเทียบแล้ว

$$\text{Lux} = [\text{Exp}(\text{SensorValue}/156)*34.7]-34.7 \quad (3.7)$$

3.2.2 ผลการทดลองหลักการปรับเทียบเครื่องวัดความเข้มแสง

ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) กับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard) หลังการปรับเทียบแล้วได้ผลแสดงดังตารางที่ 3.10

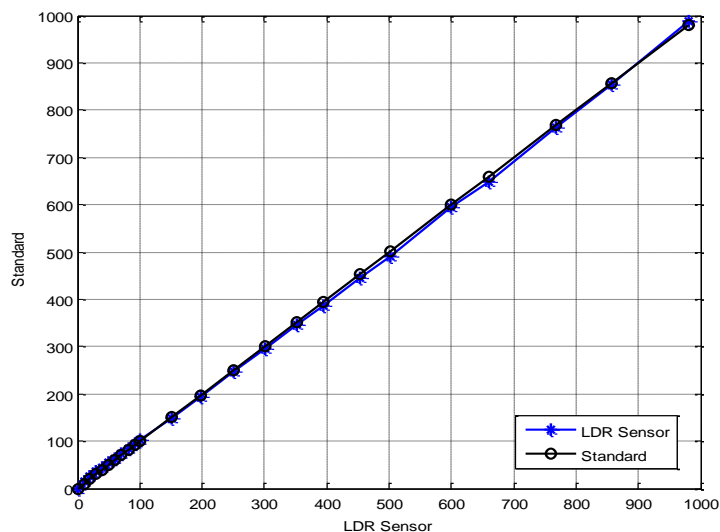
ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 1)

LDR Sensor(lx)	Standard(lx)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
0	0	0
12.10	10.32	14.71
25.53	18.98	25.65
34.21	29.53	13.68
42.35	40.30	4.84
51.43	49.32	4.10
64.34	60.12	6.55

71.98	68.22	5.22
83.31	79.94	4.04
94.12	92.13	2.11
102.10	100.50	1.59
119.82	118.00	1.54
152.59	152.00	0.388
212.03	210.50	0.72
260.00	264.34	1.64
300.92	300.00	0.3
401.80	401.00	0.199
497.18	496.00	0.23
605.54	606.00	0.07
698.50	700.00	0.21
810.06	813.00	0.36
944.00	942.00	0.21
999.00	995.00	0.40

จากตารางที่ 3.10 จะพบว่าการทดสอบที่ค่าประมาณ 100 lx ไปจนถึง 1000 lx มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ส่วนผลการทดสอบที่ค่าต่ำกว่า 100 lx จะมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

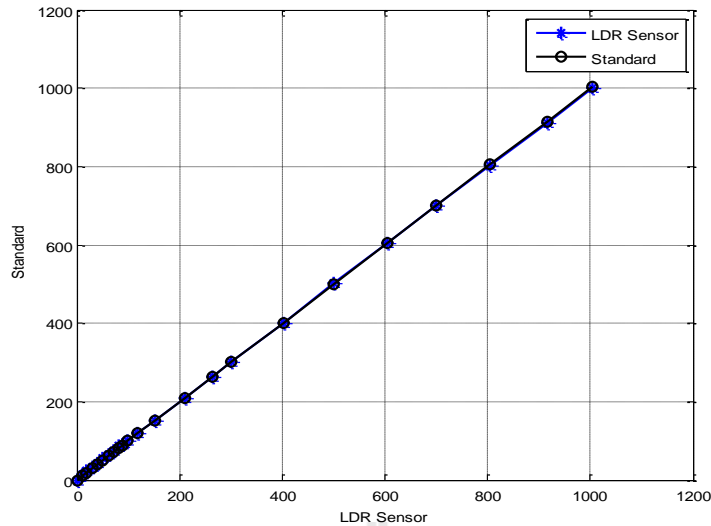
จากรูปที่ 3.14 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างเส้นกราฟของเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) กับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard) ซึ่งจะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นทับกันเกือบสนิท



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 1)

ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 2)

LDR Sensor(lx)	Standard(lx)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
0	0	0
15.21	10.50	30.96
23.14	18.89	18.36
35.00	31.16	10.97
43.12	39.87	7.53
54.89	50.28	8.39
65.20	61.34	5.92
74.13	72.00	2.87
86.28	82.12	4.82
91.34	89.32	2.21
100.10	99.50	0.59
120.56	119.00	1.29
151.59	152.00	0.27
210.03	210.50	0.22
262.10	263.90	0.68
300.92	301.45	0.17
400.30	401.90	0.39
501.23	500.10	0.22
604.54	605.82	0.21
699.45	700.77	0.18
801.30	804.60	0.41
912.30	915.40	0.34
1000.20	1003.10	0.29



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 2)

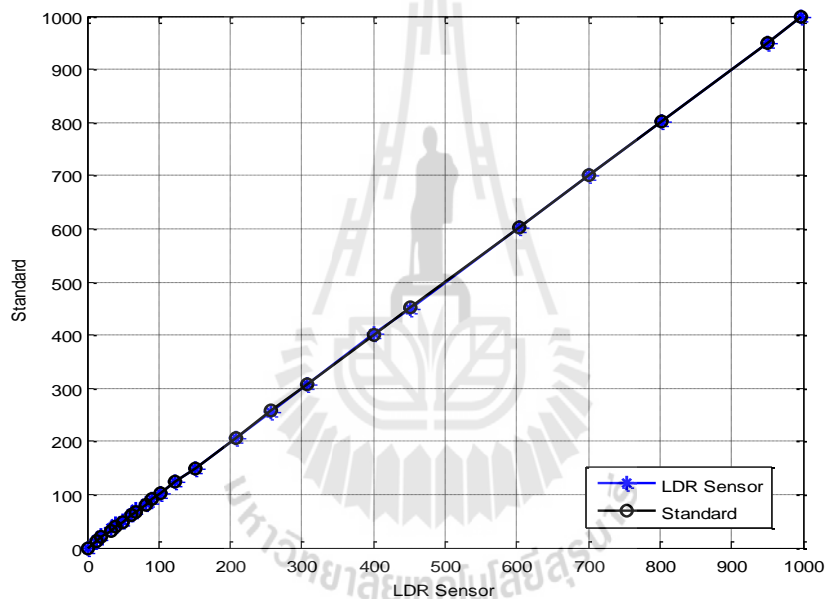
จากตารางที่ 3.11 จะพบว่า การทดสอบที่ค่าประมาณ 100 lx ไปจนถึง 1000 lx มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ส่วนผลการทดสอบที่ค่าต่ำกว่า 100 lx จะมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

จากรูปที่ 3.15 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างเส้นกราฟของเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) กับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard) ซึ่งจะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นทับกันเกือบสนิท

ตารางที่ 3.12 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 3)

LDR Sensor(lx)	Standard(lx)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
0	0	0
14.23	12.30	13.56
22.56	19.80	12.23
35.78	32.69	8.63
46.20	40.50	12.33
50.23	48.82	2.80
64.98	60.92	6.24
71.87	68.22	5.07
83.30	81.45	2.22
92.04	91.11	1.01
101.10	102.20	1.08
123.73	123.20	0.42
149.88	150.15	0.18

205.08	207.20	1.03
255.20	257.10	0.74
306.72	307.10	0.12
401.80	401.00	0.20
450.14	450.85	0.16
602.25	602.45	0.03
699.50	700.00	0.07
802.06	803.00	0.12
949.10	950.5	0.15
999.10	997.34	0.18



รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 3)

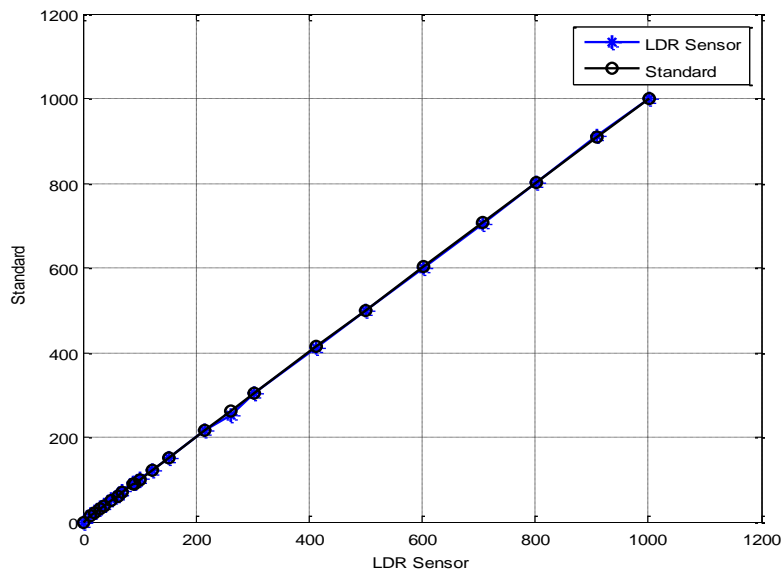
จากตารางที่ 3.12 จะพบว่าการทดสอบที่ค่าประมาณ 100 lx ไปจนถึง 1000 lx มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ส่วนผลการทดสอบที่ค่าต่ำกว่า 100 lx จะมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

จากรูปที่ 3.16 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างเส้นกราฟของเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) กับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard) ซึ่งจะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นทับกันเกือบสนิท

ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 4)

LDR Sensor(lx)	Standard(lx)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
0	0	0
18.04	13.29	26.33

23.13	19.87	14.09
34.90	30.30	13.18
41.63	38.45	7.63
52.54	49.90	5.02
64.20	61.45	4.28
72.55	70.10	3.37
91.70	89.00	2.94
92.10	90.12	2.14
102.23	100.50	1.69
122.30	123.00	0.57
151.45	151.73	0.18
216.20	215.50	0.32
250.98	261.32	4.11
302.92	303.60	0.22
412.80	413.22	0.11
500.16	499.89	0.05
601.54	603.00	0.24
705.50	706.01	0.07
800.06	800.96	0.11
911.23	910.34	0.09
1000.23	1001.10	0.08



รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นหลังการปรับเทียบ (ครั้งที่ 4)

จากตารางที่ 3.13 จะพบว่า การทดสอบที่ค่าประมาณ 100 lx ไปจนถึง 1000 lx มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ส่วนผลการทดสอบที่ค่าต่ำกว่า 100 lx จะมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

จากรูปที่ 3.17 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างเส้นกราฟของเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) กับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard) ซึ่งจะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นทับกันเกือบสนิท

3.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเครื่องวัดความเข้มแสง

จากการทดลองก่อนการปรับเทียบจะพบว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) มีค่าต่างจากเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard) มาก จึงนำค่าที่ได้ไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor) กับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard) จะพบว่ากราฟที่ได้เป็นกราฟ $y = \ln(x)$

เมื่อ x คือ เครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (LDR Sensor)

y คือ ค่าจากเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Standard)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปวาดกราฟเพื่อหาสมการปรับเทียบได้ดังนี้

$$\text{Lux} = [\text{Exp}(\text{SensorValue}/156) - 1] * 34.7$$

เมื่อทำการทดสอบหลังการปรับเทียบจะพบว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น (Sensor LDR) มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดมาตรฐาน (Lux meter) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

- ช่วงที่ 1 ความเข้มแสง 0 lx ถึง 50 lx มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 30 %
- ช่วงที่ 2 ความเข้มแสง 50 lx ถึง 100 lx มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 %
- ช่วงที่ 3 ความเข้มแสง 100 lx ถึง 1000 lx มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 %

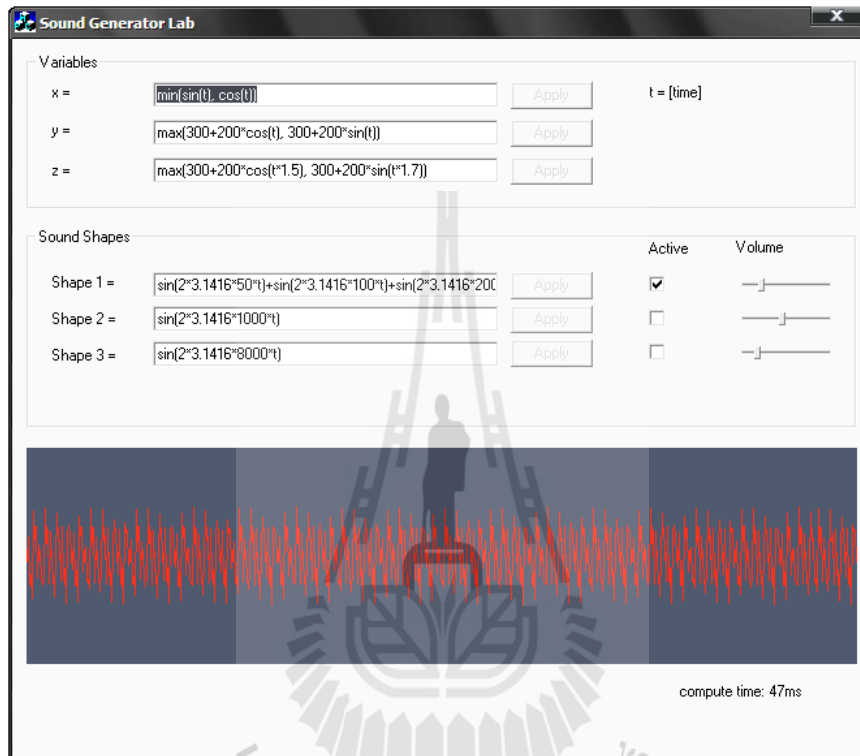
โดยเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐานกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 2% จากความต้องการในการนำไปใช้งานในโรงงานหรือสถานประกอบการ สามารถนำเครื่องวัดแสงที่สร้างขึ้นไปใช้งานได้ในช่วงการวัดที่มีความเข้มแสง 100 lx ถึง 1000 lx ดังนั้นจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้สามารถวัดได้ในช่วงที่มีความเข้มแสงต่ำต่อไป

3.3 ผลการทดสอบเครื่องมือวัดเสียง

จากการดำเนินงานออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับเสียง (Sound Sensor) โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าที่ทำการวัดกับเครื่องมาตรฐาน จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่ถูกต้อง (ในที่นี้ค่าที่ถูกต้องนั้นพิจารณาจากเครื่องวัดระดับเสียง Standard (Sound level meter) และทำการปรับเทียบกับเครื่องวัดระดับเสียง (Sound Sensor) ให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดระดับเสียง Standard (Sound level meter) และมีความผิดพลาดน้อยที่สุด

3.3.1 การทดลองเครื่องมือวัดเสียง

ทำการวัดค่าระดับความดังเสียง โดยใช้ความถี่ผสมในการกำเนิดเสียงจากโปรแกรม Sound Generator ดังรูปที่ 3.18 และได้ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าระหว่าง เครื่องวัดระดับเสียง (Sound Sensor) กับ เครื่องวัด Sound level meter (ก่อนการปรับเทียบ) ดังตารางที่ 3.13 โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังประมาณ 45 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังขึ้นครั้งละประมาณ 5 dB จนถึงระดับความดังประมาณ 110 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์



