รลข.01 ทะเบียนข้อมูลเลขที่ ว. 41181

หนังสือรับรองการแจ้งข้อมูล

ลิขสิทธิ์

ออกให้เพื่อแสดงว่า

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ได้แจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ ประเภทงาน วรรณกรรม

ลักษณะงาน หนังสือ

ชื่อผลงาน ไซโครล็อกเกอร์ (Psychro logger)

ไว้ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา ตามคำขอแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ เลขที่ 363321

เมื่อวันที่ 9 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

ให้ไว้ ณ วันที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2561

ลงชื่อ.....

นายสุรภูมิ ตีระนันทน์

นักวิชาการพาณิชย์ชำนาญการพิเศษ

ปฏิบัติราชการแทนผู้อำนวยการสำนักลิขสิทธิ์

<u>หมายเหตุ</u> 1. เอกสารนี้มิได้รับรองความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

2. การเปลี่ยนแปลงรายการข้างต้น ให้ดูด้านหลัง

ไซโครล็อกเกอร์ (Psychro Logger)

จัดทำโดย

รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ

นายปรานต์ เมฆอากาศ

นายสุธรรม ชาวงิ้ว

นางสาวปาณิศา อ่อนดอกไม้

นางสาวหญิง ชูศรี

สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ธันวาคม พ.ศ. 2560

คำนำ

รายงานเล่มนี้เป็นรายงานเกี่ยวกับการออกแบบระบบตรวจวัดคุณสมบัติของอากาศชื้น ซึ่งจะมีการพัฒนารหัสโปรแกรมภายใต้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า Arduino IDE ควบคู่กับการใช้วัสดุอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ในการเชื่อมต่อเพื่อวัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น ซึ่งเนื้อหาภายในเล่มจะประกอบไปด้วยเนื้อหาในส่วนของทฤษฎีเกี่ยวกับอากาศชื้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติอากาศชื้น ตลอดจนการสร้างหรือการพัฒนาโปรแกรมตรวจวัดคุณสมบัติอากาศชื้นที่ควบคุมไปถึงเนื้อหาและรายละเอียดของการติดตั้งโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ Arduino IDE การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อสร้างกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าคุณสมบัติของอากาศชื้นดังกล่าว รวมไปถึงลักษณะและวิธีการใช้งานกล่องเครื่องมือนั้น ๆ ด้วย

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ต้องการศึกษาอย่างสูงที่สุด หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับทุกคำชี้แนะและขออภัยมา ณ ทีนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

ธันวาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และ “โครงการการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันไดจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย” ที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ

ธันวาคม พ.ศ. 2560

สารบัญ

คำนำ ..... **ก**

กิตติกรรมประกาศ ..... **ข**

สารบัญ ..... **ค**

สารบัญรูป ..... **จ**

สารบัญตาราง ..... **ช**

อักษรย่อและสัญลักษณ์ ..... **ซ**

การออกแบบระบบตรวจวัดคุณสมบัติอากาศชื้น **1**

1. อากาศชื้น 1
    - 1.1 ความดันบรรยากาศ (Standard atmosphere) 1
    - 1.2 ความดันไอ (Vapor pressure) 2
    - 1.3 ความดันไออิ่มตัว (Vapor saturation pressure) 2
    - 1.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) 2
    - 1.5 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) 3
    - 1.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) 3
    - 1.7 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) 4
    - 1.8 ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Specific volume of moist air) 4
    - 1.9 เอนทัลปีของอากาศชื้น (Enthalpy) 4
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติอากาศชื้น 5
3. โปรแกรมตรวจวัดคุณสมบัติอากาศชื้น 5
    - 3.1 การติดตั้งโปรแกรม Arduino 9
    - 3.2 เริ่มต้นการใช้งานเพื่อการพัฒนารหัสโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น 12

3.3 การทดลองการใช้งานอุปกรณ์ร่วมกับไลบรารี 15

3.4 การพัฒนารหัสโปรแกรม Arduino เพื่อการตรวจวัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น 20

3.5 การต่ออุปกรณ์วัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น 25

3.6 วิธีการใช้งานโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น 27

เอกสารอ้างอิง 30

ภาคผนวก 31

ภาคผนวก กรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น 31

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมอากาศชื้น....6
รูปที่ 2 หน้าเว็บเพจในส่วนของการดาวน์โหลดโปรแกรม....9
รูปที่ 3 หน้าเว็บเพจส่วนของการดาวน์โหลด....10
รูปที่ 4 หน้าต่างส่วนของการเริ่มติดตั้ง....10
รูปที่ 5 หน้าต่างของส่วนตัวเลือกติดตั้งโปรแกรม....11
รูปที่ 6 หน้าต่างการเลือกโฟลเดอร์ในการติดตั้ง....11
รูปที่ 7 โปรแกรมทำการติดตั้ง....12
รูปที่ 8 ข้อความที่แสดงเมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมเสร็จ....12
รูปที่ 9 เริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม Arduino....13
รูปที่ 10 หน้าต่างของโปรแกรม Arduino IDE....14
รูปที่ 11 เริ่มต้นการติดตั้งไลบรารี....14
รูปที่ 12 หน้าต่างของส่วนที่ทำการติดตั้งไลบรารี DHT22....15
รูปที่ 13 หน้าต่างของส่วนที่ทำการติดตั้งไลบรารี LiquidCrytal I2C....15
รูปที่ 14 เลือกโปรแกรมตัวอย่างของ LCD I^2C....16
รูปที่ 15 ชุดคำสั่งโปรแกรมทดลองของ LCD I^2C....17
รูปที่ 16 การเลือกรุ่นบอร์ดในการทดลอง....17
รูปที่ 17 การเลือกพอร์ทที่เชื่อมต่อกับบอร์ด....18
รูปที่ 18 การอัพโหลดโปรแกรมไปยังบอร์ดชุดทดลอง....18
รูปที่ 19 ข้องความที่แสดงยังโมดูล LCD....19
รูปที่ 20 โปรแกรมทดลองของเซนเซอร์ DHT22....19
รูปที่ 21 หน้าต่างแสดงผลของเซนเซอร์ DHT22....20
รูปที่ 22 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น....25
รูปที่ 23 แผนภาพการต่อวงจรของวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้วัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น....26
รูปที่ 24 การต่อวงจรของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้วัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น....26
รูปที่ 25 กล่องโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น....27
รูปที่ 26 ส่วนหน้าจอแสดงผล (1)....28
รูปที่ 27 ส่วนหน้าจอแสดงผล (2)....28
รูปที่ 28 ส่วนหน้าจอแสดงผล (3)....28

รูปที่ 29 ส่วนหน้าจอแสดงผล (4).....29

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 การคุณสมบัติอากาศชื้นจากความดันบรรยากาศ อุณหภูมิกระเปาะแห้งและเปียก.....5
ตารางที่ 2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมและอุปกรณ์วัดคุณสมบัติอากาศชื้น 7

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
h	เอนทัลปี	kJ/kg
H	ความสูงระดับพื้นดินเทียบกับระดับน้ำทะเล	m
P	ความดัน	bar
R	ค่าคงที่	
RH	ความชื้นสัมพัทธ์	%
T	อุณหภูมิ	°C
T′	อุณหภูมิ	K
ตัวกรีก	**ความหมาย**	
ν	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
ω	อัตราส่วนความชื้นของอากาศชื้น	kg_W/kg_{da}
ตัวห้อย	**ความหมาย**	
a	Air	
atm	Standard atmosphere	
da	Dry air	
db	Dry bulb	
dp	Dew point	
T	Temperature	
W	Water	
wb	Wet bulb	
WS	Saturated vapor	

การออกแบบระบบตรวจวัดคุณสมบัติอากาศชื้น

ในการคำนวณระบบที่มีอากาศชื้นมาเกี่ยวข้อง โดยนิยมใช้แผนภูมิไซโครเมตริกในการวิเคราะห์ ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ต้องทำการหาค่าคุณสมบัติจากแผนภาพใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข เช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียก เป็นต้น รวมทั้งยุ่งยากในการนำไปใช้ในวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและเก็บข้อมูล ซึ่งมีจำนวนมากและข้อมูลแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงควรทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอากาศชื้น เพื่อรองรับการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล ในบทนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คุณสมบัติอากาศชื้นโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อากาศชื้น

อากาศชื้น (Moist air) หรือบางครั้งเรียกว่า “อากาศเปียก” คือ อากาศที่มีไอน้ำรวมอยู่ด้วย โดยอากาศเปียกที่พบอยู่โดยทั่วไปนั้นสามารถยกตัวอย่างไปถึงสภาพอากาศก่อนฝนตกที่พบว่ามักจะทำให้รู้สึกอบอ้าวและอึดอัด เพราะว่าน้ำหรือเหงื่อที่ผิวหนังไม่สามารถระเหยออกไปได้ตามปกติ เนื่องมาจากการมีปริมาณไอน้ำในอากาศมากเกินไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศแห้งสามารถส่งผลต่อความดันอากาศได้เหมือนกับโมเลกุลของสารอื่น ๆ ดังนั้นในความเป็นจริงแล้วอากาศจึงไม่ใช่ก๊าซอุดมคติ ทั้งนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้วิธีการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตร ภายใต้สภาวะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เงื่อนไขของก๊าซอุดมคติ แต่ในกรณีการคำนวณเกี่ยวกับสมบัติทางอากาศที่ความดันไม่เกิน 3 bar สามารถสมมุติให้อากาศเป็นก๊าซอุดมคติได้ ทั้งนี้จะมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอากาศชื้นดังนี้

1.1 ความดันบรรยากาศ (Standard atmosphere)

ความดันบรรยากาศ หรือความดันอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลต่าง ๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศด้วย ซึ่งความดันบรรยากาศที่ความสูงระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ 14 °C จะมีค่าความดันบรรยากาศ 101.325 kPa โดยเมื่อมีการเพิ่มระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น จะพบว่าค่าความดันบรรยากาศนั้นมีค่าลดน้อยลง อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าความดันบรรยากาศมีค่าลดลงเช่นกัน ซึ่งในที่นี้จะทำการคำนวณหาความดันบรรยากาศที่แปรผันตามความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ดังแสดงในสมการที่ 1 [1]

$$P_{atm} = 101.325[1-(2.25577\times10^{-5}H)]^{5.2559} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)

H คือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (m)

1.2 ความดันไอ (Vapor pressure)

ความดันไอ ในที่นี้หมายถึงแรงดันย่อยที่เกิดจากไอน้ำ ทั้งนี้ความดันไอหมายถึงความดันที่มีความสามารถที่จะทำให้สารเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ มีความสัมพันธ์กับจุดเดือด กล่าวคือ ณ อุณหภูมิต่างกัน ความดันไอของของสารชนิดหนึ่งจะมีค่าแตกต่างกัน นั่นคือที่อุณหภูมิสูงความดันไอของของสารจะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากโมเลกุลมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น โมเลกุลจึงมีโอกาสเป็นไอได้มากขึ้น ซึ่งในการเขียนโปรแกรมการคำนวณหาค่าความดันไอสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความดันไออิ่มตัวและความชื้นสัมพัทธ์ ดังสมการที่ 2 [1]

$$P_W = P_{WS}(RH/100) \qquad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ P_W คือ ความดันไอ (kPa)

