

## การพัฒนาเครื่องมือวัดไซโครเมตริกและการบันทึกข้อมูลแบบออนไลน์ Development of Psychrometric Measurement Equipment and Online Data Logging

ธเนศ อุ่นชัยศรี<sup>1\*</sup>, ปวีณ ชัยวัฒน์มเสถฐ์<sup>1</sup>, วราภรณ์ เมธาวิริยะศิลป์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการเผาไหม้, สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (วิทยาเขตบางขุนเทียน)

49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150

thanet.unc@mail.kmutt.ac.th

### บทคัดย่อ

สมบัติไซโครเมตริกของอากาศมีประโยชน์ในการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การแปรรูปอาหาร เกษตรกรรม ปศุสัตว์ การระบายอากาศและการปรับอากาศ และระบบการเผาไหม้ เครื่องมือไซโครมิเตอร์ บาร์อมิเตอร์ และแผนภูมิไซโครเมตริกมักใช้เพื่อใช้ในการหาสมบัติไซโครเมตริก ซึ่งต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ การบันทึกข้อมูลไซโคร-เมตริกที่ถูกพัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (SHT 31) และเซ็นเซอร์ความดันบรรยากาศ (BMP 180) สมบัติไซโครเมตริกที่ถูกบันทึกแบบออนไลน์ประกอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความดันไออิ่มตัว ความดันไอ อัตราส่วนการผสม ปริมาตรจำเพาะ และเอนทาลปีที่ได้ โดยข้อมูลเหล่านี้ถูกอัปโหลดไปยังกูเกิลชีตผ่านระบบไร้สาย ค่าสมบัติไซโครเมตริกที่บันทึกถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมือ Testo 625, ไซโครมิเตอร์ และบาร์อมิเตอร์ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง -1.87% ถึง 2.82%

**คำสำคัญ :** การบันทึกข้อมูลออนไลน์; เครื่องข่ายไร้สาย; เซ็นเซอร์; ไซโครเมตริก; สมบัติของอากาศชื้น

### Abstract

The psychrometric properties of air are useful in a variety of applications such as food processing, agriculture, livestock, heating ventilation and air conditioning (HVAC) and combustion system. The psychrometer, barometer, and psychrometric chart are often used to determine the air psychrometric qualities, which take time to analyze. The psychrometric data logging developed in this study consists of microcontroller board (esp32), temperature and humidity sensor (SHT 31), and atmospheric pressure sensor

(BMP 180). The psychrometric properties of air derived from psychrometric data logging comprise of dry bulb temperature, wet bulb temperature, relative humidity, atmospheric pressure, dew point temperature, saturation vapor pressure, vapor pressure, mixing ratio, specific volume and enthalpy uploaded to google sheet via wireless fidelity (wi-fi). The psychrometric properties of air as determined by psychrometric data recording were compared with Testo 625, psychrometer, and barometer; the inaccuracies ranged from - 1.87% to 2.82%.

**Keywords :** Online data logging; Wi-fi; Sensor; Psychrometric, Properties of humid air

## 1. บทนำ (Introduction)

ไซโครเมตริกส์ (Psychrometric) เป็นการศึกษาสมบัติทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่มีสถานะไอและก๊าซเป็นองค์ประกอบ (Vapor-gas mixtures) ซึ่งสมบัติทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์นี้เป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาปรับปรุงและควบคุมระบบในกระบวนการต่าง เช่น กระบวนการอบแห้ง กระบวนการเผาไหม้ การควบคุมสภาวะแวดล้อมในการเกษตรกรรมหรือการปศุสัตว์ เป็นต้น

ในการหาสมบัติทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศนั้น โดยทั่วไปใช้ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง (Psychrometer) และบารอมิเตอร์ และนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณไซโครเมตริก ดังนั้นเมื่อตัวแปร เช่น อุณหภูมิ กระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง มีการเปลี่ยนแปลงบ่อย อาจเป็นข้อจำกัดในการใช้งานของแผนภูมิ โดยเฉพาะเมื่อลักษณะของงานต้องการความรวดเร็วในการปฏิบัติงาน จากงานวิจัย [1 - 4] ได้มีการพัฒนานำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งสมบัติทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศได้แก่ อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันไอ ความดันไออิ่มตัว อุณหภูมิจุดน้ำค้าง อัตราส่วนความชื้น ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น เอนทัลปีของอากาศชื้น ถูกคำนวณโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้น