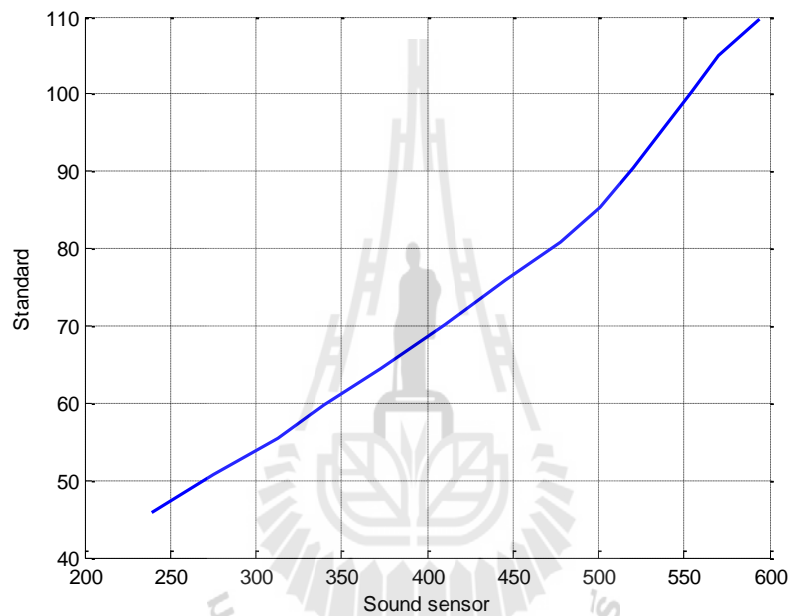
รูปที่ 3.18 โปรแกรม Sound Generator

ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองความดังก่อนการปรับเทียบ

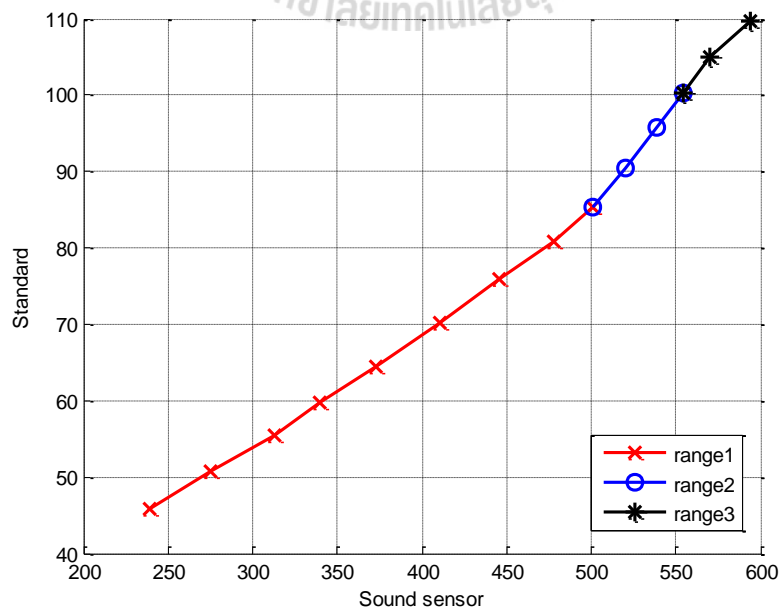
เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
45.8	239	421.83
50.8	275	441.34
55.5	313	463.96
59.8	340	468.56
64.5	373	478.30
70.2	411	485.47
75.9	446	487.62

80.8	478	491.58
85.3	501	487.34
90.5	520	474.59
95.8	539	462.63
100.3	554	452.34
104.9	570	443.38
109.6	594	441.97

จากตารางที่ 3.13 นำค่ามาวาดเส้นความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ก่อนการปรับเทียบ ดังรูปที่ 3.19 และได้ช่วงในการปรับเทียบดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบ



รูปที่ 3.20 การแบ่งช่วงในการปรับเทียบ

จากรูปที่ 3.20 การแบ่งช่วงการปรับเทียบ จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนั้น จึงได้ช่วงในการปรับเทียบแบ่งออกเป็น 3 ช่วง

ช่วงที่ 1 ช่วงระหว่างค่าประมาณ 45 dB – 85 dB

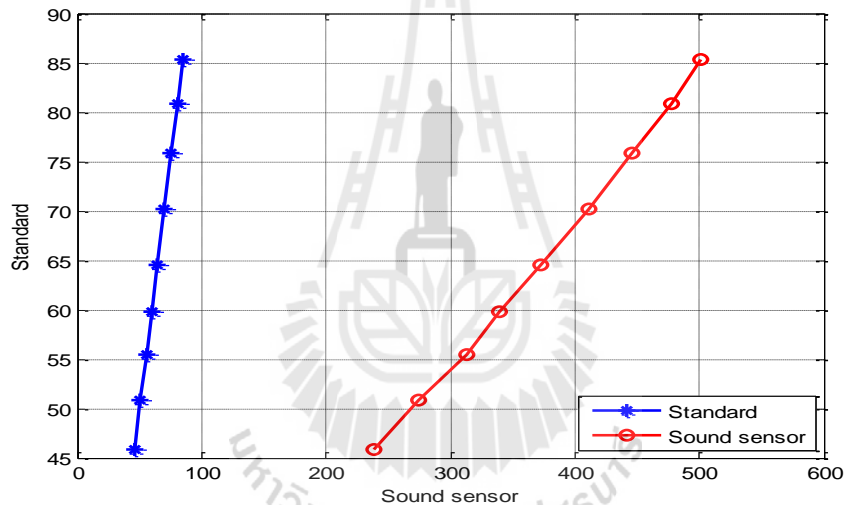
ช่วงที่ 2 ช่วงระหว่างค่าประมาณ 86 dB – 100 dB

ช่วงที่ 3 ช่วงระหว่างค่าประมาณ 101 dB – 110 dB

จากข้อมูลการทดลองตารางที่ 3.13 ทำการปรับเทียบค่าของเครื่องวัดมาตรฐานและเครื่องวัด Sound Sensor โดยใช้สมการ $y = ax + b$ และหาสมการ $y = ax + b$ โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ช่วงที่ 1 ค่าประมาณ 45 dB – 85 dB

จากชุดข้อมูลการทดลองก่อนการปรับเทียบตารางที่ 3.13 นำข้อมูลในช่วง 45 dB ถึง 85 dB มาทำการวาดกราฟก่อนการปรับเทียบดังรูปที่ 3.21



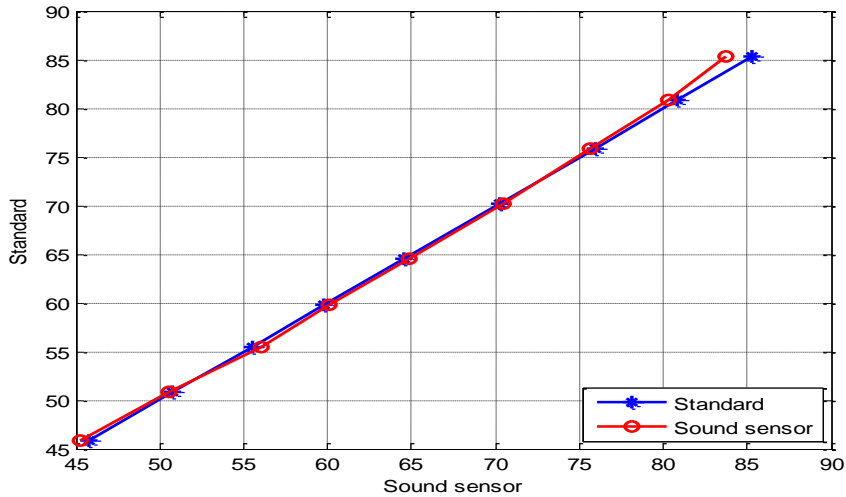
รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบช่วงที่ 1

จากรูปที่ 3.21 ทำการปรับเทียบได้ดังรูปที่ 3.21 โดยปรับเทียบที่โปรแกรม MATLAB และได้สมการการปรับเทียบดังสมการที่ 3.8

$$y = 0.1468x + 10.1423 \quad (3.8)$$

เมื่อ y คือ ค่าผลการทดลองของเครื่องวัด Standard

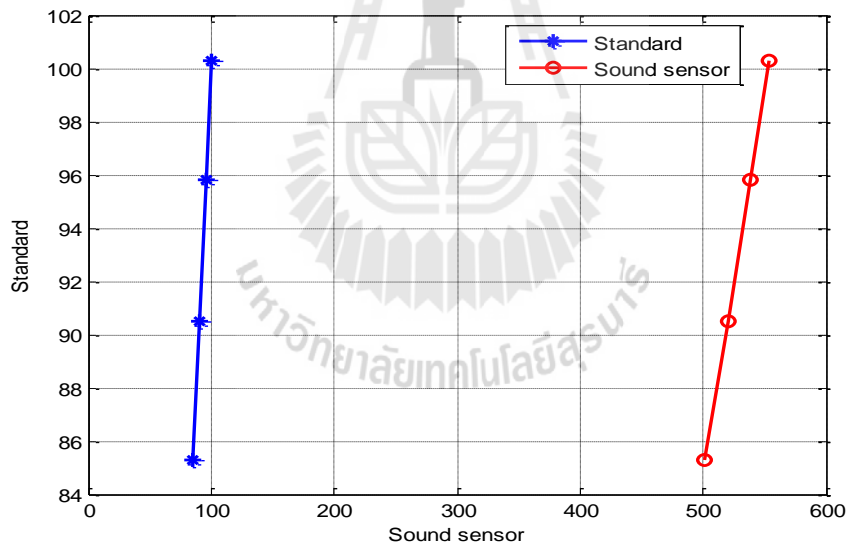
x คือ ค่าผลการทดลองของเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบ



รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor หลังการปรับเทียบช่วงที่ 1

ช่วงที่ 2 ค่าประมาณ 85 dB – 100 dB

จากชุดข้อมูลการทดลองก่อนการปรับเทียบตารางที่ 3.13 นำข้อมูลในช่วง 85 dB ถึง 100 dB มาทำการวาดกราฟก่อนการปรับเทียบดังรูปที่ 3.23



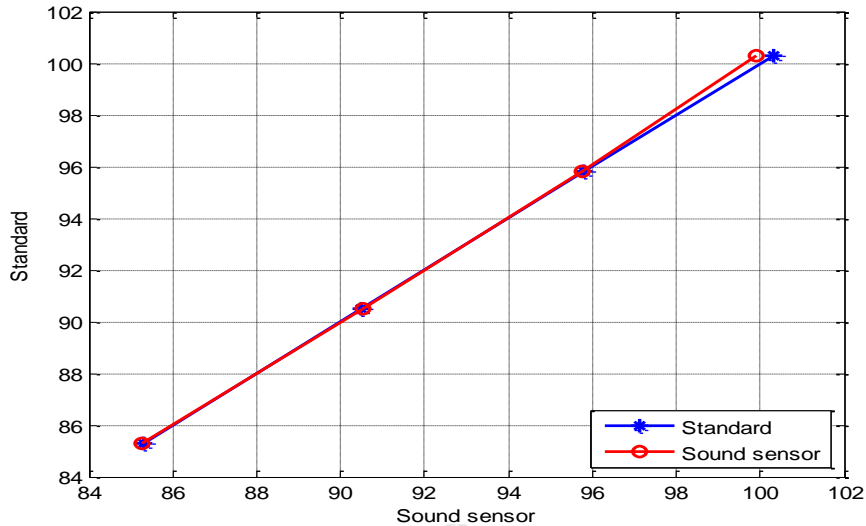
รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบช่วงที่ 2

จากรูปที่ 3.23 ทำการปรับเทียบได้ดังรูปที่ 3.24 โดยปรับเทียบที่โปรแกรม MATLAB และได้สมการการปรับเทียบดังสมการที่ 3.9

$$y = 0.2763*x - 53.1509 \quad (3.9)$$

เมื่อ y คือ ค่าผลการทดลองของเครื่องวัด Standard

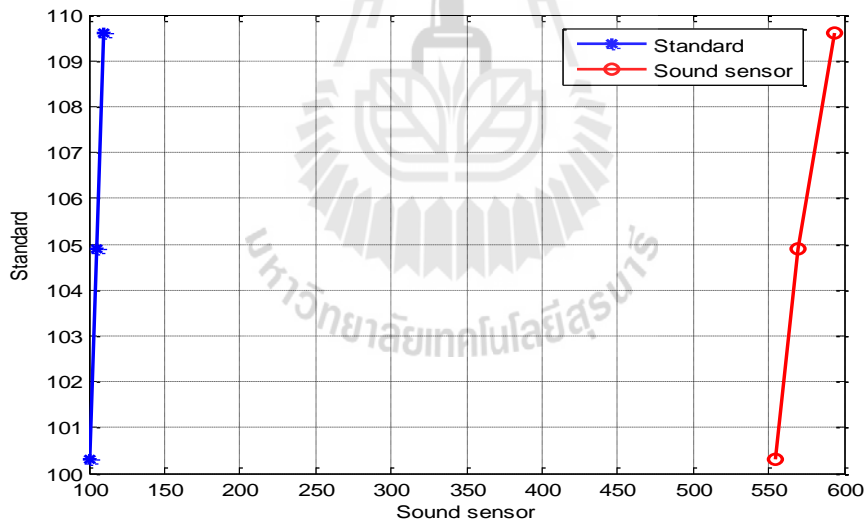
x คือ ค่าผลการทดลองของเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบ



รูปที่ 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor หลังการปรับเทียบช่วงที่ 2

ช่วงที่ 3 ค่าประมาณ 100 dB – 110 dB

จากชุดข้อมูลการทดลองก่อนการปรับเทียบตารางที่ 3.13 นำข้อมูลในช่วง 100 dB ถึง 110 dB มาทำการวาดกราฟก่อนการปรับเทียบดังรูปที่ 3.25



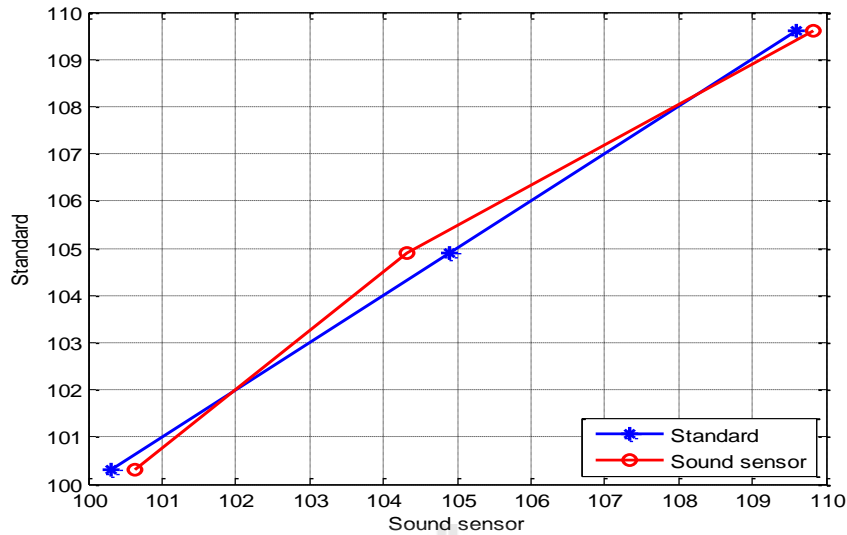
รูปที่ 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบช่วงที่ 3