P_{WS} คือ ความดันไออิ่มตัว (kPa)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

1.3 ความดันไออิ่มตัว (Vapor saturation pressure)

ความดันไออิ่มตัว ในที่นี้หมายถึงแรงดันของไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3 [1]

$$P_{WS} = e[(C_1/T_{db}) + C_2 + C_3 T_{db} + C_4 T_{db}^2 + C_5 T_{db}^3 + C_6 \ln(T_{db})] \qquad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ $C_1 = -5.8002206 \times 10^3$

$C_2 = 1.3914993$

$C_3 = -4.8640239 \times 10^{-2}$

$C_4 = 4.1764768 \times 10^{-5}$

$C_5 = -1.4452093 \times 10^{-8}$

$C_6 = 6.5459673$

1.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คือ อุณหภูมิของอากาศหรืออากาศชื้นที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์โดยตรง ซึ่งในขั้นตอนการวัดจะต้องวัดในขณะที่อากาศสามารถถ่ายเทได้อย่างสะดวก จึงจะได้ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้อง

1.5 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หมายถึง อุณหภูมิที่เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิ่มตัว และกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ (Condensate) ที่ความดันบรรยากาศคงที่ ตัวอย่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การตั้งแก้วน้ำเย็นไว้ และมีหยดน้ำมาเกาะที่ผิวแก้วด้านนอก เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศบริเวณแก้วน้ำเย็นต่ำกว่าจุดน้ำค้างและกลั่นตัวเกาะอยู่บนผิวแก้ว ในการคำนวณครั้งนี้จะทำการหาอุณหภูมิจุดน้ำค้างจากความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ดังแสดงในสมการที่ 4 [1]

$$T_{dp} = \frac{243.12\left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.62T_{db}}{243.12 + T_{db}}\right]}{17.62 - \left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.62T_{db}}{243.12 + T_{db}}\right]} \qquad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ T_{dp} คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (°C)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)

1.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature)

อุณหภูมิกระเปาะเปียกแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการระเหยของน้ำที่สภาวะอากาศหนึ่ง ๆ โดยทำการวัดด้วยการใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่คลุมหรือหุ้มด้วยผ้าที่เปียกน้ำ ซึ่งหากความชื้นในอากาศมีน้อยจะทำให้น้ำสามารถระเหยได้ง่าย จึงทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกมีค่าต่างกันมาก และในทางกลับกันหากความชื้นในอากาศมีมากจะทำให้น้ำระเหยได้ยาก ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งในการคำนวณครั้งนี้จะใช้สมการที่ 5 [1] ในการคำนวณ

$$T_{wb} = (aT_{db} + bT_{db})/(a + b) \qquad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ T_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)

T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)

a และ b คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณค่าจากความดันบรรยากาศ ซึ่ง $a = 0.000066P_{atm}$ และจากการคำนวณค่าจากความดันไอและอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่ง $b = 409.8P_W/(T_{dp} + 273.15)^2$

1.7 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio)

อัตราส่วนความชื้น บางครั้งเรียกว่า ความชื้นจำเพาะ หมายถึงมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง แต่ทั้งนี้อัตราส่วนความชื้น สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการของก๊าซสมบูรณ์และกฎของดาลตัน ดังสมการที่ 6 [1]

$$\omega = 0.621945[P_W / (P_{atm} - P_W)] \qquad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ ω คือ อัตราส่วนความชื้น (kg_W/kg_{da})

P_W คือ ความดันไอ (kPa)

P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)

1.8 ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Specific volume of moist air)

ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น คือ อัตราส่วนของปริมาตรของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 7 [1]

$$\nu_a = R_{da} T'_{db} [1 + (1.607858\omega)] / P_{atm} \qquad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ ν คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (m^3/kg_{da})

T'_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (K)

ω คือ อัตราส่วนความชื้น (kg_W/kg_{da})

R_{da} คือ ค่าคงที่ที่มีค่าเท่ากับ 0.287042 $kJ/kg_{da}\cdot K$

1.9 เอนทัลปีของอากาศชื้น (Enthalpy)

เอนทัลปีของอากาศชื้น หรือพลังงานความร้อนรวม เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในอากาศ อันเป็นผลรวมของเอนทัลปีของอากาศแห้งและไอน้ำที่อยู่ในอากาศ ทั้งนี้ค่าเอนทัลปีของอากาศชื้นสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 8 [1]

$$h_a = 1.006T_{db} + \omega(2{,}501.1 + 1.8057T_{db}) \qquad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ h_a คือ เอนทัลปีของอากาศชื้น (kJ/kg_{da})

T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)

ω คือ อัตราส่วนความชื้น (kg_W/kg_{da})

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติอากาศชื้น

ในการคำนวณระบบที่มีอากาศชื้นมาเกี่ยวข้อง โดยนิยมใช้แผนภูมิไซโครเมตริกในการวิเคราะห์ ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ต้องทำการหาค่าคุณสมบัติจากแผนภาพใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข เช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียก เป็นต้น รวมทั้งยุ่งยากในการนำไปใช้ในวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและเก็บข้อมูล ซึ่งมีจำนวนมากและข้อมูลแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงควรทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอากาศชื้น เพื่อรองรับการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คุณสมบัติอากาศชื้น โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE และมีเงื่อนไขเริ่มต้นการคำนวณ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db}) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเล (H) ดังแสดงสมการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและรายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Arduino IDE ดังแสดงในตารางที่ 1 และขั้นตอนการคำนวณในรูปที่ 1

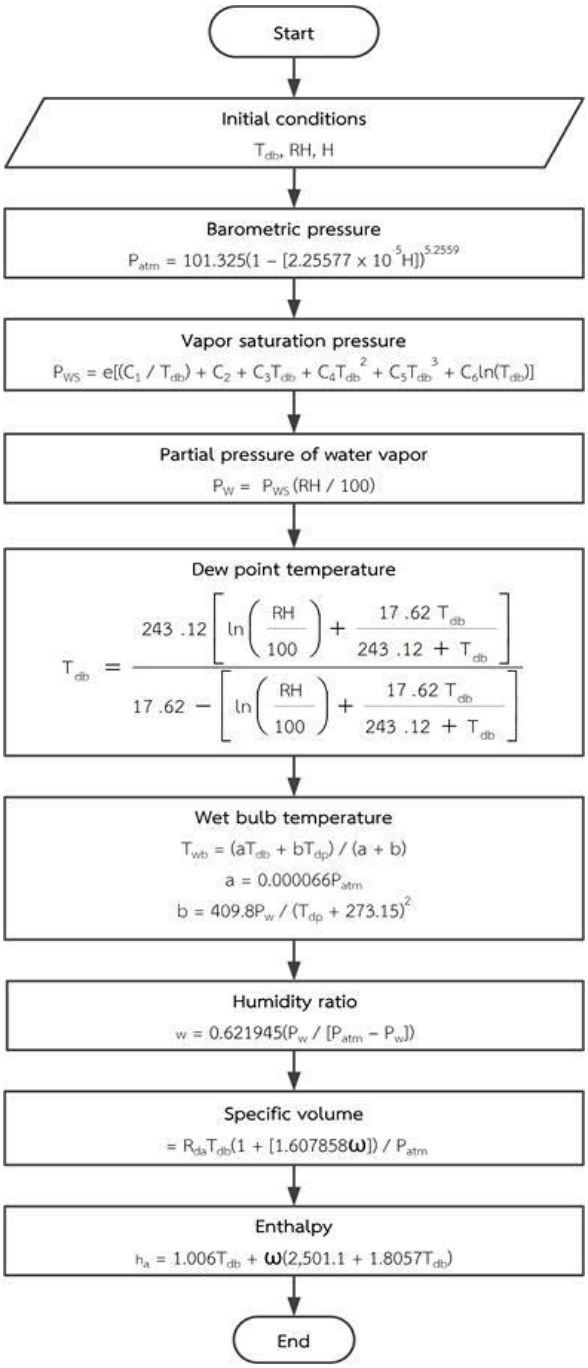
ตารางที่ 1 การคุณสมบัติอากาศชื้นจากความดันบรรยากาศ อุณหภูมิกระเปาะแห้งและเปียก

คุณสมบัติอากาศชื้น	สมการและคำสั่งที่ใช้ในแบบจำลอง
ความดันบรรยากาศ (P_{atm})	$101.325(1 - 2.25577 \times 10^{-5}\ H)^{5.2559}$
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{db})	$T_{db} = \dfrac{243.12\left[\ln\left(\dfrac{RH}{100}\right) + \dfrac{17.62T_{db}}{243.12 + T_{db}}\right]}{17.62 - \left[\ln\left(\dfrac{RH}{100}\right) + \dfrac{17.62T_{db}}{243.12 + T_{db}}\right]}$
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb})	$T_{wb} = (aT_{db} + bT_{dp}) / (a + b)$ $a = 0.000066P_{atm}$ $b = 409.8P_W / (T_{dp} + 273.15)^2$
อัตราส่วนความชื้น (ω)	$0.621945[P_W / (P_{atm} - P_W)]$
ปริมาตรจำเพาะ (ν_a)	$R_{da}T'_{db}[1 + (1.607858\omega)] / P_{atm}$
เอนทัลปี (h_a)	$1.006T_{db} + \omega(2{,}501.1 + 1.8057T_{db})$

3. โปรแกรมตรวจวัดคุณสมบัติอากาศชื้น

การพัฒนารหัสโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Arduino IDE ในการสร้างโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น ที่มีการรับค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db}) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (RH) และค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (H) ซึ่งจะ

แสดงผลบนจอ LCD โดยผ่านการประมวลผลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino จะมีรายละเอียดในการคำนวณเพื่อหาค่าความดันบรรยากาศ (P_{atm}) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{db}) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) อัตราส่วนความชื้น (ω) ปริมาตรจำเพาะ (ν_a) และเอนทัลปี (h_a) ของอากาศชื้นดังแสดงในแผนผังรูปที่ 1

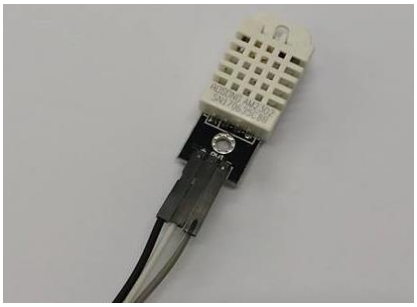


รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมอากาศชื้น

ในการพัฒนาโปรแกรมและอุปกรณ์วัดคุณสมบัติอากาศชื้นในครั้งนี้ จะใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการรับค่าข้อมูลขาเข้าและแสดงผลของข้อมูลที่ต้องการดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งจะมีรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมและอุปกรณ์วัดคุณสมบัติอากาศชื้น

อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega R3	ประมวลผลข้อมูลที่รับได้จากเซ็นเซอร์	- แรงดันไฟฟ้าภายใน 5 V - แรงดันไฟฟ้าเข้า 7-12 V - Digital Pin 54 ขา - Analog Pin 16 ขา - สัญญาณนาฬิกา 16 MHz
2. จอแอลซีดี (LCD) ขนาด 20 x 4	ทำหน้าที่แสดงผลของข้อมูลตามคำสั่งจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	- แรงดันไฟฟ้าเข้า 5 V - จำนวนตัวอักษร 20 ตัว 4 บรรทัด

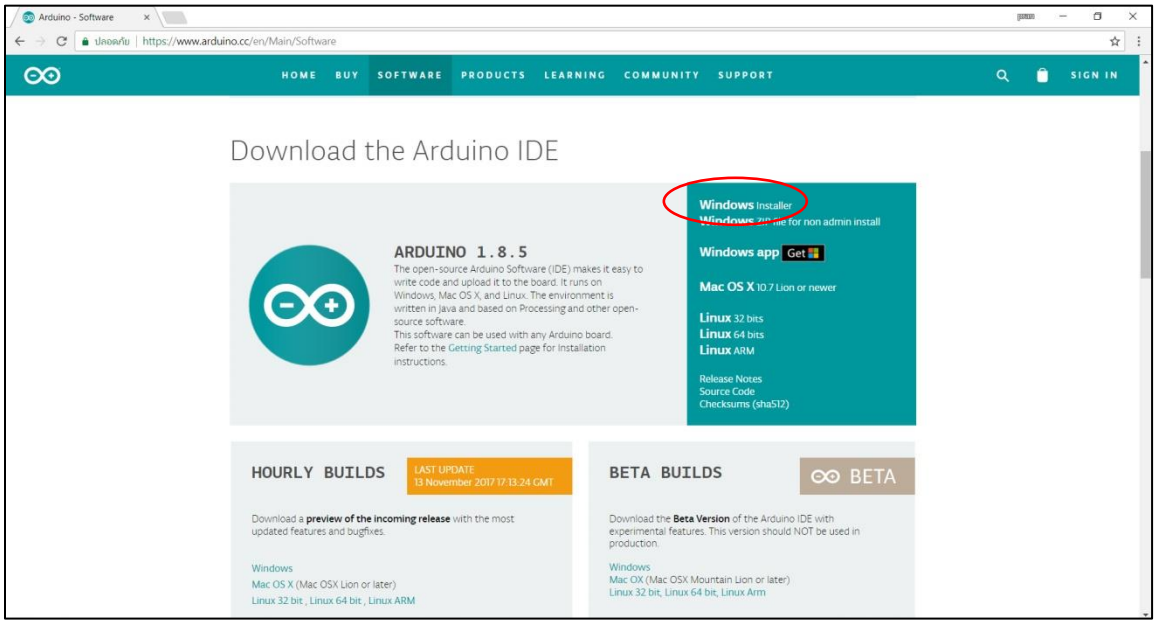
อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
3. LCD adapter I^2C	ทำหน้าที่ช่วยเสริมการใช้งานของโมดูล LCD ในด้านการลดจำนวนขาต่อสัญญากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	- แรงดันไฟฟ้าเข้า 5 V
4. DHT22 (AM2302) 	เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและค่าความชื้นสัมพัทธ์	- แรงดันไฟฟ้าเข้า 3.3-6 V - ช่วงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ 0 ถึง 100% (±2%) - ช่วงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่วัดได้ -40 ถึง 80 °C (±0.5 °C)

ในส่วนของการพัฒนารหัสโปรแกรมและอุปกรณ์เพื่อการวัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้นในครั้งนี้ จะเลือกใช้โปรแกรม Arduino ซึ่ง Arduino เป็นโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์และฮาร์ดแวร์ที่มีลักษณะเป็น Open source กล่าวคือสามารถดาวน์โหลดตัวโปรแกรมไปพัฒนาต่อยอดได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ซึ่งในปัจจุบันเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการประยุกต์ใช้รับส่งค่าสัญญาณจากเซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ โดยในส่วนของด้านการวัดทางพลังงานทดแทนต่าง ๆ ล้วนมีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้เซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งส่วนมากจะค่อนข้างมีราคาสูงเมื่อทำการซื้ออุปกรณ์หรือโปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดราคาค่าใช้จ่ายดังกล่าว เทคโนโลยี Arduino จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการสร้างโปรแกรมและอุปกรณ์ในการวัดค่าหรือประมวลผลทางข้อมูลต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น ดังนั้นในการพัฒนาโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของอากาศชื้นครั้งนี้ จึงได้ทำการนำ Arduino มาบูรณาการใช้ทั้งทางด้านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์และฮาร์ดแวร์ ซึ่งจะมีขั้นตอนการติดตั้ง การเริ่มต้นใช้งาน การทดลองใช้งานกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนการพัฒนารหัสโปรแกรมเพื่อใช้กับการวัดคุณสมบัติของอากาศชื้น ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การติดตั้งโปรแกรม Arduino

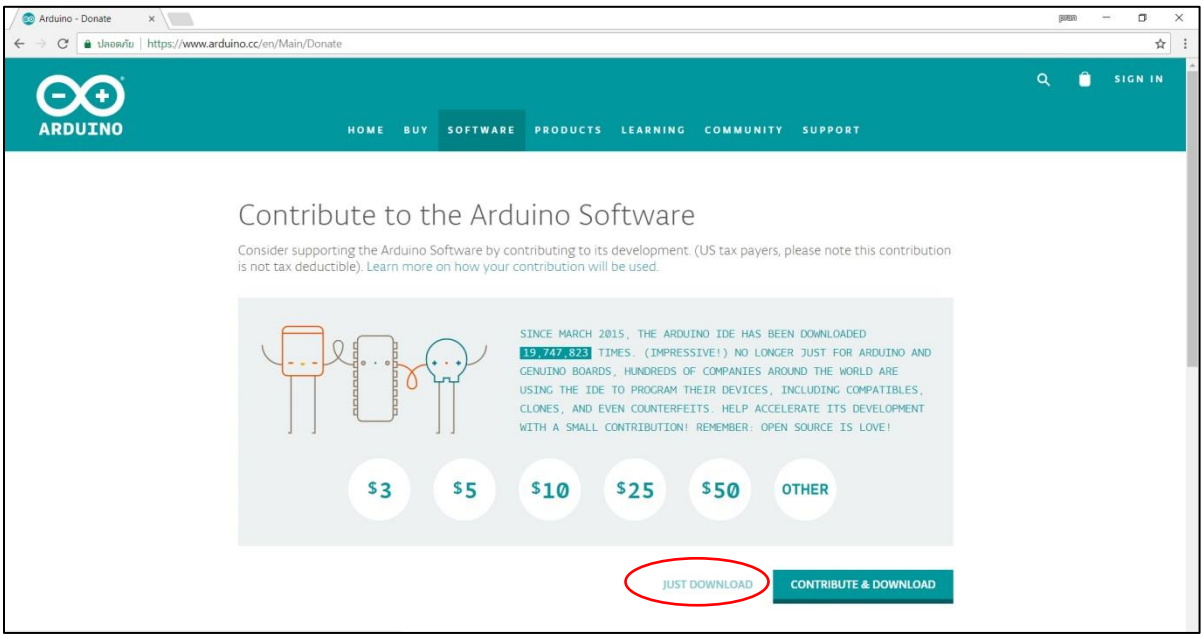
ในการติดตั้งโปรแกรม Arduino จะมีขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เข้าไปยังหน้าเว็บเพจของ Arduino “https://www.arduino.cc/en/Main/Software” แล้วทำการดาวน์โหลดโดยการคลิกเมาส์ไปยัง “Windows Installer” ดังรูปที่ 2



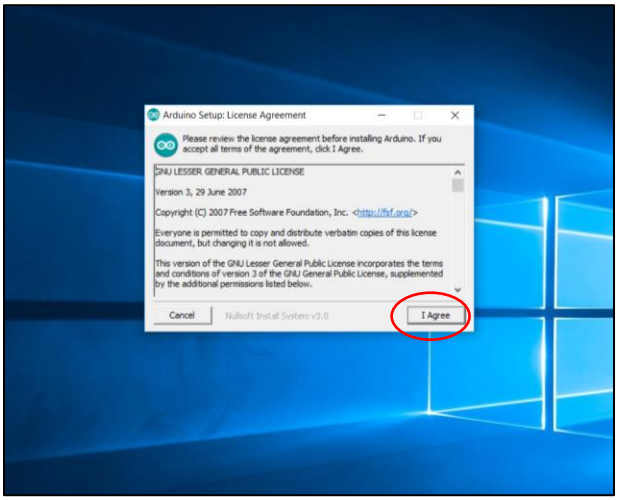
รูปที่ 2 หน้าเว็บเพจในส่วนของการดาวน์โหลดโปรแกรม

2) คลิกที่ไอคอน “JUST DOWNLOAD” ดังรูปที่ 3 ซึ่งหากต้องการดาวน์โหลดในแบบที่มีการบริจาคเงินให้แก่องค์กร ให้คลิก “CONTRIBUTE & DOWNLOAD”



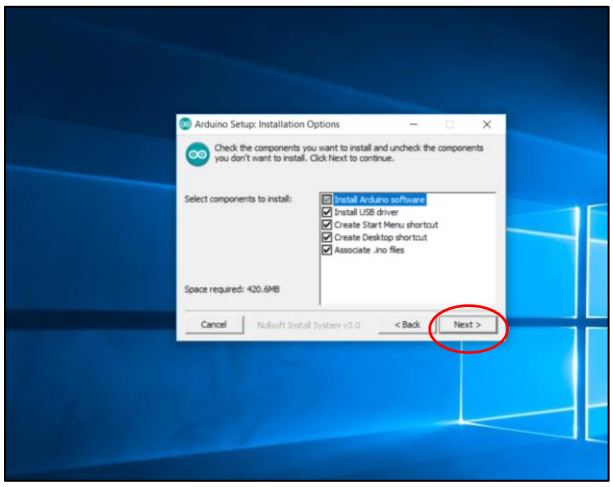
รูปที่ 3 หน้าเว็บเพจส่วนของการดาวน์โหลด

3) เมื่อดาวน์โหลดเสร็จแล้ว จะได้ไฟล์ที่ทำการดาวน์โหลดที่มีชื่อว่า “arduino-1.8.5-windows.exe” จากนั้นให้ทำการเปิดไฟล์และคลิกที่ไอคอน “I Agree” เพื่อทำการเริ่มติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งในส่วนที่นำมาแสดงตัวอย่างการติดตั้ง จะเป็นโปรแกรม Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.5 ดังรูปที่ 4