แต่ยังขาดการพัฒนาทางการเก็บข้อมูล

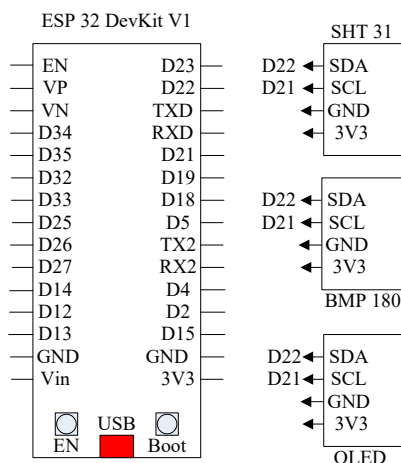
งานวิจัยนี้จึงศึกษาการวิเคราะห์สมบัติทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT 31) และ เซ็นเซอร์วัดความดันบรรยากาศ (BMP180) ข้อมูลที่ได้

จะถูกบันทึกแบบออนไลน์เข้าคอมพิวเตอร์ (Data logger) และถูกอัปโหลดแบบออนไลน์บนกูเกิลชีต (Google sheet) ผ่านเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi) ในเวลาเดียวกัน

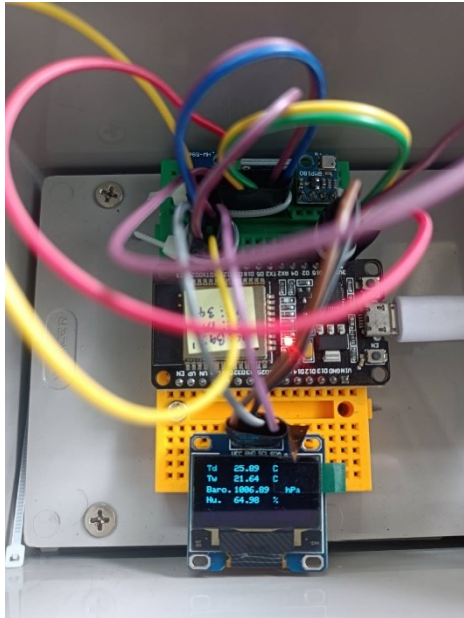
## 2. วิธีการวิจัย (Methodology)

### 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

การเขียนโปรแกรมคำสั่งอ่านค่าของเซ็นเซอร์และนำคำนวณสมบัติของอากาศจะถูกเขียนผ่านโปรแกรม Arduino IDE ด้วยภาษา C++ จากนั้นโปรแกรมจะถูกอัปโหลดเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 32 ซึ่งรับค่าอุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature, Tdb) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity, RH) จากเซ็นเซอร์ SHT 31 ส่วนค่าความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure, Patm) จากเซ็นเซอร์ BMP180 แผนภาพการต่อของเซ็นเซอร์ต่างๆ และแสดงผลเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 แผนภาพการต่อเซ็นเซอร์และแสดงผลเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2 อุปกรณ์คำนวณและบันทึกสมบัติของอากาศ

อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับไฮโครมิเตอร์ที่อ่านค่าด้วยสายตา และเครื่องวัดดิจิทัล (Testo 625) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ไฮโครมิเตอร์และเครื่องอ่านค่าแบบดิจิทัล

สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดดิจิทัลเช่นกัน เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์ สำหรับค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์นำมาหาค่าความคลาดเคลื่อนกับเครื่องวัดที่อ่านด้วยสายตา (Barometer) ดังแสดงในรูปที่ 4 และค่าสมบัติของอากาศที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) – (7) นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคำนวณสมบัติของอากาศ

(Psychrometric calculator) [5] โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นสองค่า คือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและค่าความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4 บารอมิเตอร์