จากรูปที่ 3.25 ทำการปรับเทียบได้ดังรูปที่ 3.26 โดยปรับเทียบที่โปรแกรม MATLAB และได้สมการการปรับเทียบดังสมการที่ 3.10

$$y = 0.2296 * x - 26.5539 \quad (3.10)$$

เมื่อ y คือ ค่าผลการทดลองของเครื่องวัด Standard

x คือ ค่าผลการทดลองของเครื่องวัด Sound Sensor ก่อนการปรับเทียบ



รูปที่ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor หลังการปรับเทียบช่วงที่ 3

3.3.2 ผลการทดลองเครื่องมือวัดเสียง

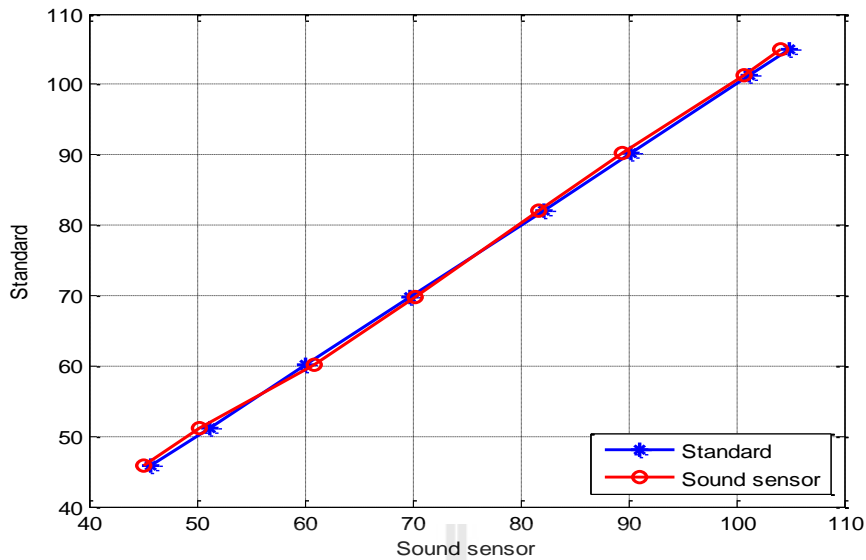
เมื่อทำการปรับเทียบเสร็จแล้ว ทำการทดลองที่ระยะต่าง 1 m และ 2 m ความถี่ผสม และความถี่ต่างๆ ในโปรแกรม Sound Generator

3.3.2.1 ความถี่ที่ความถี่ 50 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 50 Hz ในระยะ 1 m และ 2 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.14 และ ตารางที่ 3.15 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.14 และ ตารางที่ 3.15 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.27 และ รูปที่ 3.28 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.14 ความถี่ที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
45.8	45.1	1.53
51.2	50.3	1.76
60.1	60.9	1.33
69.8	70.2	0.57
82.1	81.7	0.49
90.3	89.4	1.00
101.2	100.7	0.49
104.9	104.1	0.76



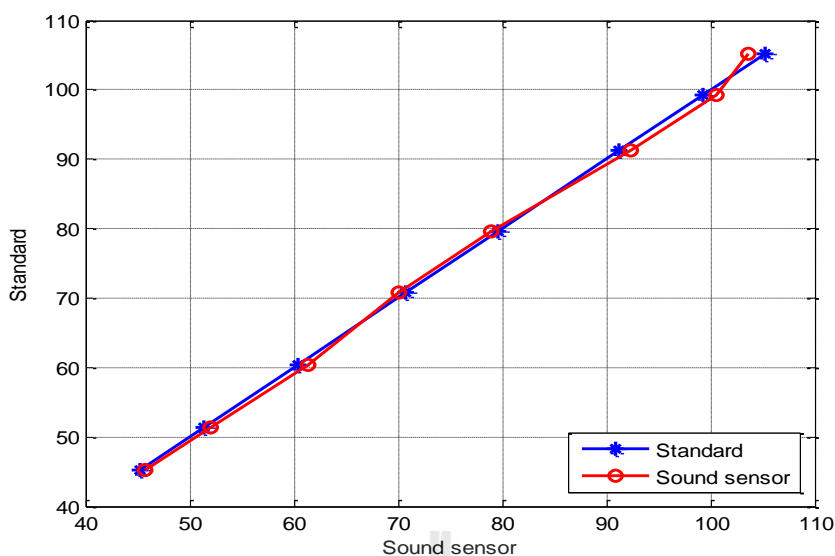
รูปที่ 3.27 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 1 m

จากตารางที่ 3.14 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 50 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 45 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อย ๆ ดังตารางที่ 3.14 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 1.76 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 51.2 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 50.3 dB

จากรูปที่ 3.27 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.15 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นเกือบทับกัน คือ มีระดับความดังเสียงใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3.15 ความดังที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 2 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
45.2	45.7	1.11
51.3	52.0	1.36
60.4	61.3	1.49
70.8	70.1	0.99
79.6	78.9	0.88
91.2	92.4	1.32
99.3	100.6	1.31
105.2	103.6	1.52



รูปที่ 3.28 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 2 m

จากตารางที่ 3.15 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 50 Hz ในระยะ 2 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 45 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.15 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 1.52 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 105.2 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 103.6 dB

จากรูปที่ 3.28 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.15 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 50 Hz ระยะ 2 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นเกือบทับกัน คือ มีระดับความดังเสียงใกล้เคียงกัน

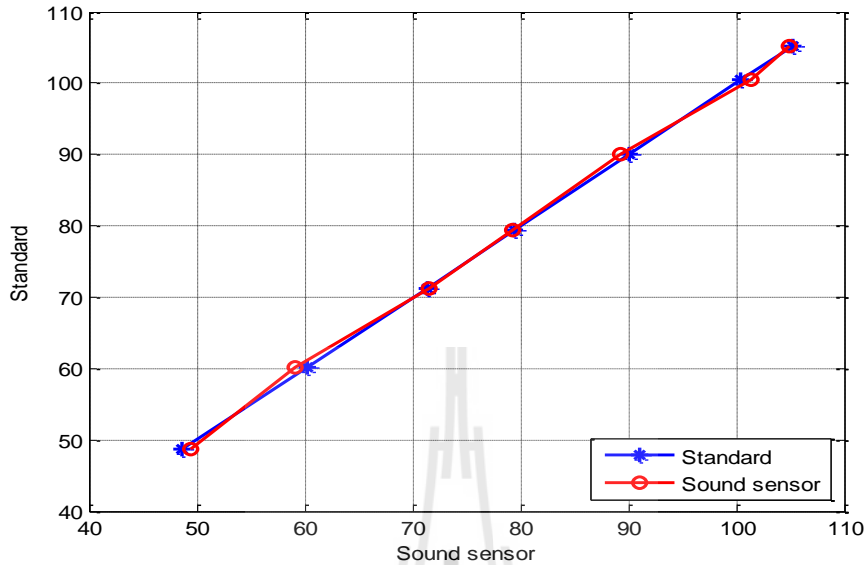
3.3.2.2 ความดังที่ความถี่ 100 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 100 Hz ในระยะ 1 m และ 2 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.16 และ ตารางที่ 3.17 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.29 และ รูปที่ 3.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.16 ความดังที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
48.7	49.5	1.64
60.2	59.1	1.83
71.3	71.5	0.28
79.5	79.2	0.38

90.1	89.3	0.89
100.4	101.3	0.90
105.2	104.9	0.29



รูปที่ 3.29 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 1 m

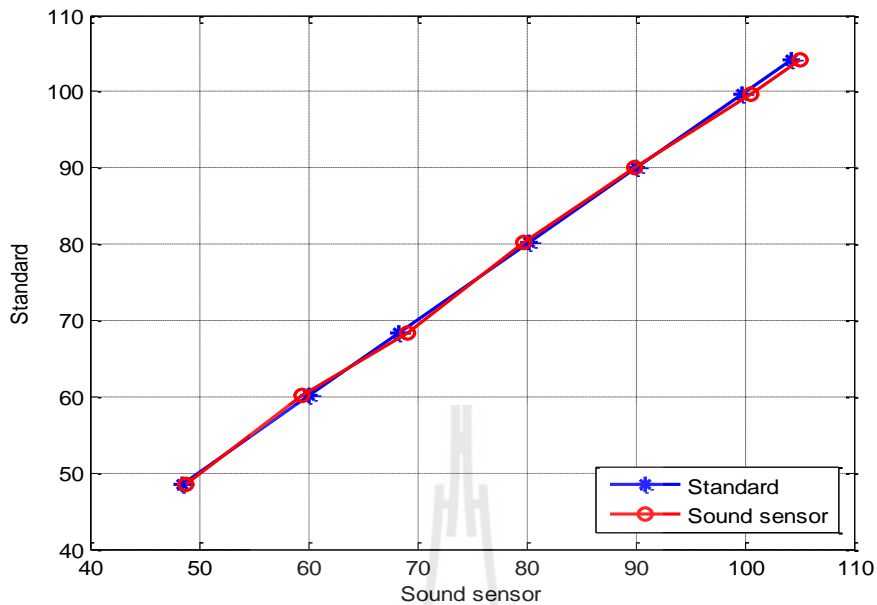
จากตารางที่ 3.16 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 100 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.16 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 1.83 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 60.2 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 59.1 dB

จากรูปที่ 3.29 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 4.4 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นเกือบทับกัน คือมีระดับความดังเสียงใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3.17 ความดังที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 2m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
48.5	48.8	0.62
60.1	59.5	1.00
68.3	69.1	1.17
80.2	79.8	0.50
90.1	89.9	0.22

99.7	100.6	0.90
104.2	105.1	0.86



รูปที่ 3.30 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 2 m

จากตารางที่ 3.17 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 100 Hz ในระยะ 2 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.17 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 1.17 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 68.3 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 69.1 dB

จากรูปที่ 3.30 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.17 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 100 Hz ระยะ 2 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นเกือบทับกัน คือ มีระดับความดังเสียงใกล้เคียงกัน

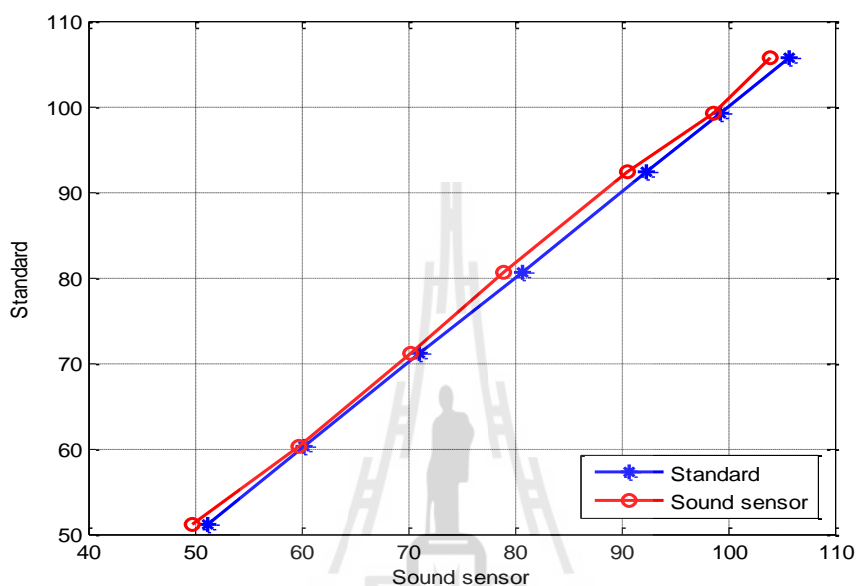
3.3.2.3 ความดังที่ความถี่ 200 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 200 Hz ในระยะ 1 m และ 2 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.18 และ ตารางที่ 3.19 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.18 และ ตารางที่ 3.19 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.31 และ รูปที่ 3.32 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.18 ความดังที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
51.2	49.8	2.73

60.3	59.7	1.00
71.1	70.2	1.27
80.7	78.9	2.23
92.3	90.5	1.95
99.2	98.7	0.50
105.7	103.9	1.70



รูปที่ 3.31 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 1 m

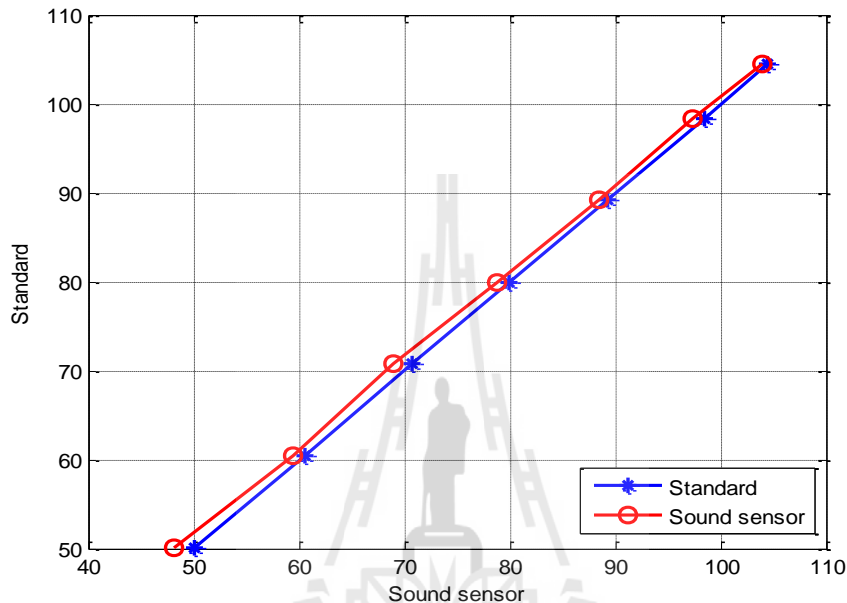
จากตารางที่ 3.18 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 200 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อย ๆ ดังตารางที่ 3.18 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 2.73 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 51.2 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 49.8 dB

จากรูปที่ 3.31 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.18 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะเริ่มห่างกันมากขึ้นจากความถี่ 100 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีมากกว่า 100 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่า

ตารางที่ 3.19 ความดังที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 2 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
50.1	48.2	3.79

60.5	59.4	1.82
70.8	68.9	2.68
79.9	78.8	1.38
89.2	88.4	0.90
98.4	97.3	1.12
104.5	103.9	0.57



รูปที่ 3.32 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 2 m

จากตารางที่ 3.19 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 200 Hz ในระยะ 2 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.19 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 3.79 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 50.1 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 48.2 dB