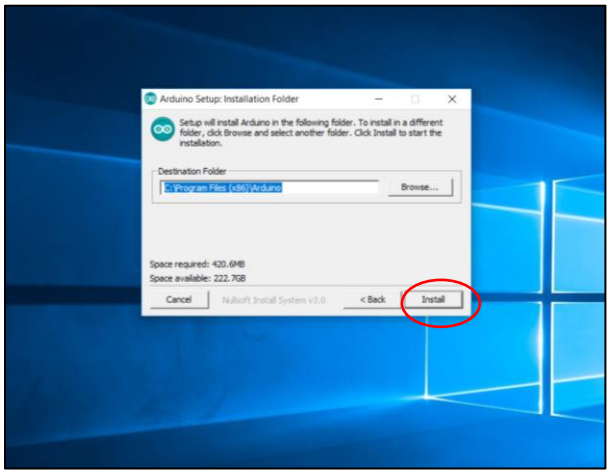
รูปที่ 4 หน้าต่างส่วนของการเริ่มติดตั้ง

4) คลิกที่ไอคอน “Next >“ เพื่อตอบตกลงในส่วนของขั้นตอนถัดไป ดังรูปที่ 5



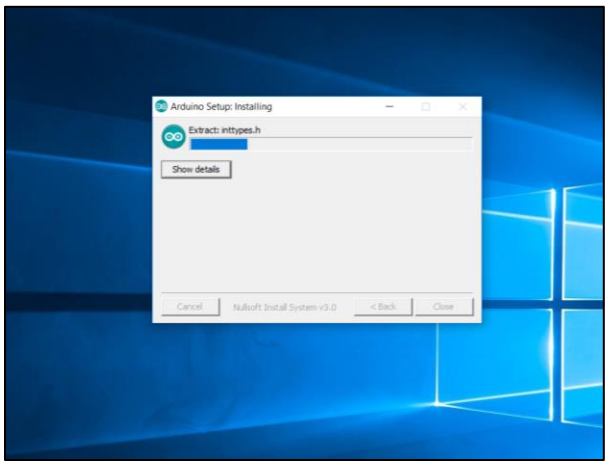
รูปที่ 5 หน้าต่างของส่วนตัวเลือกติดตั้งโปรแกรม

5) เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการทำการติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE เมื่อทำการเลือกโฟลเดอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ไอคอน “Install” ดังรูปที่ 6



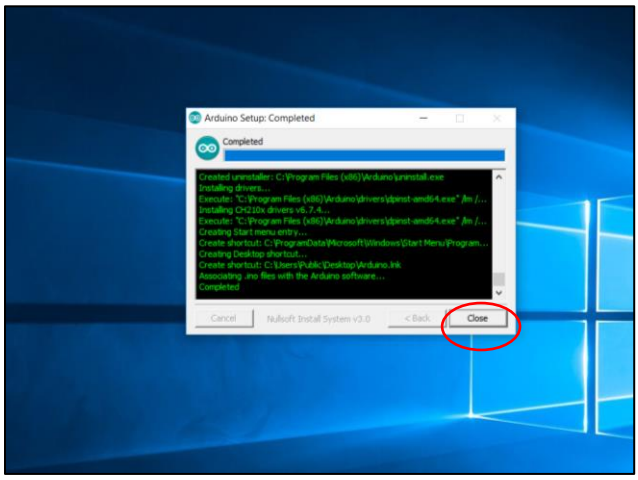
รูปที่ 6 หน้าต่างการเลือกโฟลเดอร์ในการติดตั้ง

6) รอให้โปรแกรมทำการติดตั้งจนแล้วเสร็จ (สามารถตรวจสอบความก้าวหน้าในการติดตั้งได้โดยการคลิกที่ไอคอน Show details) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 โปรแกรมทำการติดตั้ง

7) เมื่อโปรแกรมติดตั้งเสร็จแล้ว บรรทัดสุดท้ายจะแสดงคำว่า “Completed” จากนั้นให้คลิกไอคอน “Close” เพื่อทำการปิดโปรแกรม ซึ่งเป็นอันสิ้นสุดขั้นตอนของการติดตั้ง ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ข้อความที่แสดงเมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมเสร็จ

3.2 เริ่มต้นการใช้งานเพื่อการพัฒนารหัสโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น

ในการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม Arduino IDE เพื่อการพัฒนารหัสโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น จะมีขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้

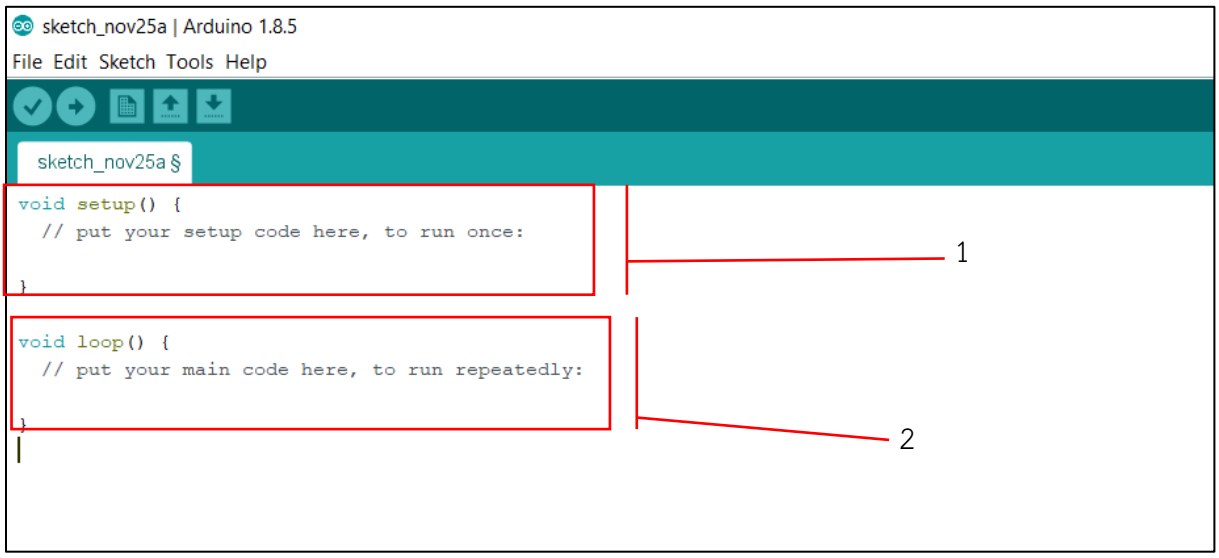
1) เปิดโปรแกรม Arduino IDE โดยการดับเบิลคลิกที่ไอคอนโปรแกรม Arduino ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 เริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม Arduino

2) ให้สังเกตหน้าต่างของส่วนโปรแกรม Arduino IDE ดังรูปที่ 10 จะสังเกตเห็นคำสั่งภายใน (ในที่นี้ใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมและคำสั่ง) ซึ่งได้แบ่งดังนี้

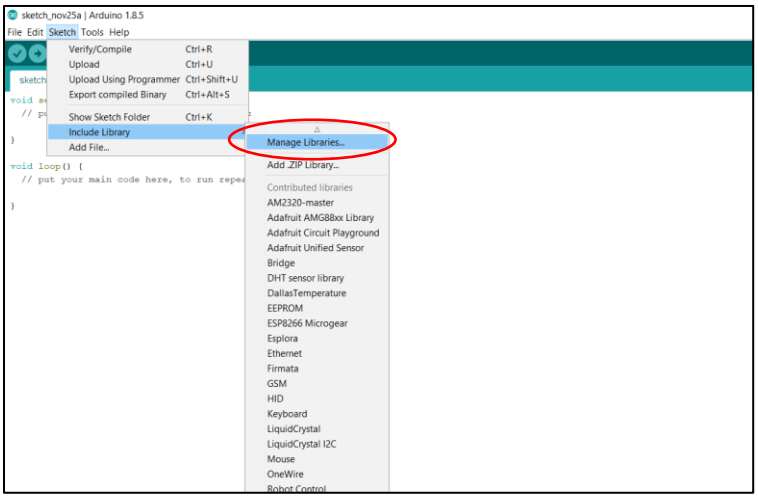
ส่วนที่ 1 ส่วนของคำสั่งการตั้งค่า (void setup) เป็นส่วนที่เขียนคำสั่งลงไปโดยการเขียนคำสั่งที่ทำงานเพียงครั้งเดียว และคำสั่งจะต้องอยู่ภายในสัญลักษณ์ “{ }” เท่านั้น

ส่วนที่ 2 ส่วนของคำสั่งที่วนจนกว่าจะทำการปิดระบบ (void loop) และคำสั่งจะต้องอยู่ภายในสัญลักษณ์ “{ }” เท่านั้น



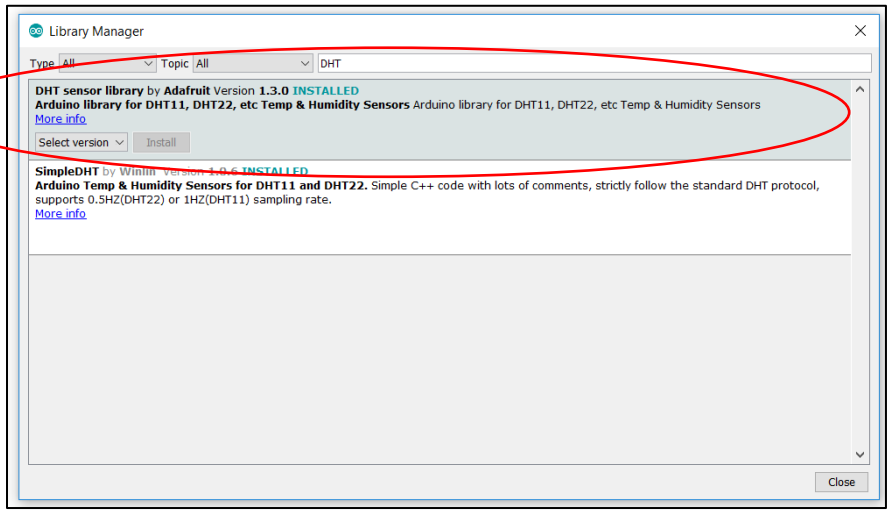
รูปที่ 10 หน้าต่างของโปรแกรม Arduino IDE

3) ทำการติดตั้งไลบรารี (Library) ที่ต้องการใช้งาน (ไลบรารี คือ หน่วยคำสั่งย่อยที่ผู้ใช้สามารถทำการดึงคำสั่งพิเศษจากไลบรารีนั้น ๆ ได้) ในที่นี้ได้ใช้ไลบรารีของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ และโมดูล LCD I^2C ที่ใช้ในการทำการทดลอง โดยการติดตั้งจะเข้าไปยังหน้าต่างด้วยการคลิกที่ “Sketch” > “Include Library” > “Manage Libraries” ดังรูปที่ 11