## 2.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณสมบัติของอากาศชื้น

การคำนวณสมบัติของอากาศจะเริ่มจากสามตัวแปรที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ คือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และค่าความดันบรรยากาศ จากนั้นจะถูกนำมาคำนวณผ่านสมการดังนี้

ความดันไออิ่มตัว (Saturation vapor pressure) หมายถึงความดันของไอน้ำอิ่มตัว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) [1]

$$P_{ws} = e^{\left[ \frac{C_1}{T_{db}} + C_2 + (C_3 T_{db}) + (C_4 T_{db}^2) + C_5 T_{db}^3 + C_6 \ln(T_{db}) \right]} \quad (1)$$

$$C_1 = -5.8002206 \times 10^3$$

$$C_2 = 1.3914993$$

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

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

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

$$C_6 = 6.5459673$$

ความดันไอ (Partial vapor pressure) หมายถึงความดันที่สามารถทำให้สารเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งแปรผันตรงกับอุณหภูมิ และมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ดังแสดงในสมการที่ (2) [1]

$$P_w = P_{ws} \left( \frac{RH}{100} \right) \quad (2)$$

$P_w$  คือ ความดันไอ (kPa)

$P_{ws}$  คือ ความดันไออิ่มตัว (kPa)

$RH$  คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) หมายถึง อุณหภูมิที่ถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ และเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงจุดหนึ่งจะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ อุณหภูมิจุดน้ำค้างสามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ (3) [1]

$$T_{dp} = \frac{243.12 \left[ \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.62 T_{db}}{243.12 + T_{db}} \right]}{17.62 - \left[ \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.62 T_{db}}{243.12 + T_{db}} \right]} \quad (3)$$

$T_{dp}$  คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (°C)

$T_{db}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) คือ อุณหภูมิที่สามารถทำให้น้ำระเหยได้ วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ถูกหุ้มด้วยผ้าหรือสำลีที่เปียกน้ำ ทั้งนี้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4) [1]

$$T_{wb} = \frac{(aT_{db} + bT_{dp})}{(a + b)} \quad (4)$$

$$a = 0.000066 P_{atm}$$

$$b = \frac{409.8 P_w}{(T_{dp} + 273.15)^2}$$

$T_{wb}$  คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (°C)

$P_{atm}$  คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)

อัตราส่วนความชื้น Humidity ratio) คือ อัตราส่วนของมวลไอน้ำต่อมวลของอากาศที่สถานะแห้ง สามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ (5) [3]

$$\omega = 0.622 \left[ \frac{P_w}{(P_{atm} - P_w)} \right] \quad (5)$$

$\omega$  คือ อัตราส่วนความชื้น (kgw/kg<sub>da</sub>)

ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Specific volume of moist air) หมายถึง อัตราส่วนของปริมาตรไอน้ำต่อมวลของอากาศที่สถานะแห้ง สามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ (6) [3]

$$v_a = \frac{RT_{db} [1 + (1.607858 \omega)]}{P_{atm}} \quad (6)$$

$v_a$  คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (m<sup>3</sup>/kg)

$R$  คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.287042 (kJ/kg<sub>da</sub> K)

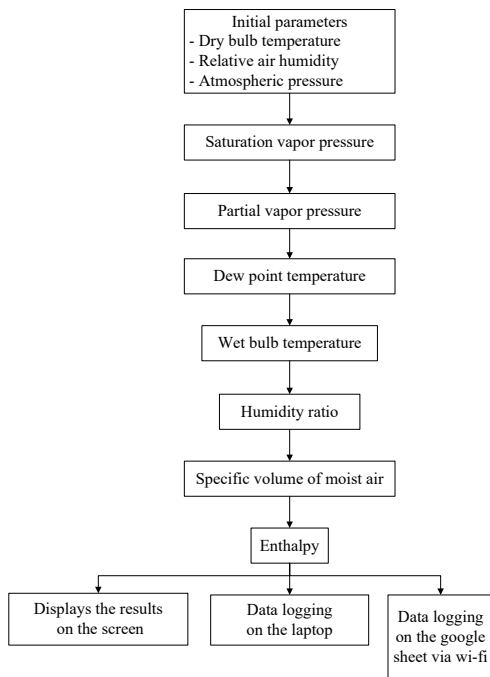
เอนทัลปีของอากาศชื้น (Enthalpy) คือ ค่าพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในอากาศ สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (7) [3]

$$h_a = 1.006 T_{db} + \omega (2501.1 + 1.8057 T_{db}) \quad (7)$$

$h_a$  คือ เอนทัลปีของอากาศชื้น (kJ/kg<sub>da</sub>)