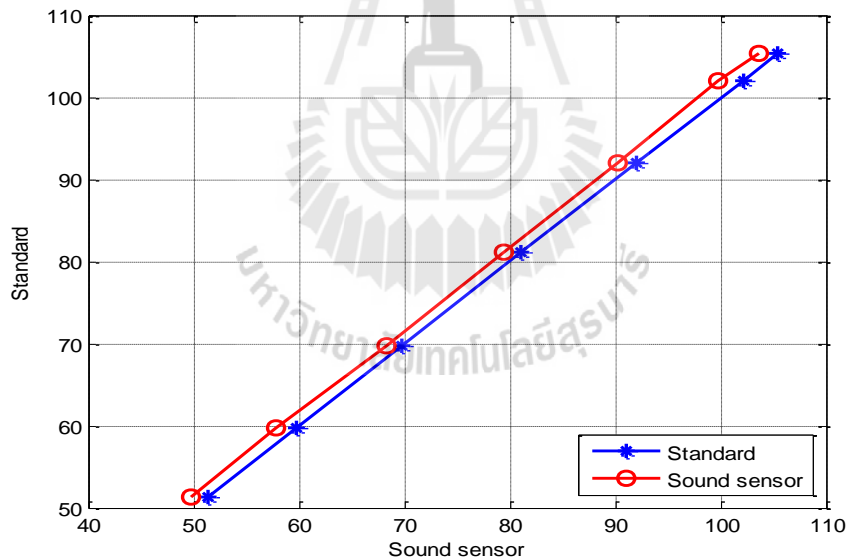
จากรูปที่ 3.32 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.19 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 200 Hz ระยะ 2 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะเริ่มห่างกันมากขึ้นจากความถี่ 100 Hz และห่างกันมากกว่า 200 Hz ในระยะ 1 m คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีมากกว่า 100 Hz และมากกว่า 200 Hz ในระยะ 1 m และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่า

3.3.2.4 ความดังที่ความถี่ 400 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 400 Hz ในระยะ 1 m และ 2 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.20 และ ตารางที่ 3.21 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.20 และ ตารางที่ 3.21 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่าง เครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.33 และ รูปที่ 3.34 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.20 ความดังที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
51.3	49.8	2.92
59.8	57.9	3.18
69.7	68.3	2.01
81.1	79.4	2.10
92.0	90.2	1.96
102.1	99.7	2.35
105.4	103.7	1.61



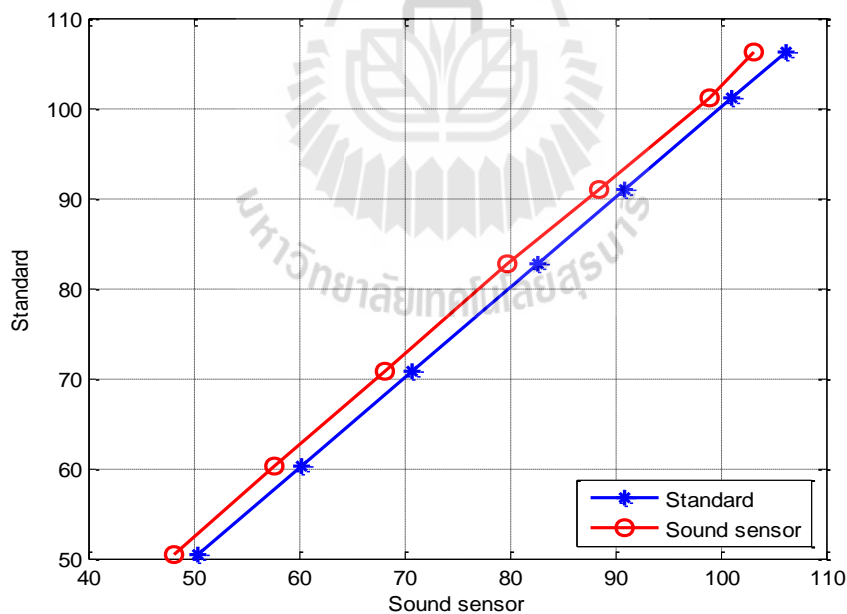
รูปที่ 3.33 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 1 m

จากตารางที่ 3.20 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 400 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.20 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 3.18 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 59.8 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 57.9 dB

จากรูปที่ 3.33 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.20 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะเริ่มห่างกันมากขึ้นจากความถี่ 200 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีมากกว่า 200 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าชัดเจนกว่า 200 Hz

ตารางที่ 3.21 ความดังที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 2 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
50.4	48.1	4.56
60.2	57.6	4.32
70.8	68.2	3.67
82.7	79.7	3.63
90.9	88.4	2.75
101.1	98.9	2.18
106.2	103.1	2.92



รูปที่ 3.34 การเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 2 m

จากตารางที่ 3.21 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 400 Hz ในระยะ 2 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อย ๆ ดังตารางที่ 3.21 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด

4.56 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 50.4 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 48.1 dB

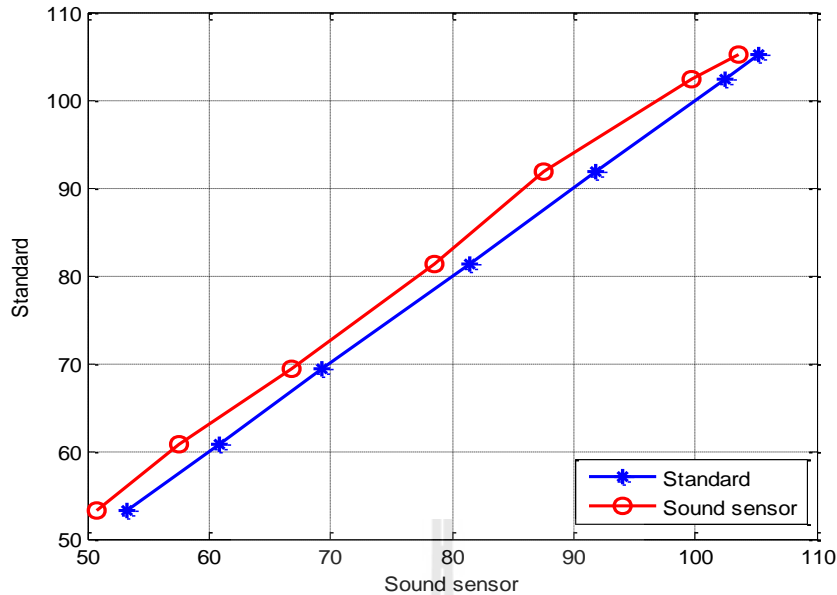
จากรูปที่ 3.34 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.21 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 400 Hz ระยะ 2 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะเริ่มห่างกันมากขึ้นจากความถี่ 200 Hz และห่างกันมากกว่า 400 Hz ในระยะ 1 m คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีมากกว่า 200 Hz และมากกว่า 400 Hz ในระยะ 1 m และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าชัดเจนกว่า 200 Hz

3.3.2.5 ความดังที่ความถี่ 700 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 700 Hz ในระยะ 1 m และ 2 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.22 และ ตารางที่ 3.23 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.22 และ ตารางที่ 3.23 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.35 และ รูปที่ 3.36 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.22 ความดังที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
53.2	50.7	4.70
60.8	57.6	5.26
69.3	66.8	3.61
81.4	78.5	3.56
91.8	87.5	4.68
102.4	99.7	2.64
105.2	103.6	1.52



รูปที่ 3.35 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 1 m

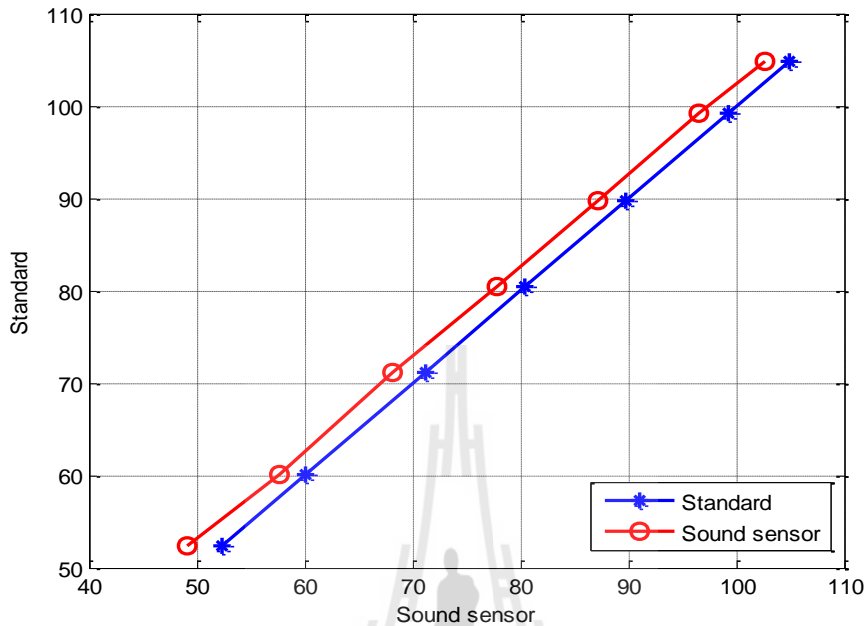
จากตารางที่ 3.22 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 700 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.33 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 5.26 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 60.8 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 57.6 dB

จากรูปที่ 3.35 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.22 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะห่างกันมากเหมือนกับเส้นกราฟที่ความถี่ 400 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมากเหมือนกับที่ 400 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าเหมือนกับที่ 400 Hz

ตารางที่ 3.23 ความดังที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 2 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
52.3	49.1	6.12
60.1	57.7	3.99
71.2	68.1	4.35
80.4	77.9	3.11
89.7	87.1	2.90

99.2	96.5	2.72
104.9	102.6	2.19



รูปที่ 3.36 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 2 m

จากตารางที่ 3.23 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 700 Hz ในระยะ 2 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.23 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 6.12 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 52.3 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 49.1 dB

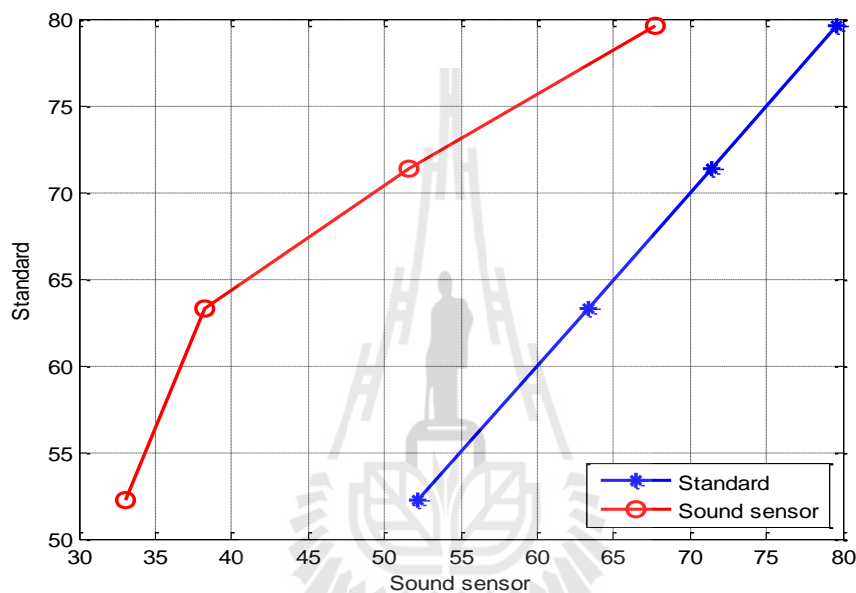
จากรูปที่ 3.36 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.23 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 700 Hz ระยะ 2 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะห่างกันมากเหมือนกับเส้นกราฟที่ความถี่ 400 Hz และห่างกันเหมือนกับเส้นกราฟที่ความถี่ 700 Hz ในระยะ 1 m คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีมากเหมือนกับที่ความถี่ 400 Hz และเหมือนกับที่ความถี่ 700 Hz ในระยะ 1 m และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าเหมือนกับที่ความถี่ 400 Hz และเหมือนกับที่ความถี่ 700 Hz ในระยะ 1 m

3.3.2.6 ความดังที่ความถี่ 1000 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 1000 Hz ในระยะ 1 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.24 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.25 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.37 ที่ไม่ได้ทดลองในระยะ 2 m เนื่องจากไม่สามารถสร้างระดับเสียงต่างๆ ได้ในระยะนี้

ตารางที่ 3.24 ความดังที่ความถี่ 1000 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
52.2	33.1	57.70
63.3	38.2	65.71
71.4	51.6	38.37
79.6	67.7	17.58



รูปที่ 3.37 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 1000 Hz ระยะ 1 m

จากตารางที่ 3.24 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 1000 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.24 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 80 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 65.71 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 63.3 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 38.2 dB

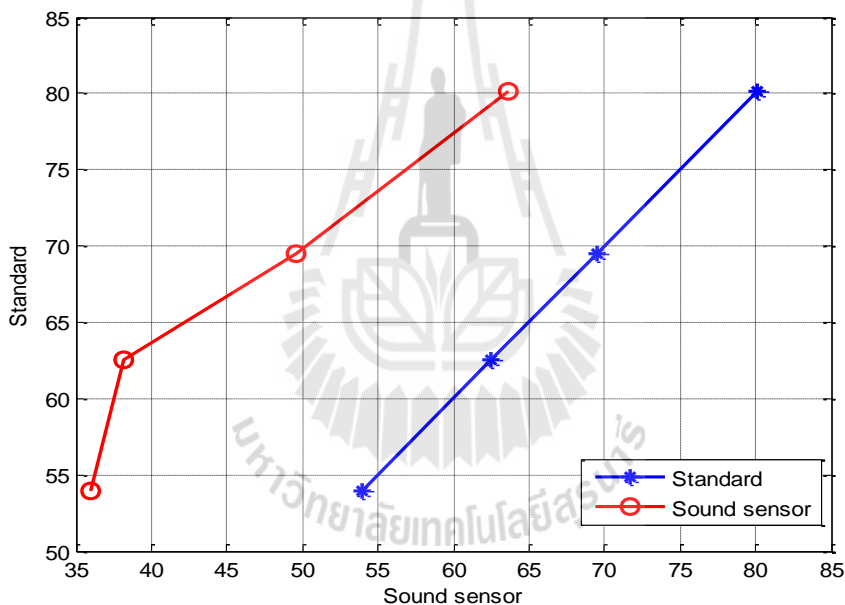
จากรูปที่ 3.37 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.24 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 1000 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะห่างกันมากกว่าเส้นกราฟที่ความถี่ 700 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่าที่ความถี่ 700 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าเหมือนกับที่ความถี่ 700 Hz

3.3.2.7 ความดังที่ความถี่ 2000 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 2000 Hz ในระยะ 1 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.25 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.25 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.38 ที่ไม่ได้ทดลองในระยะ 2 m เนื่องจากไม่สามารถสร้างระดับเสียงต่างๆ ได้ในระยะนี้

ตารางที่ 3.25 ความดังที่ความถี่ 2000 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
53.9	36.0	49.72
62.5	38.2	63.61
69.5	49.6	40.12
80.1	63.6	25.94



รูปที่ 3.38 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 2000 Hz ระยะ 1 m

จากตารางที่ 3.25 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 2000 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.25 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 80 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 63.61 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 62.5 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 38.2 dB

จากรูปที่ 3.38 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.25 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 2000 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะห่าง