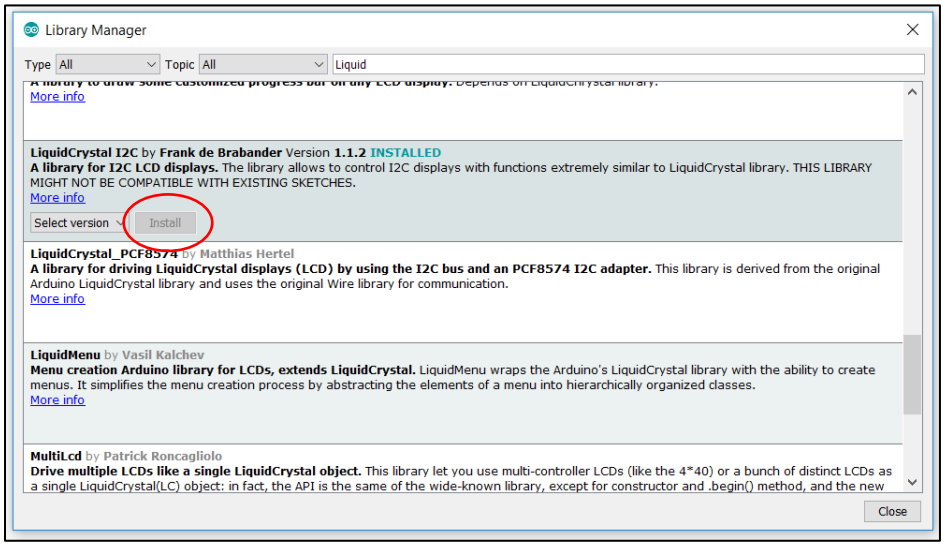
รูปที่ 11 เริ่มต้นการติดตั้งไลบรารี

4) ใส่คำสำคัญลงในช่องที่ต้องการค้นหาเพื่อค้นหาไลบรารี (ในขั้นตอนนี้ได้ทำการติดตั้งไลบรารี DHT22 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง) เมื่อค้นหาเจอแล้วให้คลิกที่ไอคอน “Install” ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 หน้าต่างของส่วนที่ทำการติดตั้งไลบรารี DHT22

5) ทำการติดตั้งไลบรารีของ LiquidCrytal I2C ซึ่งจะติดตั้งโดยการคลิกที่ “Install” รูปที่ 13

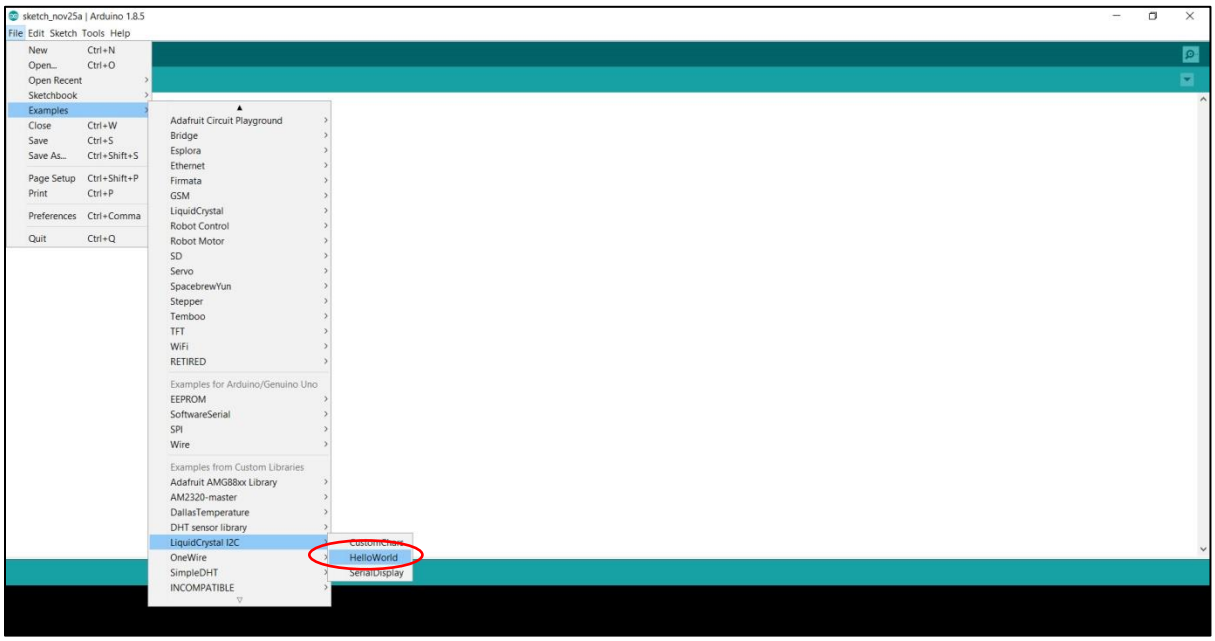


รูปที่ 13 หน้าต่างของส่วนที่ทำการติดตั้งไลบรารี LiquidCrytal I2C

3.3 การทดลองการใช้งานอุปกรณ์ร่วมกับไลบรารี

สำหรับการทดลองการใช้งานอุปกรณ์ร่วมกับไลบรารีที่ทำการติดตั้งไปแล้วข้างต้น จะมีรายละเอียดดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) ทำการทดลองการใช้งานของโมดูลจอแสดงผล LCD โดยการคลิกที่ “File” > “Examples” > “LiquidCrystal I2C” > “HelloWorld” ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 เลือกโปรแกรมตัวอย่างของ LCD I^2C

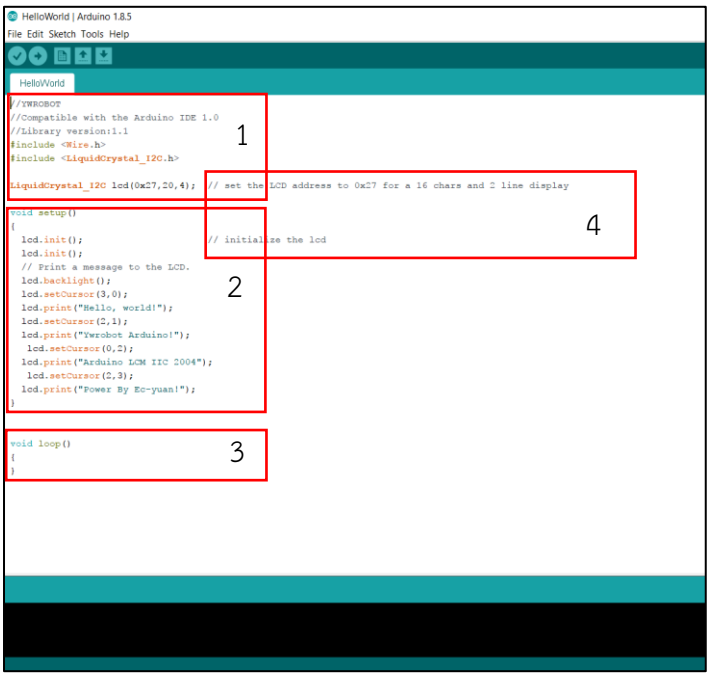
2) เมื่อทำการเปิดโปรแกรมทดลองของ LCD I^2C เสร็จแล้วหลังจากนั้นให้สังเกตที่ส่วนของคำสั่งภายใน จะพบว่ามีส่วนที่เขียนทั้งหมด 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 15 คือ

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ใช้ในการดึงชุดข้อมูลไลบรารีโดยจะมีคำสั่ง “#include” อยู่ข้างหน้าชื่อไฟล์ไลบรารีที่อยู่ใน “<>” เสมอ

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่เป็นชุดคำสั่งที่ทำงานครั้งเดียวต่อการเปิดระบบหนึ่งครั้งและที่สำคัญ จะเป็นคำสั่ง “void setup()” และคำสั่งในการทำงานจะอยู่ภายใต้เครื่องหมาย “{ }” เสมอ

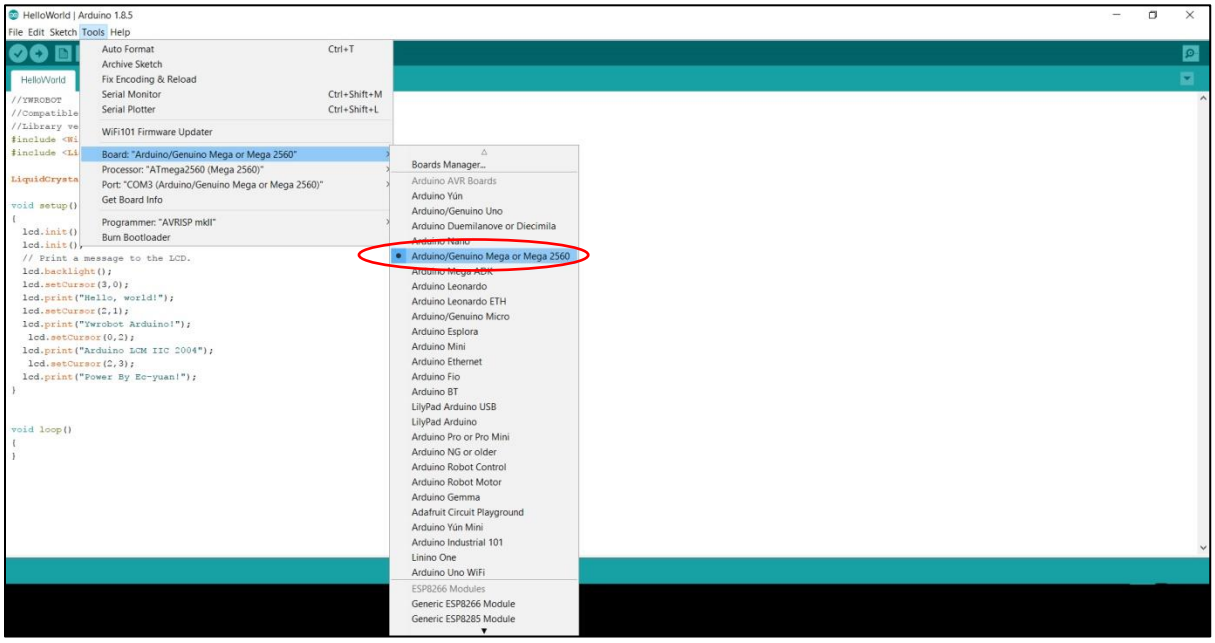
ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่เป็นชุดคำสั่งที่ทำงานวนซ้ำตลอดเมื่อเปิดระบบจะเป็นคำสั่ง “void loop()” และคำสั่งในการทำงานจะอยู่ภายใต้เครื่องหมาย “{ }” เสมอ

ส่วนที่ 4 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นข้อความซึ่งไม่มีผลต่อคำสั่งภายในโปรแกรมโดยจะมีเครื่องหมาย “//” อยู่หน้าข้อความเสมอ



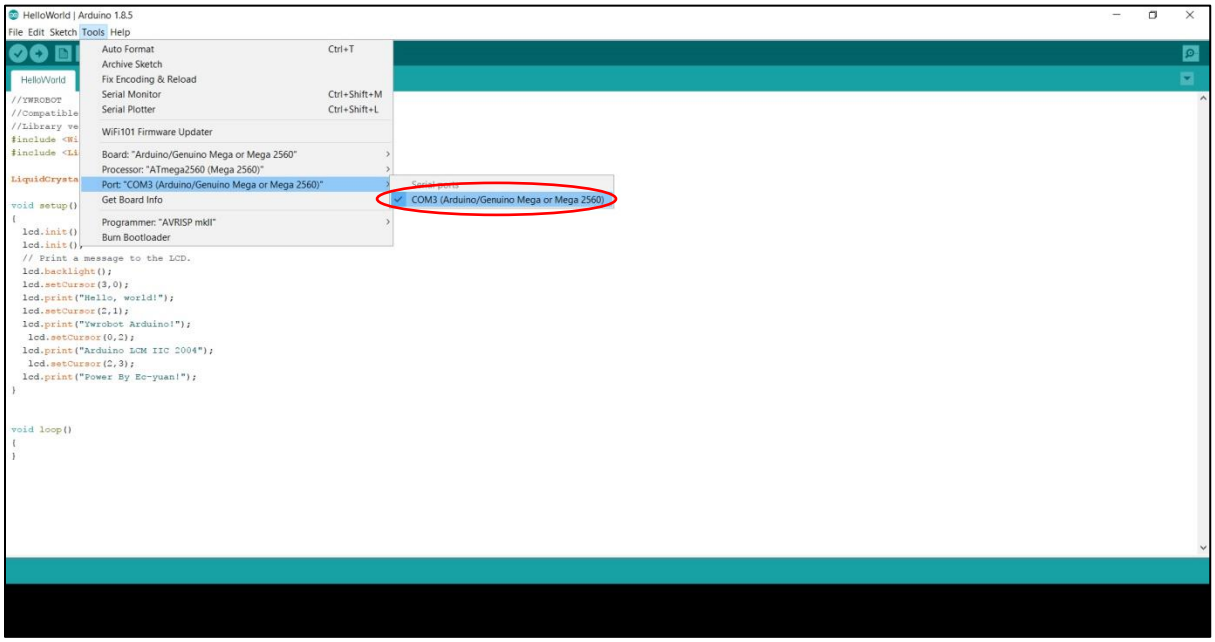
รูปที่ 15 ชุดคำสั่งโปรแกรมทดลองของ LCD I^2C

3) ทำการเลือกรุ่นของบอร์ดให้ตรงกันที่ใช้ในการทดลอง (ในที่นี้ได้ใช้บอร์ด Arduino Mega R3 ในการทดลอง) ดังรูปที่ 16



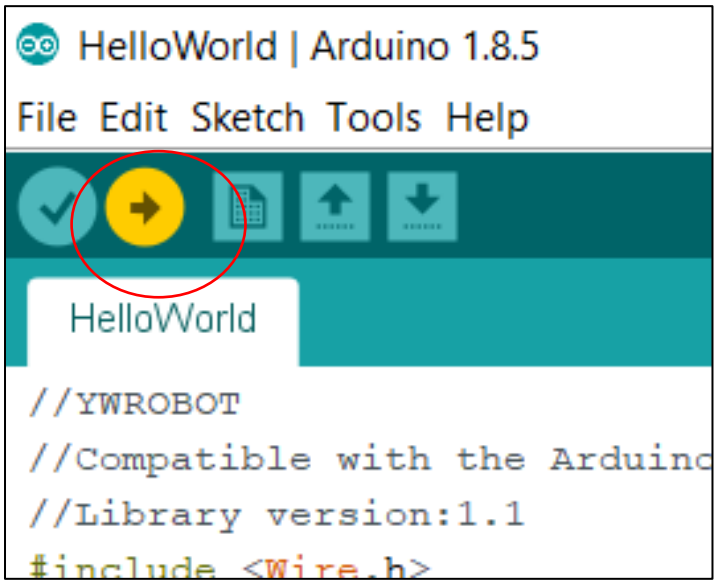
รูปที่ 16 การเลือกรุ่นบอร์ดในการทดลอง

4) เลือกพอร์ทที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ไปยังบอร์ด (ในที่นี้ได้ใช้พอร์ทชื่อ COM3) ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การเลือกพอร์ทที่เชื่อมต่อกับบอร์ด

5) ทำการอัพโหลดโปรแกรมไปยังบอร์ดโดยการคลิกที่เครื่องหมายอัพโหลดของโปรแกรม Arduino IDE ดังรูปที่ 18

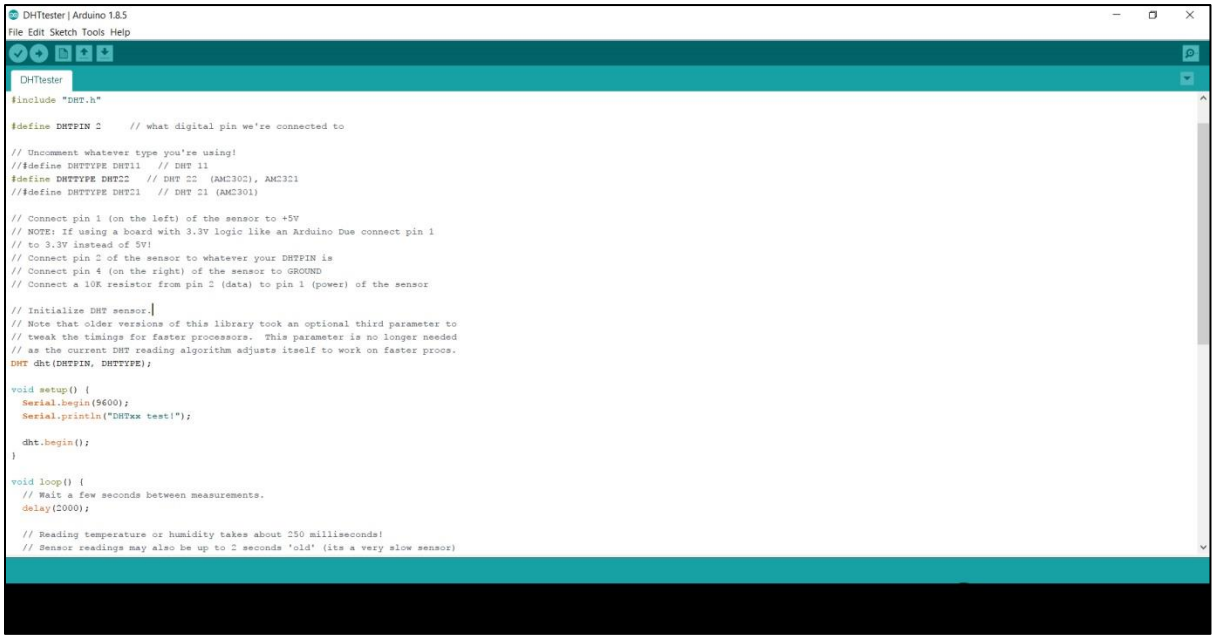


รูปที่ 18 การอัพโหลดโปรแกรมไปยังบอร์ดชุดทดลอง

6) สังเกตบอร์ดทดลองที่โมดูลจอ LCD แล้วสังเกตข้อความดังรูปที่ 19

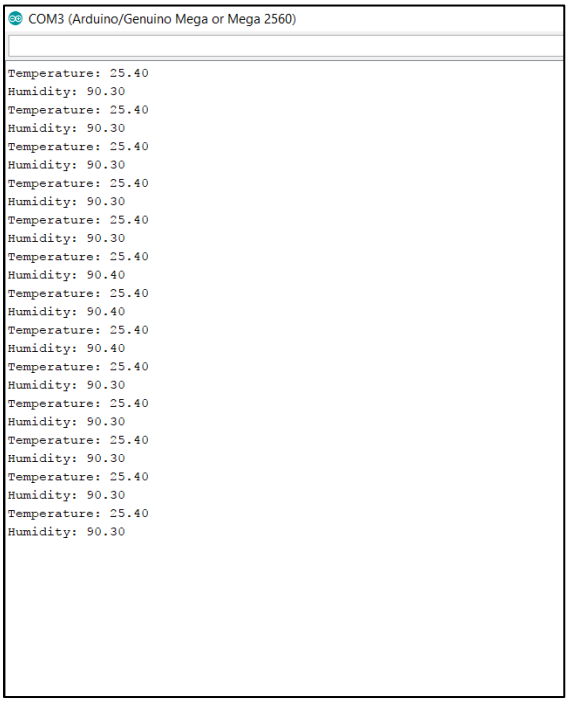
รูปที่ 19 ข้องความที่แสดงยังโมดูล LCD

7) ทำการทดลองเซนเซอร์ DHT22 โดยคลิกที่ File > Examples > DHT sensor library > DHTtester แล้วทำการอัพโหลดโปรแกรมเข้าไปยังบอร์ดทดลอง และสังเกตค่าผ่านพอร์ทอนุกรม (Serial Mornitor) ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 โปรแกรมทดลองของเซนเซอร์ DHT22

8) สังเกตค่าผ่านพอร์ทอนุกรม หากในกรณีที่ต่อเซนเซอร์ไม่ถูกต้องจะปรากฏข้อความ “Failed to read from DHT sensor!” และกรณีที่ที่เซนเซอร์ต่อเข้ากับบอร์ดทดลองถูกต้องจะแสดงผล ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 หน้าต่างแสดงผลของเซนเซอร์ DHT22

3.4 การพัฒนารหัสโปรแกรม Arduino เพื่อการตรวจวัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น

การพัฒนารหัสโปรแกรม Arduino เพื่อการตรวจวัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น