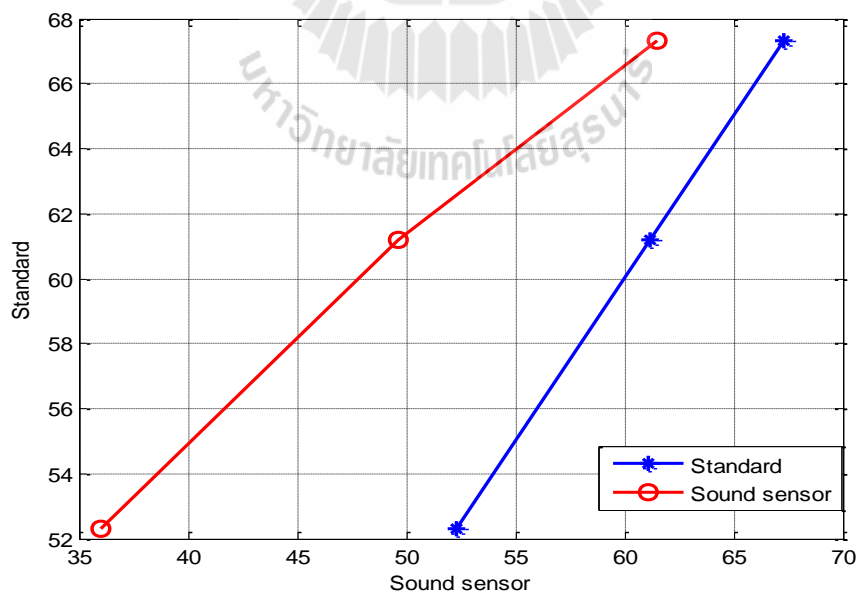
กันมากเหมือนกับที่ความถี่ 1000 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากเหมือนกับที่ความถี่ 1000 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าเหมือนกับที่ความถี่ 1000 Hz

3.3.2.8 ความดังที่ความถี่ 3000 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 3000 Hz ในระยะ 1 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.26 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.26 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 4.22 ที่ไม่ได้ทดลองในระยะ 2 m เนื่องจากไม่สามารถสร้างระดับเสียงต่างๆ ได้ในระยะนี้

ตารางที่ 3.26 ความดังที่ความถี่ 3000 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
52.3	36.0	45.28
61.2	49.6	23.39
67.3	61.5	9.43



รูปที่ 3.39 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 3000 Hz ระยะ 1 m

จากตารางที่ 3.26 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 3000 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.26 จนถึง

ระดับความดังเสียงประมาณ 70 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 45.28 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 52.3 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 36.0 dB

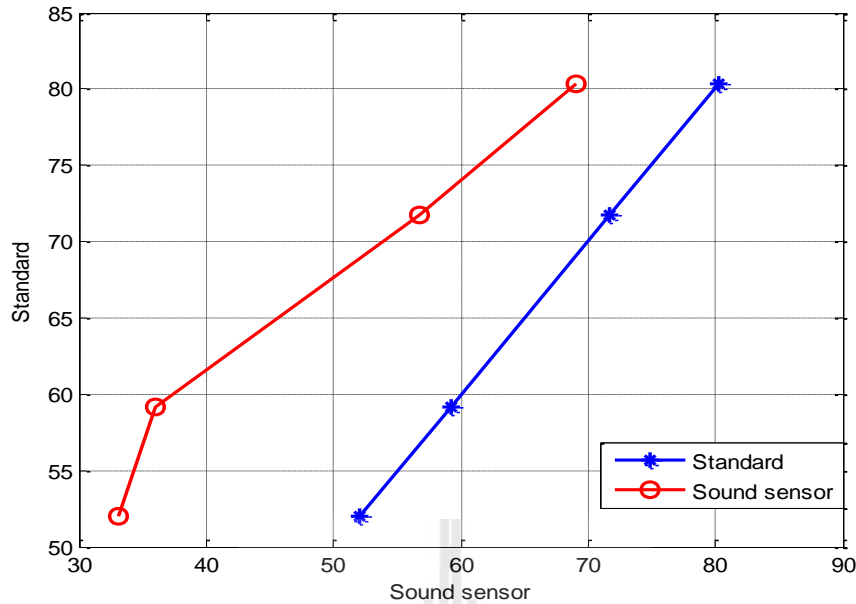
จากรูปที่ 3.39 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.26 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 3000 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะห่างกันมากเหมือนกับที่ความถี่ 2000 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากเหมือนกับที่ความถี่ 2000 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าเหมือนกับที่ความถี่ 2000 Hz

3.3.2.9 ความดังที่ความถี่ 5000 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 5000 Hz ในระยะ 1 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.27 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.27 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 4.23 ที่ไม่ได้ทดลองในระยะ 2 m เนื่องจากไม่สามารถสร้างระดับเสียงต่างๆ ได้ในระยะนี้

ตารางที่ 3.27 ความดังที่ความถี่ 5000 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
52.0	33.1	57.10
59.2	36.0	64.44
71.7	56.7	26.46
80.3	69.1	16.21



รูปที่ 3.40 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 5000 Hz ระยะ 1 m

จากตารางที่ 3.27 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 5000 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.27 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 80 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 64.44 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 59.2 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 36.0 dB

จากรูปที่ 4.40 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.27 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 5000 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะห่างกันมากเหมือนกับที่ความถี่ 3000 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากเหมือนกับที่ความถี่ 3000 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าเหมือนกับที่ความถี่ 3000 Hz

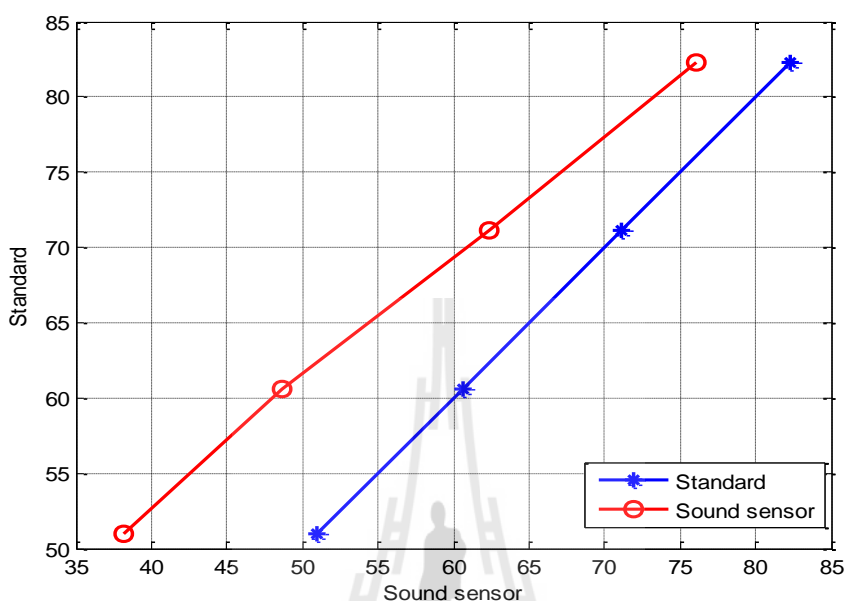
3.32.10 ความดังที่ความถี่ 8000 Hz

ทำการทดลองในความถี่ 8000 Hz ในระยะ 1 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.28 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.28 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.41 ที่ไม่ได้ทดลองในระยะ 2 m เนื่องจากไม่สามารถสร้างระดับเสียงต่างๆ ได้ในระยะนี้

ตารางที่ 3.28 ความดังที่ความถี่ 8000 Hz ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
51.0	38.2	33.51

60.6	48.6	24.69
71.1	62.4	13.94
82.3	76.1	8.15



รูปที่ 3.41 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ 8000 Hz ระยะ 1

จากตารางที่ 3.28 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ 8000 Hz ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังเสียงประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.28 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 80 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 33.51 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 51.0 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 38.2 dB

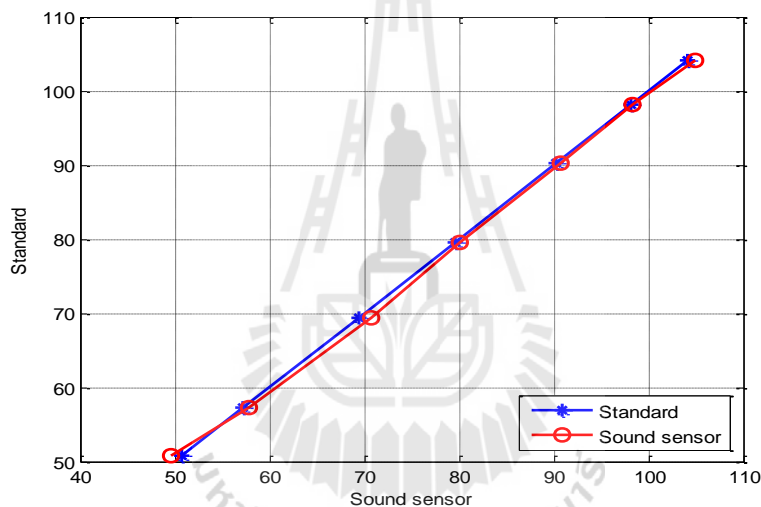
จากรูปที่ 3.41 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.28 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ 8000 Hz ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นจะห่างกันมาก แต่น้อยกว่าที่ความถี่ 5000 Hz คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามาก แต่มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ความถี่ 5000 Hz และระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าน้อยกว่าระดับเสียงที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Standard ทุกค่าเหมือนกับที่ความถี่ 5000 Hz

3.3.2.11 ความดังที่ความถี่ผสม

ทำการทดลองในความถี่ผสมในระยะ 1 m และ 2 m ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.29 และ ตารางที่ 3.30 และนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3.29 และ ตารางที่ 3.30 ไปวาดความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Standard กับ เครื่องวัด Sound Sensor ได้ดังรูปที่ 3.42 และ รูปที่ 3.43 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.29 ความดังที่ความถี่ผสม ระยะ 1 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
50.8	49.6	2.36
57.2	57.9	1.22
69.4	70.7	1.87
79.6	80	0.50
90.2	90.7	0.55
98.1	98.3	0.20
104.1	104.9	0.77



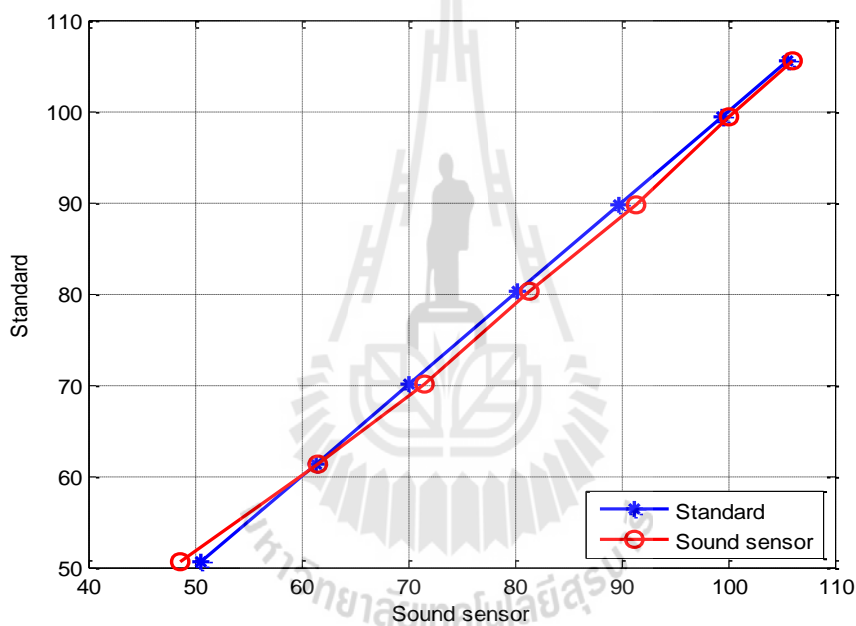
รูปที่ 3.42 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ผสม ระยะ 1 m

จากตารางที่ 3.29 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ผสม ในระยะ 1 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อย ๆ ดังตารางที่ 3.29 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 2.36 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 50.8 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 49.6 dB

จากรูปที่ 3.42 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.29 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ผสม ระยะ 1 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นเกือบทับกัน คือ มีระดับความดังเสียงใกล้เคียงกัน และเมื่อดูจุดที่มีความห่างมากที่สุดระหว่างเส้นกราฟสองเส้น จะเห็นว่าไม่ใช่จุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด

ตารางที่ 3.30 ตารางความถี่ผสม ระยะ 2 m

เครื่องวัดระดับเสียง Standard(dB)	เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor(dB)	ค่าความคลาดเคลื่อน(%)
50.6	48.7	3.75
61.3	61.5	0.33
70.1	71.6	2.14
80.3	81.4	1.37
89.7	91.4	1.90
99.4	100.1	0.70
105.6	106	0.38



รูปที่ 3.43 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัด Sound Sensor ที่ความถี่ผสม ระยะ 2 m

จากตารางที่ 3.30 เป็นผลการทดลองความดังที่ความถี่ผสม ในระยะ 2 m โดยเริ่มต้นที่ระดับความดังประมาณ 50 dB และทำการวัดค่าโดยเพิ่มระดับความดังเสียงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.30 จนถึงระดับความดังเสียงประมาณ 105 dB โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานเป็นเกณฑ์ จะพบว่าระดับความดังเสียงของเครื่องวัด Sound Sensor จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัด Standard มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 3.75 % ที่ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Standard เท่ากับ 50.6 dB ได้ระดับความดังเสียงวัดจากเครื่องวัด Sound sensor เท่ากับ 48.7 dB

จากรูปที่ 4.43 เป็นการนำข้อมูลจากตารางที่ 4.30 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัด Sound Sensor กับ เครื่องวัด Standard ที่ความถี่ผสม ระยะ 2 m จะพบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นเกือบทับกัน คือ มีระดับความดังเสียงใกล้เคียงกัน

3.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองเครื่องมือวัดเสียง

จากการทดลองเราสามารถนำค่าของเครื่องวัดระดับเสียง Standard และเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor ที่วัดได้มาทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ได้จาก

$$\frac{|\text{เครื่องมือวัดเสียง Standard (dB)} - \text{เครื่องมือวัดเสียง Sound Sensor (dB)}| \times 100\%}{\text{เครื่องมือวัดเสียง Standard (dB)}}$$

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 เป็นการทดลองที่ความถี่ 50 Hz ทั้งระยะ 1 m และระยะ 2 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่ระยะ 1 m เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 51.2 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 50.3 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.76 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 เป็นการทดลองที่ความถี่ 100 Hz ทั้งระยะ 1 m และระยะ 2 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่ระยะ 1 m เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 60.2 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 59.1 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.83 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 เป็นการทดลองที่ความถี่ 200 Hz ทั้งระยะ 1 m และระยะ 2 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่ระยะ 2 m เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 50.1 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 48.2 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.79 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 เป็นการทดลองที่ความถี่ 400 Hz ทั้งระยะ 1 m และระยะ 2 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่ระยะ 2 m เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 50.4 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 48.1 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.56 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 เป็นการทดลองที่ความถี่ 700 Hz ทั้งระยะ 1 m และระยะ 2 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่ระยะ 2 m เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 52.3 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 49.1 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.12 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.12 เป็นการทดลองที่ความถี่ 1000 Hz ที่ระยะ 1 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 63.3 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 38.2 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 65.71 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.13 เป็นการทดลองที่ความถี่ 2000 Hz ที่ระยะ 1 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 62.5 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 38.2 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 63.61 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.14 เป็นการทดลองที่ความถี่ 3000 Hz ที่ระยะ 1 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 52.3 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 36.0 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 45.28 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.15 เป็นการทดลองที่ความถี่ 5000 Hz ที่ระยะ 1m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 59.2 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 36.0 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 64.44 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.16 เป็นการทดลองที่ความถี่ 8000 Hz ที่ระยะ 1 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 51.0 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 38.2 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 33.51 %