1) ทำการเขียนคำสั่งลงในโปรแกรม Arduino IDE เพื่อหาคุณสมบัติของอากาศจากการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยมีการเขียนคำสั่งและรายละเอียดดังนี้

```
#include <Wire.h>                          //เรียกใช้ไลบรารีของ Wire
#include <LiquidCrystal_I2C.h>             //เรียกใช้ไลบรารีของ LCD I2C
#include "DHT.h"                           //เรียกใช้ไลบรารีของ DHT
#define DHTPIN 2                           //ตั้งชื่อ DHTPIN แทน 2
#define DHTTYPE DHT22                      //ตั้งชื่อ DHTTYPE แทน DHT22
#define High 310                           //ตั้งชื่อ High แทน 310  *ความสูงจากน้ำทะเล
#define R 0.287042                         //ตั้งชื่อ R แทน 0.287042
#define C1 -5.8002206*pow(10,-3)           //ตั้งชื่อ C1-C6 เป็นจำนวนใด ๆ ที่ใช้ในสมการ
```

```
#define C2 1.3914993
#define C3 -4.8640239*pow(10,-2)
#define C4 4.1764768*pow(10,-5)
#define C5 -1.4452093*pow(10,-8)
#define C6 6.5459673
#define e 2.71828                                   //ตั้งชื่อ e แทน 2.71828  *ค่าคงที่
#define tim 5000                                    //ตั้งชื่อ tim แทน 5000  *ใช้ในการหน่วงเวลา
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);                 //ตั้งค่า LCD I2C เป็นขนาด 20 x 4 ชื่อ lcd
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);                           //ตั้งค่าเซนเซอร์ DHT ต่อสัญญาณที่ขา DHTPIN
                                                      และเป็นชนิด DHTTYPE ชื่อ dht
float T, H, P_atm, P_w, P_ws, tem_dp, tem_wp, hum_r, v, h; //สร้างตัวแปรชนิด float

void setup() {
    lcd.init();                                     //เริ่มการใช้งานของ LCD
    dht.begin();                                    //เริ่มการใช้งาน DHT22
    lcd.backlight();                                //สั่งให้ไฟพื้นหลังสว่าง
}

void loop() {
    check();                                        //ไปยังฟังก์ชัน check
    peasur();                                       //ไปยังฟังก์ชัน peasur
    temp_dp();                                      //ไปยังฟังก์ชัน temp_dp
    temp_wb();                                      //ไปยังฟังก์ชัน temp_wb
    hum_ratio();                                    //ไปยังฟังก์ชัน hum_ratio
    viloc();                                        //ไปยังฟังก์ชัน viloc
    Enthalpy();                                     //ไปยังฟังก์ชัน Enthalpy
    show();                                         //ไปยังฟังก์ชัน show
}

void check() {                                      //ฟังก์ชัน check ส่วนของการรับค่าจากเซนเซอร์
    T = dht.readTemperature();                      //คำสั่งให้รับค่าอุณหภูมิเขามาเก็บที่ตัวแปร T
    H = dht.readHumidity();                         //คำสั่งให้รับค่าความชื้นสัมพัทธ์เขามาเก็บที่ตัวแปร
```

```
                                                    H

    if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {                    //เงื่อนไขถ้าไม่มีการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์
        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!"); //แสดงข้อความไปยัง Serial monitor
        return;
    }

    delay(500);                                                //หน่วงเวลา 0.5 วินาที
}

void peasur() {                                                //ฟังก์ชันคำสั่งของการคำนวณหาค่าความดัน
                                                                บรรยากาศ
    P_atm = 101.325 * pow((1 - ((2.25577 * 0.00001) * High)), 5.2559);
    P_ws = e * ((C1 / T) + C2 + (C3 * T) + (C4 * pow(T, 2)) + (C5 * pow(T, 3)) + (C6 * log(T)));
    P_w = P_ws * (H / 100);
}

void temp_dp() {                                               //ฟังก์ชันคำสั่งของการคำนวณหาค่าอุณหภูมิจุด
                                                                น้ำค้าง
    float B = log(H / 100);
    tem_dp = 243.12 * (B + ((17.62 * T) / (243.12 + T))) / (17.62 - B - ((17.62 * T) / (243.12 + T)));
}

void temp_wb() {                                               //ฟังก์ชันคำสั่งของการคำนวณหาค่าอุณหภูมิ
                                                                กระเปาะเปียก
    float a = 0.000066 * P_atm;
    float b = (409.8 * P_w) / pow((T + 273.15), 2);
    tem_wp = ((a * T) + (b * tem_dp)) / (a + b);
}

void hum_ratio() {                                             //ฟังก์ชันคำสั่งของการคำนวณหาค่าอัตราส่วน
                                                                ความชื้นในอากาศ
    hum_r = 0.621945 * (P_w / (P_atm - P_w));
```

```
}

void viloc() {                                          //ฟังก์ชันคำสั่งของการคำนวณหาค่าปริมาตร
                                                          จำเพาะ
    v = R *  (T + 273.15) * ((1 + (1.607858 * hum_r )) / P_atm);
}

void Enthalpy() {                                       //ฟังก์ชันคำสั่งของการคำนวณหาค่าเอนทัลปีของ
                                                          อากาศ
    h = (1.006 * T) + (hum_r * (2501.1 + (1.8057 * T)));
}

void show() {                                           //ฟังก์ชันคำสั่งของการแสดงผลไปยังโมดูล LCD
    lcd.clear();                                        //คำสั่งล้างหน้าจอที่ 1
    lcd.setCursor(0, 0);                                //คำสั่งตั้งค่าตัวอักษรที่จะทำการแสดงในตัวอักษรที่
                                                          0 แถว 0
    lcd.print("Relative Humidity");                     //แสดงข้อความ “Relative Humidity” โมดูล LCD
    lcd.setCursor(0, 1);                                //คำสั่งตั้งค่าตัวอักษรที่จะทำการแสดงในตัวอักษรที่
                                                          0 แถว 1
    lcd.print(H);                                       //แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บไว้ในตัวแปรที่ชื่อว่า
                                                          H
    lcd.print(" %");                                    //แสดงสัญลักษณ์หน่วยของข้อความก่อนหน้า
    lcd.setCursor(0, 2);                                //คำสั่งตั้งค่าตัวอักษรที่จะทำการแสดงในตัวอักษรที่
                                                          0 แถว 2
    lcd.print("Dry-bulb Temp");                         //แสดงข้อความ “Dry-bulb Temp” โมดูล LCD
    lcd.setCursor(0, 3);                                //คำสั่งตั้งค่าตัวอักษรที่จะทำการแสดงในตัวอักษรที่
                                                          0 แถว 3
    lcd.print(T);                                       //แสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่เก็บไว้ในตัวแปรที่
                                                          ชื่อว่า T
    lcd.print(" C");
    delay(tim);                                         //หน่วงเวลาที่มีค่าเท่ากับ tim หน่วยเป็น ms
    lcd.clear();                                        //คำสั่งล้างหน้าจอเพื่อเตรียมแสดงข้อมูลในหน้าจอ
```

```
                                                    ที่ 2
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Barometric Pressure");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(P_atm);
  lcd.print(" kPa");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Dew point Temp");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print(tem_dp);
  lcd.print(" C");
  delay(tim);
  lcd.clear();                                      //คำสั่งล้างหน้าจอเพื่อเตรียมแสดงข้อมูลในหน้าจอ
                                                    ที่ 3
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Wet-bulb Temp");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(tem_wp);
  lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Humidity Ratio");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print(hum_r);
  lcd.print("");
  delay(tim);
  lcd.clear();                                      //คำสั่งล้างหน้าจอเพื่อเตรียมแสดงข้อมูลในหน้าจอ
                                                    ที่ 4
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Specific Volume");
  lcd.setCursor(0, 2);
```

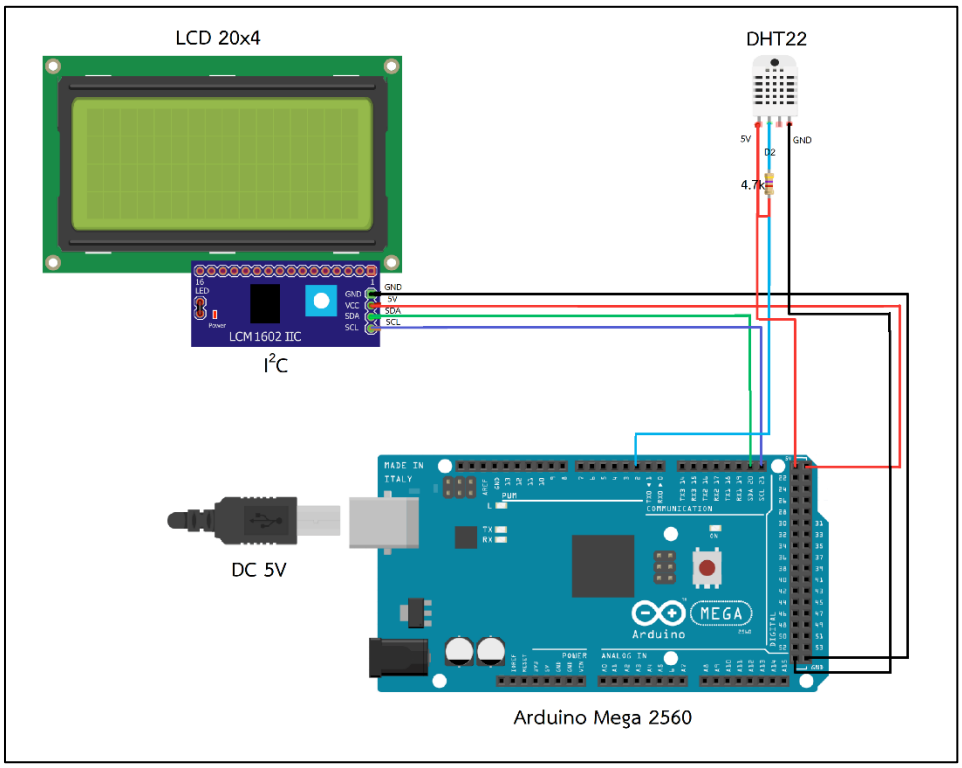
```
    lcd.print("Ethalpy");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(v);
    lcd.print(" m3/kg");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(h);
    lcd.print(" kJ/kg");
    delay(tim);
}
```

2) เมื่อทำการเขียนโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ให้อัพโหลดโปรแกรมเข้าไปยังบอร์ดทดลองแล้วสังเกตที่หน้าจอ LCD จะแสดงผลดังรูปที่ 22

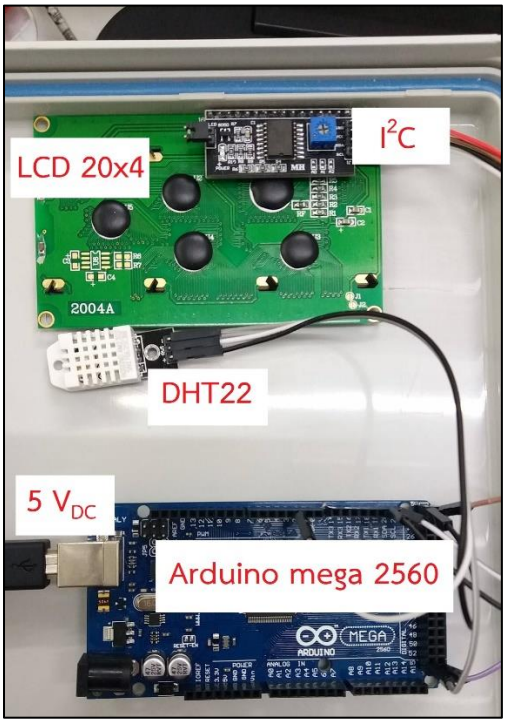
รูปที่ 22 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น

3.5 การต่ออุปกรณ์วัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น

สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ภายนอกหรือฮาร์ดแวร์ที่ใช้วัดคุณสมบัติอากาศชื้นในครั้งนี้ จะมีแผนภาพการต่อวงจรของวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตารางที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 23 ซึ่งหลังจากทดสอบระบบการวัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้นที่มีการต่ออุปกรณ์ดังกล่าวกับรหัสโปรแกรมที่พัฒนาภายใต้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ของ Arduino IDE สำเร็จแล้ว จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ไว้ในกล่องเพื่อความเรียบร้อยและสะดวกต่อการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 24 ซึ่งเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จจะได้กล่องโปรแกรมวัดคุณสมบัติอากาศชื้น ดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 23 แผนภาพการต่อวงจรของวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้วัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น



รูปที่ 24 การต่อวงจรของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้วัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น

รูปที่ 25 กล่องโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น

3.6 วิธีการใช้งานโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น

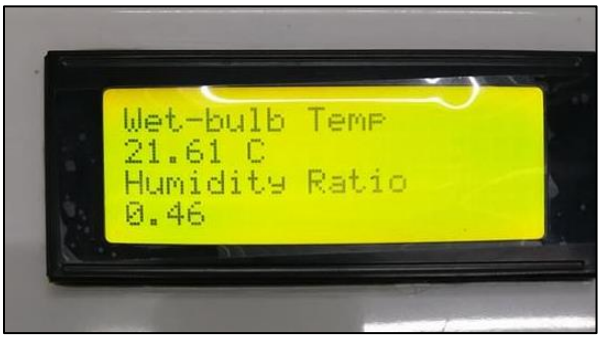
สำหรับวิธีการใช้งานโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้นที่ได้ทำการสร้างดังที่ได้กล่าวถึงรายละเอียดไว้แล้งข้างต้น จะมีวิธีการใช้งานดังนี้

1) ทำการต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 V ให้กับกล่องโปรแกรมวัดค่าคุณสมบัติอากาศชื้น

2) เมื่อกล่องโปรแกรมเริ่มทำงาน จะสังเกตให้ไฟและตัวอักษรขึ้นบริเวณหน้าจอแอลซีดี ดังแสดงในรูปที่ 26 ถึงรูปที่ 29 ซึ่งจะแสดงผลค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temp, C) ความดันบรรยากาศ (Barometric Pressure, kPa) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point Temp, C) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temp, C) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, m3/kg) และค่าเอนทัลปี (Enthalpy, kJ/kg) ตามลำดับ

รูปที่ 26 ส่วนหน้าจอแสดงผล (1)

รูปที่ 27 ส่วนหน้าจอแสดงผล (2)



รูปที่ 28 ส่วนหน้าจอแสดงผล (3)

รูปที่ 29 ส่วนหน้าจอแสดงผล (4)

เอกสารอ้างอิง

[1] นัฐพร ไชยญาติ. (2560). *การนำความร้อนทิ้งกลับคืน* (พิมพ์ครั้งที่ 6). เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ภาคผนวก

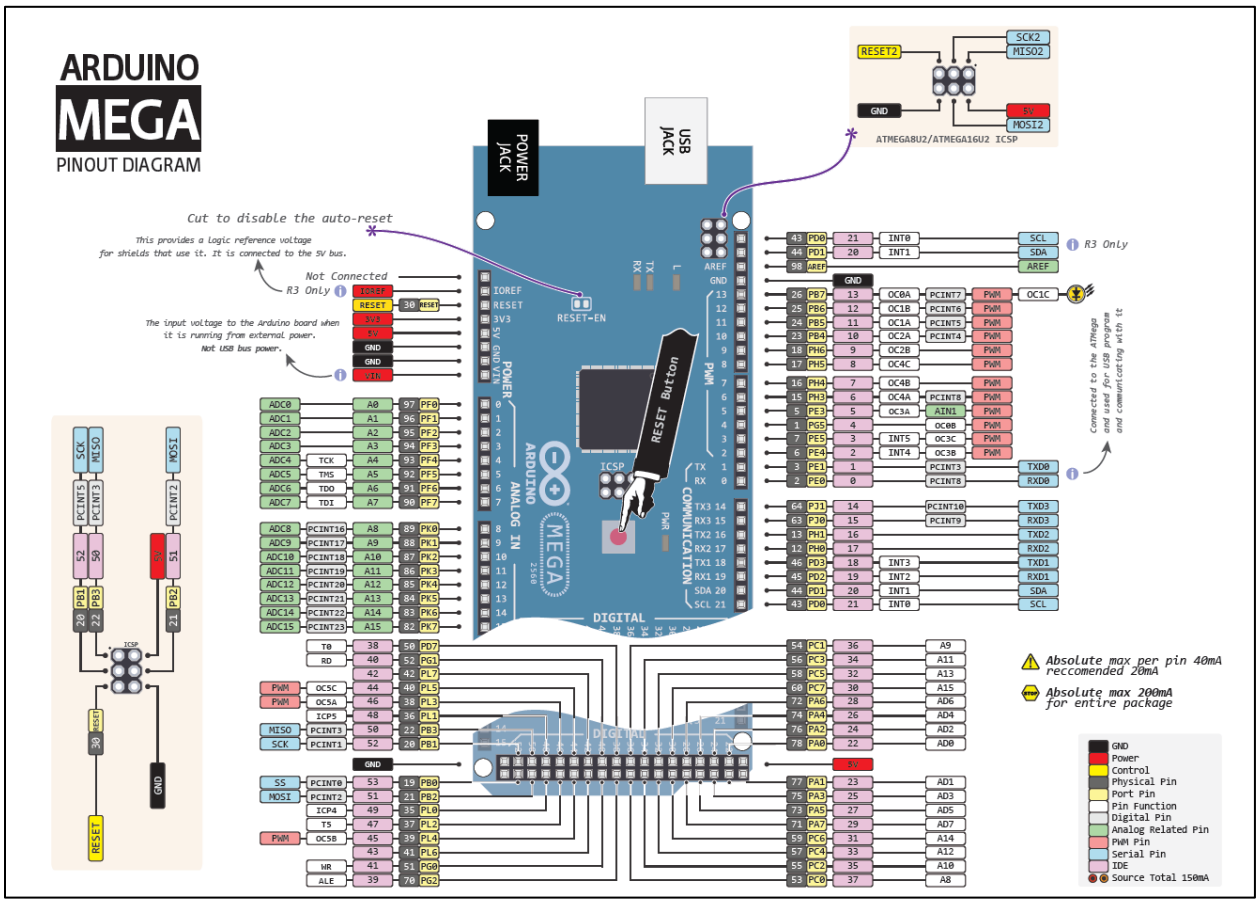
ภาคผนวก ก. รายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรมคุณสมบัติอากาศชื้น

1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 เป็นบอร์ดรุ่นใหญ่ในตระกูลของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ซึ่งมีคุณสมบัติเพิ่มขึ้นจากบอร์ด Arduino Uno R3 จะใช้ชิพรุ่น ATmega2560 ที่มีหน่วยความจำแฟลช 256 KB แรม 8 KB ใช้ไฟเลี้ยง 7-12 V แรงดันของระบบอยู่ที่ 5 V มี Digital Input/Output มากถึง 54 ขา (เป็น PWM ได้ 14 ขา) มี Analog Input 16 ขา Serial UART 4 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด ซึ่งจะเขียนโปรแกรมบนโปรแกรม Arduino IDE และโปรแกรมผ่าน USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นที่จะเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการบอร์ด Arduino ที่มีหน่วยความจำและขาสัญญาณต่าง ๆ ที่เพียงพอต่อใช้งานมากขึ้น ทั้งนี้จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงในตารางที่ ก.1 และมีแผนผังขาสัญญาณดังแสดงในรูปที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 รายละเอียด Arduino MEGA 2560 R3 [www.arduinoall.com]

Microcontroller	**ATmega2560**
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (Recommended)	7-12 V
Input Voltage (Limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output , 4 UART TTL)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3 V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz



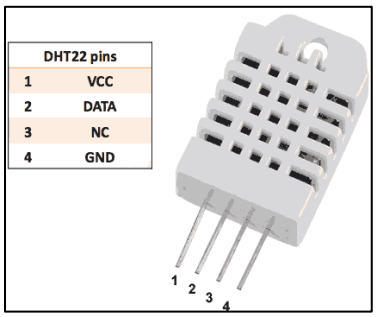
รูปที่ ก.1 แผนผังขาสัญญาณของบอร์ด Arduino Mega 2560

2) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22/AM2305

โมดูล DHT22 หรือ AM2302 มีราคาถูก ให้ค่าเป็นแบบดิจิทัล และใช้ขาสัญญาณดิจิทัลเพียงเส้นเดียวในการเชื่อมต่อแบบบิตอนุกรมสองทิศทาง (Serial Data, Bi-Directional) โดยนำมาเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino เพื่ออ่านค่าจากเซ็นเซอร์ ซึ่งจะมีข้อมูลเชิงเทคนิค (Technical details) ดังต่อไปนี้

- ใช้แรงดันไฟเลี้ยงได้ในช่วง: 3.3-5.5 VDC ดังนั้นจึงใช้ได้กับ 3.3 V และ 5 V ได้
- วัดอุณหภูมิได้ในช่วง: -40 ถึง 80 °C (ความแม่นยำ ±0.5 °C)
- วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง: 0 ถึง 100% (ความแม่นยำ 2-5%)
- อัตราการวัดสูงสุด: 0.5 Hz
- ขาเชื่อมสัญญาณเป็นแบบ 4 ขา (0.1 inch/2.54 mm spacing) โดย Pin 1 = VCC, Pin 2 = SDA (Serial data, bidirectional), Pin 3 = N.C. (Not Connect) และ Pin 4 = GND

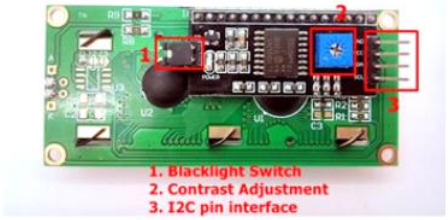
จากข้อมูลเชิงเทคนิคดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น โมดูล DHT22 จะมีผังการต่อขาสัญญาณดังแสดงในรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 ตำแหน่งและรายละเอียดการต่อขาสัญญาณของ DHT22 [http://www.myarduino.net]

3) จอแอลซีดีที่มีการเชื่อมต่อแบบ I^2C

จอ LCD ที่มีการเชื่อมต่อแบบ I^2C หรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมต่อแบบ Serial จะเป็นจอ LCD ธรรมดาทั่วไปที่มาพร้อมกับบอร์ด I^2C Bus โดยตรงหรือสามารถเชื่อมต่อภายหลังได้ ซึ่งเหตุผลที่ทำการเชื่อมต่อกับ I^2C ก็เพื่อต้องการใช้งานที่สะดวกยิ่งขึ้น (ลดจำนวนขาสัญญาณในการต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ลง) และยังมาพร้อมกับ VR สำหรับปรับความเข้มของจอ ในรูปแบบ I^2C ซึ่งจะใช้ขาในการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เหลือเพียง 4 ขา (ซึ่งจอแอลซีดีที่ไม่มีการต่อกับ I^2C จะเป็นการต่อสัญญาณแบบ Parallel ซึ่งจะใช้ 16 ขาในการต่อ) ทั้งนี้ลักษณะการต่อสายสัญญาณจาก I^2C ไปยังบอร์ด จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ ก.3



Pin No	Symbol	Description
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

รูปที่ ก.3 ขาที่ในการเชื่อมต่อของ I^2C ไปยังบอร์ด Arduino [http://www.thaieasyelec.com]