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.17 และตารางที่ 4.18 เป็นการทดลองที่ความถี่ผสม ทั้งระยะ 1 m และ ระยะ 2 m จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีค่ามากที่สุดที่ระยะ 2 m เครื่องวัดระดับเสียง Standard ได้ค่า 50.6 dB เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor เท่ากับ 48.7 dB ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.75 %

และเมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดในแต่ละความถี่ไปดูรูปที่วาดเส้นกราฟตามตารางนั้นๆ จะพบว่าจุดที่เป็นจุดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดไม่ใช่จุดที่เป็นระยะห่างของเส้นกราฟสองเส้นมากที่สุด กล่าวคือ ค่าที่ได้จากเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor มีค่าผลต่างจากค่าเครื่องวัดระดับเสียง Standard เท่ากันทุกจุด เมื่อนำมาหาเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน ที่ระดับความดังเสียงต่ำจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ระดับความดังเสียงที่สูงกว่า

3.4 สรุป

จากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการทดลองตามตารางการทดลองต่าง ๆ เมื่อพิจารณาที่ความถี่เดียวกันแต่ระยะต่างกันโดยที่ระยะห่างมากกว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ระยะห่างน้อยกว่าและเมื่อพิจารณาที่ความถี่ต่างกันจะเห็นว่าเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากขึ้นด้วย

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 กล่าวนำ

จากการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ การดำเนินงานวิจัยจนถึงการทดลอง ทำให้สามารถสร้างเครื่องวัดซึ่งใช้ในการประเมินและวางแผนปรับปรุงสภาวะแวดล้อมการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ, เครื่องวัดความชื้นแสง และเครื่องวัดเสียงเป็นผลสำเร็จ ช่วยลดการนำเข้าเครื่องมือตรวจวัดที่มีราคาแพงได้ ดังนั้นจึงได้นำขั้นตอนการดำเนินงานต่าง ๆ มาสรุปและวิเคราะห์ผลเพื่อให้การวิจัยครั้งนี้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งยังได้กล่าวถึงปัญหาและอุปสรรคที่พบระหว่างทำการวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจที่จะศึกษางานวิจัยต่อไปในอนาคต ผู้เขียนได้สรุปปัญหาและแนวทางแก้ไขไว้ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจหรือผู้ที่จะนำไปพัฒนาปรับปรุงดังต่อไปนี้

4.2 สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ

สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบสร้างคือการเขียนโปรแกรมสร้างคำสั่งควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ซึ่งจะต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยละเอียดประกอบด้วย คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์, หน้าที่ของขาสัญญาณ, ชนิดและประเภทของตัวแปร, การอินเทอร์รัพต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์และการใช้งาน Timer / Counter เป็นต้น ซึ่งจะทำให้งานวิจัยถูกต้องและมีผลสำเร็จที่ดี

อุปกรณ์ตรวจจับหรือเซนเซอร์นั้นเป็นอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญไม่น้อยกว่ากัน ควรเลือกซื้อเซนเซอร์ให้เหมาะกับงานที่ต้องการ โดยพิจารณาคุณสมบัติว่ามีคุณลักษณะเหมาะสมตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งราคามีส่วนสำคัญประกอบการเลือกซื้ออย่างที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เซนเซอร์ DS18B20 สามารถให้ค่าที่วัดได้ออกมาเป็นดิจิตอลและราคาถูก แต่มีข้อจำกัดในด้านความสามารถคือสามารถวัดค่าได้เพียงแค่อุณหภูมิเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะต้องทำการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ประกอบด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกซื้อเซนเซอร์ที่สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ด้วย งานวิจัยนี้เลือกรุ่น SHT15 ซึ่งเซนเซอร์ตัวนี้สามารถวัดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์แต่ราคาค่อนข้างแพง

4.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ

การแสดงผลและการส่งข้อมูลเป็นส่วนสำคัญเช่นกัน ในงานวิจัยครั้งนี้แสดงค่าที่วัดได้บนจอ LCD เพื่อให้ง่ายต่อการอ่านค่าและง่ายต่อการนำไปใช้งานต่อไป การเชื่อมต่อข้อมูลนั้นสามารถรับและส่งข้อมูลไปสู่อุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 จะนำค่าที่ได้ไปใช้งานอย่างรวดเร็วและถูกต้อง ในส่วนของขั้นตอนการดำเนินงานเป็นส่วนสำคัญต้องใช้ความละเอียดเป็นอย่างมาก เพราะการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้ากับบอร์ดต้องทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดหรือไม่เกิดความผิดพลาดขึ้นเลย ส่วนในการเลือกซื้ออุปกรณ์ต่างๆควรคำนึงถึงความต้องการในการใช้งานด้วยว่าอุปกรณ์ที่ได้จัดซื้อตรงตามที่มาตรฐานกำหนด เพราะเมื่อจัดซื้ออุปกรณ์ไม่ตรงตามมาตรฐานจะทำให้ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความร้อนที่สร้างขึ้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ

เครื่องวัดมาตรฐาน พบว่าค่าที่วัดได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่มาตรฐานกำหนดดังนั้นจึงต้องเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ใหม่เพื่อให้ใกล้เคียงกับค่าของเครื่องวัดมาตรฐานมากที่สุด จึงจะสามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งปัญหาและแนวทางแก้ไขแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในการออกแบบสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ

ปัญหา	การแก้ไขปัญหา
1. การซื้ออุปกรณ์ได้ไม่ตรงตามความต้องการ	ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์เพิ่มขึ้น โดยการถามผู้ที่มีประสบการณ์การใช้งาน
2. การเขียนโปรแกรมยังขาดความชำนาญ	ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมและปฏิบัติจนเกิดความชำนาญ
3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหาย เช่น ตัวต้านทานไหม้ เป็นต้น	เนื่องจากใช้ตัวต้านทานที่ใช้มีค่าต่ำและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวต้านทานสูงเกินไปจึงเกิดการไหม้ ดังนั้นควรจ่ายไฟให้เหมาะสมกับความต้องการของวงจรที่ได้ทำการออกแบบ
4. การบัดกรีอุปกรณ์ไม่เหมาะสมเนื่องจากเกิดรูอากาศระหว่างการบัดกรี จึงทำให้ช่วงระยะเวลาในการใช้งานสั้นลง	เนื่องจากขาดความชำนาญในการบัดกรี จึงควรปฏิบัติจนเกิดความชำนาญ

4.4 สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องวัดความเข้มแสง

จากคุณสมบัติของเซนเซอร์ LDR ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 นำมาประยุกต์ใช้งานสร้างเป็นเครื่องวัดความเข้มแสง โดยเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 และเซนเซอร์ LDR แล้วทำการประมวลผลเก็บข้อมูลที่อ่านได้ไว้ในหน่วยความจำหรือส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 เพื่อทำการแสดงค่านั้น จากการทดลองการเปรียบเทียบเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน

การทำวิจัยนี้สิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงคือขั้นตอนการปรับเทียบเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นเพื่อให้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด จึงต้องศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้เข้าใจอย่างรวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ต้องทำด้วยความละเอียดรอบคอบไม่ว่าจะเป็นการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์, การต่ออุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ เป็นต้น

4.5 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดความเข้มแสง

การทำวิจัยนี้ทำให้เราได้เครื่องวัดความเข้มแสงที่มีราคาถูกกว่าท้องตลาด โดยราคาเครื่องวัดความเข้มแสงทั่วไปราคาเริ่มต้นที่ 2,000 บาท ถึง 50,000 บาท ส่วนเครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นนี้มีราคาเพียง 450 บาท เท่านั้น เครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นมานั้นมีย่านการวัดอยู่ในช่วง 0-1000 lx จากการทดลองในช่วง

0-50 lx มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 30% ในช่วง 50-100 lx มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% ในช่วง 100-1000 lx มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2% ซึ่งในช่วงการวัดที่ 0-50 lx เป็นช่วงที่ไม่ค่อยได้ใช้งานในสถานประกอบการ ช่วงการใช้งานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 100-1000 lx

จากการทดลองจะพบว่าในช่วงที่ความเข้มแสงต่ำๆ (0-100 lx) นั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง อาจแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการแบ่งช่วงการปรับเทียบออกเป็น 2 ช่วง โดยแบ่งช่วงแรกมีค่าตั้งแต่ 0 -100 lx ช่วงที่สองมีค่าตั้งแต่ 100-1000 lx ซึ่งอาจจะทำให้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมาค่าน้อยลง เครื่องวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นมีบรรจุภัณฑ์ที่ไม่สวยงามซึ่งผู้ที่สนใจจะนำไปพัฒนาต่ออาจจะออกแบบเครื่องวัดความเข้มแสงที่มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาและแนวทางแก้ไขแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดความเข้มแสง

ปัญหา	แนวทางแก้ไข
1. ซื่อสินค้าไม่ตรงตามความต้องการ	ควรศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ก่อนสั่งซื้อสินค้าหรือสอบถามผู้มีประสบการณ์
2. ในขั้นตอนการทดลองวางตำแหน่งของเครื่องวัดคลาดเคลื่อน	ควรกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนไว้
3. สถานที่ทดลองแคบเกินไปทำให้ตำแหน่งการวัดหรือมุมในการวัดมีขีดจำกัด	หาสถานที่ที่กว้างและเหมาะสมกับการทดลอง
4. การเขียนโปรแกรมยังขาดความชำนาญ	ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมและปฏิบัติจนเกิดความชำนาญ
5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหาย เช่น ตัวต้านทานไหม้ เป็นต้น	เนื่องจากใช้ตัวต้านทานที่มีค่าต่ำ และจ่ายไฟให้กับตัวต้านทานสูงเกินไปจึงเกิดการไหม้ ดังนั้นควรจ่ายไฟให้เหมาะสมกับความต้องการของวงจรที่เราได้ทำการออกแบบ
4. การบัดกรีอุปกรณ์ไม่เหมาะสมเนื่องจากเกิดรูอากาศระหว่างการบัดกรี จึงทำให้ช่วงระยะเวลาการใช้งานสั้นลง	เนื่องจากขาดความชำนาญในการบัดกรี จึงควรปฏิบัติจนเกิดความชำนาญ

4.6 สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับเสียง

จากการนำอุปกรณ์ตรวจวัดเสียง (Sound Sensor) มาวัดระดับความดังเสียงจะพบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนมากจึงทำให้ต้องมีการปรับเทียบใหม่เพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดซึ่งการปรับเทียบนั้นมีขั้นตอนการทดลองเริ่มจากหาแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Sound Generator เป็นโปรแกรมควบคุมความถี่และใช้ลำโพงเป็นตัวควบคุมระดับเสียง จากนั้นทำการวัดระดับเสียงที่ระดับเสียงต่างๆ

แล้วนำค่าระดับเสียงที่ได้ไปหาสมการการเปรียบเทียบ แล้วทำการทดลองวัดระดับเสียงหลักการเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

การทำวิจัยนี้สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการสร้างเครื่องวัดระดับเสียงคือขั้นตอนการเปรียบเทียบเครื่องวัดระดับเสียงที่สร้างขึ้นให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด ซึ่งต้องศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ประกอบด้วย การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดเสียงและการต่อวงจร เป็นต้น การทำวิจัยครั้งนี้ทำให้ได้เครื่องวัดระดับเสียงที่มีราคาถูกกว่าท้องตลาด โดยราคาเครื่องวัดระดับเสียงราคาเริ่มต้นที่ประมาณ 8,000 บาท ถึง 500,000 บาท ส่วนเครื่องวัดระดับเสียงที่สร้างขึ้นนี้มีราคาเพียง 2,500 บาท เท่านั้น

4.7 ปัญหาและแนวทางแก้ไขในออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับเสียง

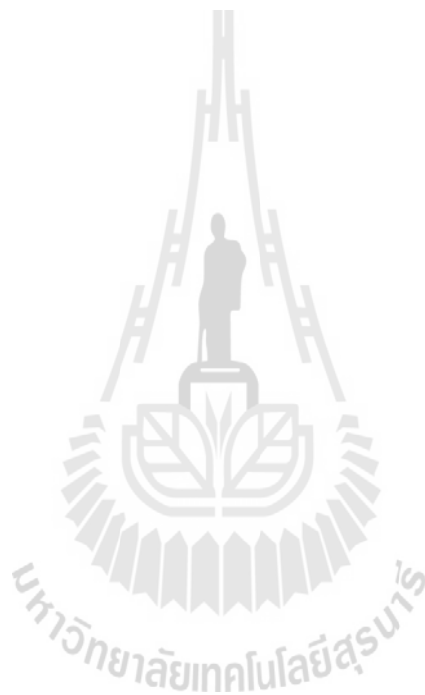
เครื่องวัดระดับเสียงมีช่วงการวัดระดับเสียงอยู่ในช่วง 50-100 dB ช่วงความถี่ 50 - 8000 Hz จากการทดลองในช่วงความถี่ 50-400 Hz มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ในช่วงความถี่ 500-900 Hz มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% และในช่วงความถี่ 1000-8000 Hz มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 65%

จากการทดลองจะพบว่าในช่วงที่ความถี่สูงๆ จะเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ความถี่ต่ำๆ และความถี่ผสม เนื่องจากนำค่าที่ความถี่ผสมมาหาสมการการเปรียบเทียบ ซึ่งถ้าหากรู้ช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานก็สามารถหาสมการการเปรียบเทียบใหม่ได้โดยวัดค่าความถี่ที่ต้องการใช้งานแล้วนำค่าที่วัดได้นั้น ไปหาสมการการเปรียบเทียบใหม่ จึงทำให้ค่าความผิดพลาดในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานมีค่าน้อยลง เครื่องวัดระดับเสียงที่สร้างขึ้นมีรูปร่างบรรจุภัณฑ์ที่ไม่สวยงามซึ่งผู้ที่สนใจจะนำไปพัฒนาต่ออาจจะออกแบบเครื่องวัดระดับเสียงให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาและแนวทางแก้ไขแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไขการออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับเสียง

ปัญหา	แนวทางแก้ไข
1.ซื้อสินค้าไม่ตรงตามความต้องการ	ควรศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ก่อนสั่งซื้อสินค้าหรือถามผู้มีประสบการณ์
2.ในขั้นตอนการทดลองการวางตำแหน่งของเครื่องวัดคลาดเคลื่อนบ้างบางครั้ง	ควรกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนไว้
3.ควบคุมเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจาสภาพแวดล้อมค่อนข้างยาก	หาสถานที่ที่เหมาะสมกับการทดลอง เช่น ห้องอัดเสียง เป็นต้น
4.ระดับเสียงที่ความถี่สูงๆ มีระดับความดังที่เบาทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ถึง 90 dB	หาโปรแกรมกำเนิดเสียงที่ดีกว่าเดิมหรือใช้ลำโพงที่มีระดับความดังสูงๆ
5.การเขียนโปรแกรมยังขาดความชำนาญ	ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมและปฏิบัติจนเกิดความชำนาญ
6.อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหาย เช่น	เนื่องจากใช้ตัวต้านทานที่มีค่าต่ำ และจ่ายไฟ

ตัวต้านทานใหม่ เป็นต้น	ให้กับตัวต้านทานสูงเกินไปจึงเกิดการไหม้ ดังนั้นควรจ่ายไฟให้เหมาะสมกับความต้องการของวงจรที่เราได้ทำการออกแบบ
7.การบัดกรีอุปกรณ์ไม่เหมาะสมเนื่องจากเกิดรูอากาศระหว่างการบัดกรี จึงทำให้ช่วงระยะเวลาในการใช้งานสั้นลง	เนื่องจากขาดความชำนาญในการบัดกรี จึงควรปฏิบัติจนเกิดความชำนาญ



บรรณานุกรม

1. ACGIH - Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs), 1999
2. ACGIH - Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs), 2006
3. Ergonomics Guides - American Industrial Hygiene Journal : Vol. 32, August 1971.
4. International Organization for Standardization, Hot environment – Estimation of heat stress on working man, based on the WBGT – index (wet bulb globe temperature), ISO7243 : 1989
5. U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, *OSHA Technical Manual Section III*, www.osha.gov/dts/osta/otm_iii/otm_iii_4.html เมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2549
6. คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สรีรวิทยา , 2539
7. รศ. ดร. วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์ มหาวิทยาลัยมหิดล เสนอแนะการตรวจวัดความร้อน แสง และเสียง ตามกฎหมาย, 2549
8. สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน คู่มือการตรวจวัดและประเมินสภาพแวดล้อมด้านกายภาพ, 2545
9. Illuminating Engineering Society of North America *IES Lighting Handbook (1981 Reference Volume)*, 1981
10. Occupational Safety & Health Administration . U.S. Department of Labor *Regulations (Standards – 29 CFR) Occupational noise exposure. - 1910.95*
11. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ เอกสารการสอนชุดวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมพื้นฐาน หน่วยที่ 9 – 15 , 2541
12. นายณัฐชยวัศ สงวนไชยภักดิ์ สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน เอกสารแนวทางการปฏิบัติตามมาตรฐานสากล วิธีการคำนวณ และการใช้โปรแกรมคำนวณ สำหรับการประเมินผลสภาพแวดล้อมการทำงานเกี่ยวกับเสียง, 2549
13. รศ. ดร. วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์ มหาวิทยาลัยมหิดล เสียงและโครงการอนุรักษ์การได้ยิน (II) ,วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมปีที่ 9, 2542
14. รศ. สราวุธ สุธรรมมาสา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช การจัดการมลพิษทางเสียงจากอุตสาหกรรม (Industrial Noise Pollution Management), 2547
15. “ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเซนเซอร์ SHT15” วิธีสืบค้นวัสดุสารสนเทศ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.sensirion.com> (วันที่ค้นข้อมูล : 25 ธันวาคม 2553)
16. เสกสิทธิ์ คำชมภู “เทคโนโลยีอุปกรณ์ เซนเซอร์ DS18B20” : บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
17. “เครื่องวัดความร้อน (Thermal environment monitor)” : บริษัท อินโนเวทีฟ อินสทรูเมนต์ จำกัด

18. เอกชัย มะการ “เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino” : บริษัท อีทีที จำกัด.
19. สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน “การตรวจวัดสภาพความร้อน (Hot Environment Measurement)”
20. “ข้อมูลเฉพาะของเครื่องวัดความร้อน (QUESTemp°34)” วิธีสืบค้นวัสดุสารสนเทศ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.envirorentals.com/PDF/2011_print.pdf (วันที่ค้นข้อมูล : 3 เมษายน 2554)
21. เอกชัย มะการ “เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino.” : บริษัท อีทีที จำกัด.
22. เอกชัย มะการ “เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino.” บริษัท อีทีที จำกัด.
23. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาศาสตร์สุขภาพ เอกสาร “การสอนชุดวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมพื้นฐาน หน่วยที่ 9 – 15”, 2541
24. สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน คู่มือ “การตรวจวัดและประเมินสภาพแวดล้อมด้านกายภาพ” , 2545
25. นายณัฐชยวัศ สงวนไชยภฤณี สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน เอกสาร “แนวทางการปฏิบัติตามมาตรฐานสากล วิธีการคำนวณ และการใช้โปรแกรมคำนวณ สำหรับการประเมินผลสภาพแวดล้อมการทำงานเกี่ยวกับเสียง”, 2549
26. รศ. ดร. วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์ มหาวิทยาลัยมหิดล “เสียงและโครงการอนุรักษ์การได้ยิน (II)”, วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมปีที่ 9, 2542
27. รศ. สรวุฑ สุธรรมมาสา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช “การจัดการมลพิษทางเสียงจากอุตสาหกรรม (Industrial Noise Pollution Management)”, 2547

ภาคผนวก ก

ก.1 การใช้งานเครื่องวัดความร้อน

1. สวิตช์ใช้ในการ เปิด - ปิด เครื่องวัดความร้อน อยู่ด้านข้างของกล่องอเนกประสงค์ ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 สวิตช์ เปิด - ปิด เครื่องวัดความร้อน

2. เติมน้ำกลั่นลงใน กระเปาะเปียก ปริมาณ $\frac{3}{4}$ ของภาชนะบรรจุ ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 ช่องเติมน้ำกลั่นสำหรับกระเปาะเปียก

3. หน้าจอ LCD ขนาดใหญ่ เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ โดยที่

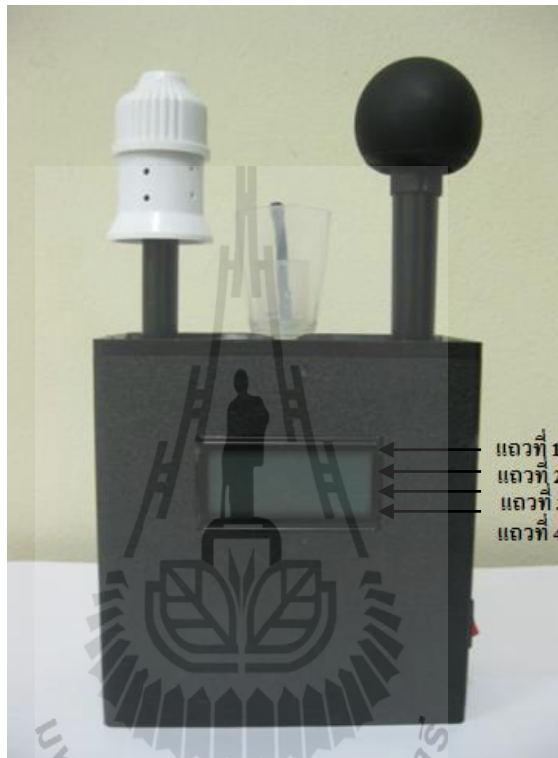
แถวที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด GLOBE: WB:

แถวที่ 2 แสดงพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด DB: RH:

แถวที่ 3 WBGTi (WBGT Indoor)

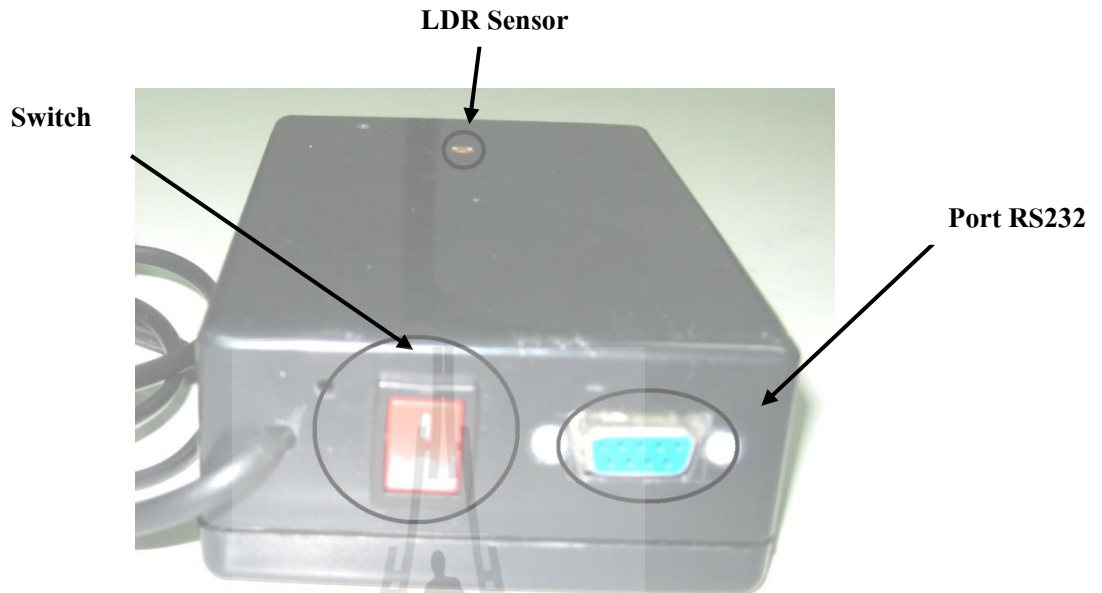
แถวที่ 4 WBGT_o (WBGT Outdoor)

ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 หน้าจอ LCD เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้

ก.2 การใช้งานเครื่องวัดแสง



รูปที่ ก.4 เครื่องวัดแสงที่สร้างขึ้น

ขั้นตอนการใช้งาน

1. ต่อสายใช้งาน



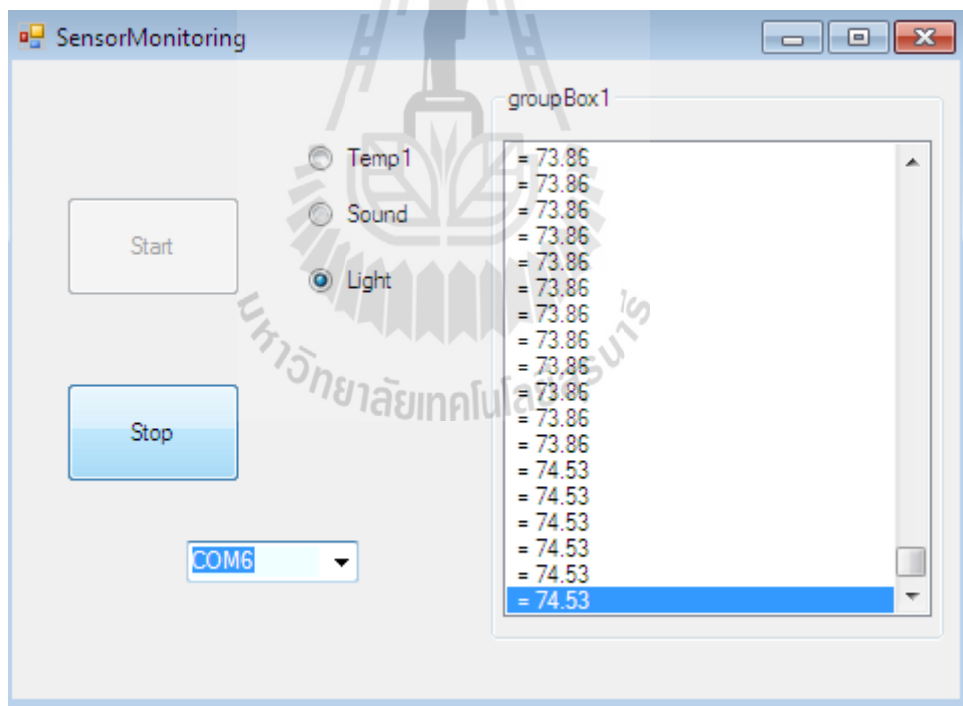
รูปที่ ก.5 การเชื่อมต่อขั้วสายเพื่อใช้งาน

2. กดสวิตช์



รูปที่ ก.6 สวิตช์ควบคุมการทำงาน

3. เปิดโปรแกรมเพื่อดูค่า



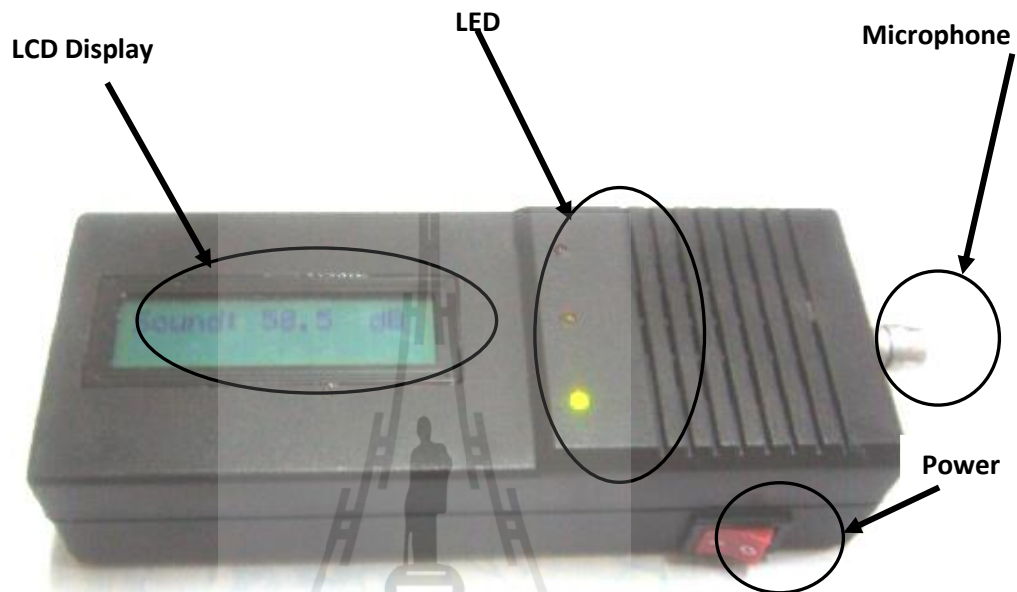
รูปที่ ก.7 GUI สำหรับแสดงผลค่าการตรวจวัด

ก.3 ส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียงและขั้นตอนการใช้งาน

ก.3.1 เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor ที่แสดงผลผ่านจอ LCD และหลอดไฟ LED

- ส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor

เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor ที่แสดงผลผ่านจอ LCD และหลอดไฟ LED มีส่วนประกอบภายนอกดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor

- ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor

1. กดสวิตช์ On เพื่อเริ่มใช้งานดังรูปที่ ก.9



รูปที่ ก.9 สวิตช์ควบคุม On เริ่มการทำงาน

2. แสดงผลผ่านจอ LCD และหลอดไฟ LED ดังรูปที่ ก.10 เมื่อทำการวัดระดับเสียง



รูปที่ ก.10 ส่วนแสดงผลผ่าน LCD และ หลอดไฟ LED

3. กดสวิตซ์ Off เพื่อหยุดการทำงานดังรูปที่ ก.11

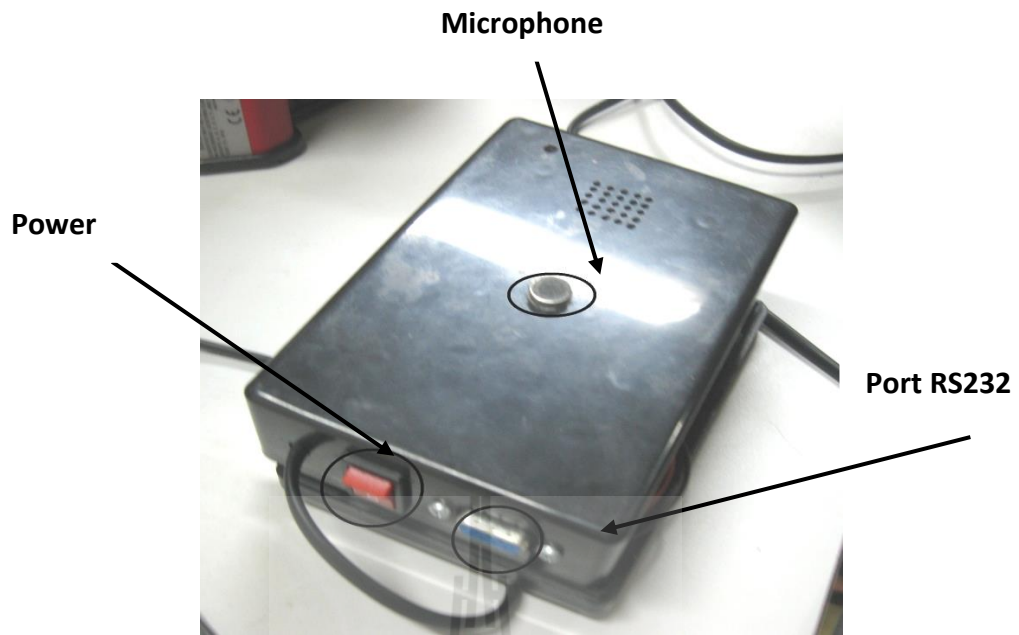


รูปที่ ก.11 สวิตซ์ควบคุม Off หยุดการใช้งาน

ก.3.2 เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor ที่แสดงผลผ่าน RS232

- ส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor

เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor ที่แสดงผลผ่าน RS232 มีส่วนประกอบภายนอกดังรูปที่ ก.12



รูปที่ ก.12 อุปกรณ์ภายนอกของเครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor ที่แสดงผลผ่าน RS232

ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดระดับเสียง Sound Sensor

1. ต่อสายใช้งาน ดังรูปที่ ก.13 และรูปที่ ก.14 ตามลำดับ



รูปที่ ก.13 ช่องต่อ RS232



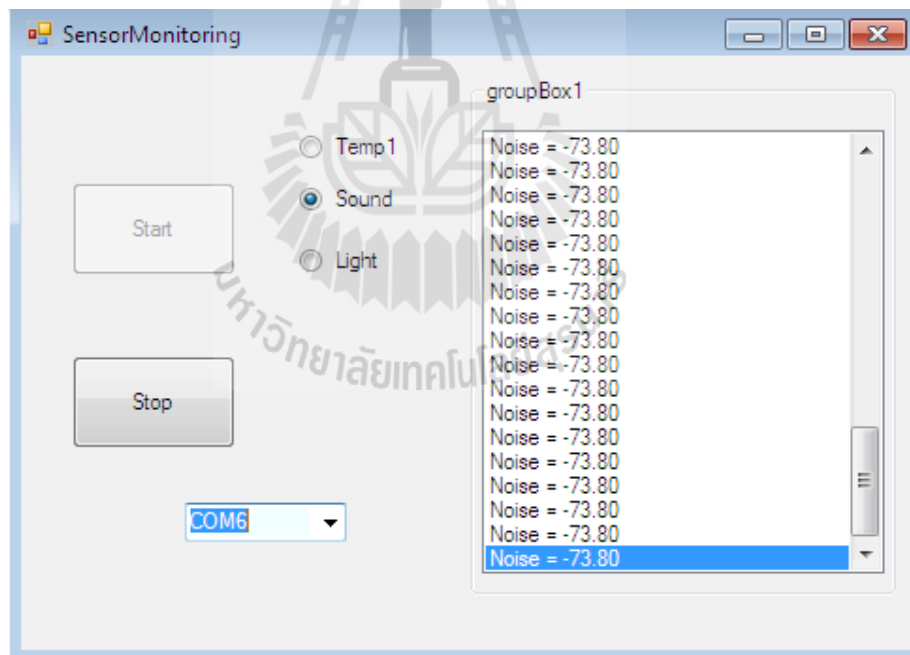
รูปที่ ก.14 ต่อสาย RS232

2. กดสวิตช์ On ดังรูปที่ ก.15



รูปที่ ก.15 กดสวิตช์ On

3. ดูค่าผ่านโปรแกรม SensorMonitoring ดังรูปที่ ก.16



รูปที่ ก.16 ดูค่าผ่านโปรแกรม SensorMonitoring

ภาคผนวก ข
ผลผลิตจากงานวิจัย

งานวิจัยนี้ มีผลผลิต ดังต่อไปนี้

บทความวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์, “การสร้างเครื่องตรวจวัดระดับความเข้มแสงโดยใช้เซนเซอร์วัดแสงชนิด LDR”, **สัมมนาวิชาการสัปดาห์ความปลอดภัยในการทำงานแห่งชาติครั้งที่ 25**, 7 – 9 กรกฎาคม 2554, กรุงเทพมหานคร
- [2] เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์, “การสร้างเครื่องตรวจวัดระดับเสียงโดยใช้เซนเซอร์วัดเสียง”, **สัมมนาวิชาการสัปดาห์ความปลอดภัยในการทำงานแห่งชาติครั้งที่ 25**, 7 – 9 กรกฎาคม 2554, กรุงเทพมหานคร
- [3] Kiattisak Batsungnoen, and Thanatchai Kulworawanichpong, “Heat Stress Monitor by using Low-Cost Temperature and Humidity Sensors”, **World Academy of Science, Engineering and Technology**, Vol. 71, pp. 415 – 419, 2012

- [1] เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน และ ธนัตชัย กุลวรรณิขพงษ์, “การสร้างเครื่องตรวจวัดระดับความเข้มแสงโดยใช้เซนเซอร์วัดแสงชนิด LDR”, สัมมนาวิชาการสัปดาห์ความปลอดภัยในการทำงานแห่งชาติครั้งที่ 25, 7 – 9 กรกฎาคม 2554, กรุงเทพมหานคร

1/10

การสร้างเครื่องตรวจวัดระดับความเข้มแสงโดยใช้เซนเซอร์วัดแสงชนิด LDR

เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน¹ และ ธนัตชัย กุลวรรณิขพงษ์²
 สาขาวิชาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาแพทยศาสตร์¹
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์²
 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
 kiattisak@sut.ac.th , thanatch@sut.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องวัดแสงที่มีราคาถูกที่มีความสามารถในการวัดระดับความเข้มแสงได้อย่างแม่นยำและมีค่าคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดต่ำ โดยใช้เซนเซอร์วัดแสงชนิด LDR Sensor ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ค่าการตรวจวัดส่งผ่านทางพอร์ต RS232 หรือ LED แสดงสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้โปรแกรม Sensor Monitoring ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก โปรแกรม Microsoft Visual C# อ่านค่าระดับความเข้มแสงจากเครื่องวัดระดับความเข้มแสง แสดงผลการตรวจวัดออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดแสงที่สร้างขึ้นมากับเครื่องวัดแสงที่ได้มาตรฐาน ที่ระดับความเข้มแสง 0 ถึง 1000 ลักซ์

ผลการศึกษา พบว่าที่ระดับความเข้มแสง 0 ถึง 60 ลักซ์ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดเฉลี่ยเท่ากับ 12.95 เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.77 ที่ระดับความเข้มแสงมากกว่า 60 ถึง 1000 ลักซ์ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.00 ที่ระดับความเข้มแสงมากกว่า 100 ถึง 1000 ลักซ์ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.43 เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทุกช่วงของการตรวจวัดเท่ากับ 3.35 เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.99 เครื่องวัดระดับความเข้มแสงที่สร้างขึ้นนี้สามารถวัดผลแสดงผลและบันทึกผลแบบต่อเนื่อง (Real Time) ได้ รวมทั้งมีต้นทุนในการสร้างประมาณ 1000 บาท ซึ่งเป็นราคาที่ต่ำกว่าเครื่องตรวจวัดระดับความเข้มแสงที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด

คำสำคัญ: แสง, เครื่องวัดระดับความเข้มแสง, เซนเซอร์วัดแสง, การตรวจวัดระดับความเข้มแสง

- [2] เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์, “การสร้างเครื่องตรวจวัดระดับเสียงโดยใช้เซนเซอร์วัดเสียง”, สัมมนาวิชาการสัปดาห์ความปลอดภัยในการทำงานแห่งชาติครั้งที่ 25, 7 – 9 กรกฎาคม 2554, กรุงเทพมหานคร

1/9

การสร้างเครื่องตรวจวัดระดับเสียงโดยใช้เซนเซอร์วัดเสียง

เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน¹ และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์²

สาขาวิชาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาแพทยศาสตร์¹

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์²

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

kiattisak@sut.ac.th , thanatch@sut.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องวัดระดับเสียงที่มีราคาถูกที่มีความสามารถในการวัดเสียงได้อย่างแม่นยำและมีความผิดพลาดของการตรวจวัดต่ำ โดยใช้เซนเซอร์วัดเสียง ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 มีวงจร LED แสดงสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้โปรแกรม Sensor Monitoring ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก โปรแกรม Microsoft Visual C# อ่านค่าระดับเสียงจากเครื่องวัดระดับเสียง พร้อมทั้งแสดงค่าผลการตรวจวัดออกมายังหน้าจอ LCD หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดเสียงที่สร้างขึ้นมากับเครื่องวัดเสียงที่ได้มาตรฐาน ที่ความดังเสียง 50 เดซิเบล ถึง 100 เดซิเบล ที่ความถี่ 50 100 200 เฮิร์ต และที่ความถี่ผสม โดยใช้โปรแกรม Sound Generator จากผลการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ของการตรวจวัดที่ระดับเสียงที่ความถี่ 50 เฮิร์ตมีค่าเท่ากับ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 ที่ความถี่ 100 เฮิร์ต เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการตรวจวัดเท่ากับ 0.89 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.64 ที่ความถี่ 200 เฮิร์ต เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการตรวจวัดเท่ากับ 1.63 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76 และที่ความถี่ผสม เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการตรวจวัดเท่ากับ 1.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.79 เครื่องวัดระดับเสียงที่สร้างขึ้น สามารถแสดงผลการตรวจวัดแบบดิจิทัลและแสดงสีที่หลอดไฟ LED ให้ผู้ทำการตรวจวัดทราบระดับอันตรายของเสียงเป็น 3 ช่วง โดย สีเขียวแสดงระดับเสียงระหว่าง 0 ถึง 85 เดซิเบล สีเหลืองแสดงระดับเสียงสูงกว่า 85 ถึง 90 เดซิเบล และ สีแดงแสดงระดับเสียงสูงกว่า 90 เดซิเบลขึ้นไป ต้นทุนในการสร้างเครื่องตรวจวัดระดับเสียงมีต้นทุนในการสร้างประมาณ 3,000 บาท ซึ่งเป็นต้นทุนที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับเครื่องวัดระดับเสียงที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

คำสำคัญ: เสียง, เครื่องตรวจวัดระดับเสียง, เซนเซอร์วัดเสียง, การตรวจวัดระดับเสียง

- [3] Kiattisak Batsungnoen, and Thanatchai Kulworawanichpong, “Heat Stress Monitor by using Low-Cost Temperature and Humidity Sensors”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 71, pp. 415 – 419, 2012

World Academy of Science, Engineering and Technology 71 2012

Heat Stress Monitor by using Low-Cost Temperature and Humidity Sensors

Kiattisak Batsungnoen, and Thanatchai Kulworawanichpong

Abstract—The aim of this study is to develop a cost-effective WBGT heat stress monitor which provides precise heat stress measurement. The proposed device employs SHT15 and DS18B20 as a temperature and humidity sensors, respectively, incorporating with ATmega328 microcontroller. The developed heat stress monitor was calibrated and adjusted to that of the standard temperature and humidity sensors in the laboratory. The results of this study illustrated that the mean percentage error and the standard deviation from the measurement of the globe temperature was 2.33 and 2.71 respectively, while 0.94 and 1.02 were those of the dry bulb temperature, 0.79 and 0.48 were of the wet bulb temperature, and 4.46 and 1.60 were of the relative humidity sensor. This device is relatively low-cost and the measurement error is acceptable.

Keywords—Heat stress monitor, WBGT, Temperature and Humidity Sensors.

I. INTRODUCTION

At present, the dangers from working in high-temperature working environment are considered to be a big problem to workers' health and sanitation [1, 2, 3]. It leads to many problems: fever, fatigue, dehydration, cramp, faint, and even death in some severe cases [4, 5]. Thus, The Ministry of Labor has given importance to the safety of workers working in high-temperature environment by issuing a ministerial regulation to regulate the administration and management in safety, health and working environment concerning heat, light and noise. This regulation stipulates that every company must check the heat, light and noise in their working environment at least once a year or every time there is a change in production process, machine or equipment. If the heat level is higher than the standard score specified, the company must find a way to control the heat to the safe level [6, 7]. However, current WBGT heat stress monitors are expensive, so it is difficult to measure environments and prevent dangers from working in time. We realized the significance of this problem; therefore, we developed a cheap WBGT heat stress monitor which can measure the heat level precisely, has low measurement errors, and can be made from materials available in Thailand. This monitor will be a viable alternative for companies to improve health, safety and working environment in the future. The wet bulb globe temperature (WBGT) index is the most widely used and accepted index for the assessment of heat stress in

K. Batsungnoen is with the School of Occupational Health and Safety, Institute of Medicine, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand. (e-mail: batsungnoen@hotmail.com).

T. Kulworawanichpong is with the School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand (e-mail: thanatch@sut.ac.th).

industry. It represents the heat stress to which an individual is exposed. The WBGT-index combines three measurements [3]:

- Natural wet-bulb temperature (t_{nw})
- Globe temperature (t_g)
- Air temperature (t_a)

The following illustrates the relationship between the different measurements.

Inside buildings and outside buildings without experiencing the effects of radiation from the sun:

$$WBGT_{indoor} = 0.7t_{nw} + 0.3t_g$$

Outside buildings with solar load, or where a radiant heat source is present indoors:

$$WBGT_{outdoor} = 0.7t_{nw} + 0.2t_g + 0.1t_a$$

The measurements are entered into the above the equations to obtain a WBGT value. The WBGT value is then compared to the reference values provided in the standard for the appropriate metabolic rate and state of acclimation of the worker.

II. MATERIALS AND METHODOLOGY

This paper describes the development of a cheap WBGT heat stress monitor which can measure the heat level precisely with low measurement error.

A. Study Design

This study was an experimental study for creating a WBGT heat stress monitor. This process connected SHT15 and DS18B20 temperature/humidity sensors to ATmega328 microcontroller [8]. The state of the microcontroller was shown on LED display circuit. Sensor Monitoring program created from Microsoft Visual C# then read out the temperature and humidity values from the WBGT heat stress monitor. The results could be seen on an LCD screen

B. Materials and Instrument

- Temperature / humidity sensors: SHT15
- Temperature / humidity sensors: DS18B20
- Microcontroller ATmega328
- LCD Display
- Microsoft Visual C# Program
- Sensor Monitoring Program
- Multi-purpose box (14cm high, 15cm wide, thick, 6.5cm).
- Copper metal sphere on a black opaque
- Standard Heat stress monitor WBGT