กระบวนการหาสมบัติความชื้นจากสมการที่ (1) – (7) สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5 เมื่อได้ค่าสมบัติของอากาศแล้ว ข้อมูลจะถูกแสดงผลผ่านจอ OLED ได้แก่ ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความดันบรรยากาศ

สำหรับค่าสมบัติของอากาศทั้งหมดที่คำนวณได้จะถูกบันทึกเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยตรง และในเวลาเดียวกันข้อมูลก็จะถูกบันทึกในกุเกิลชีตผ่านเครือข่ายไร้สาย โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



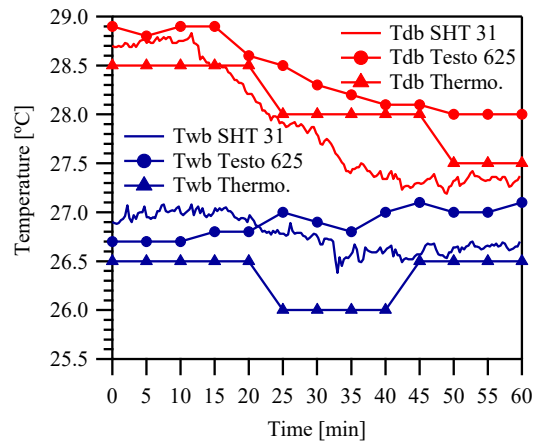
รูปที่ 5 ขั้นตอนการหาสมบัติของอากาศ

### 3. ผลการวิจัย (Results)

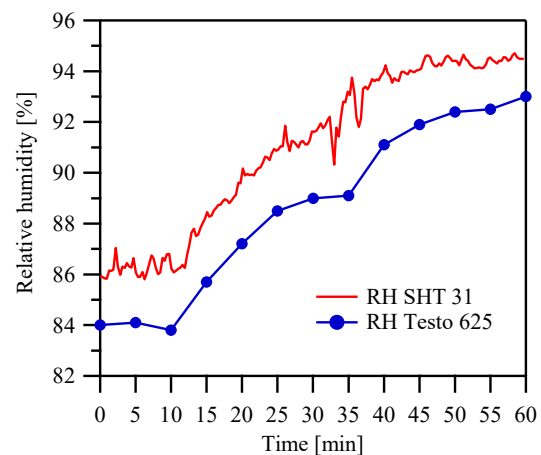
การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์และการประมวลผลค่าสมบัติต่างๆ ของอากาศชื้น จะถูกบันทึกต่อเนื่องบนภูเกิลชีต ทุกๆ 17 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 6 ค่าที่ได้อ่านได้จากเซ็นเซอร์จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จาก ไฮโครมิเตอร์เครื่องวัดแบบดิจิตอล (Testo 625) และบารอมิเตอร์ ซึ่งถูกบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง ผลการเปรียบเทียบค่าแสดงดังรูปที่ 7 - 9

Dato	Time	Temp_dry	Relative_humidity	Temp_wet	P_atm	P_ws	P_w	Temp_dewpoint	Humidity_ratio	Specific_volumeno	Enthalpy
05-09-22	10:51:10	30.22	79.92	27.54	1016.39	4299.95	3.44	26.37	0.02	0.89	86.02
05-09-22	10:51:27	30.15	79.87	27.47	1016.32	4282.73	3.42	26.29	0.02	0.89	85.69
05-09-22	10:51:44	30.15	80.02	27.49	1016.27	4282.73	3.43	26.32	0.02	0.89	85.8
05-09-22	10:52:03	30.13	80.16	27.49	1016.29	4277.82	3.43	26.33	0.02	0.89	85.81
05-09-22	10:52:20	30.15	80.2	27.51	1016.38	4282.73	3.43	26.36	0.02	0.89	85.92

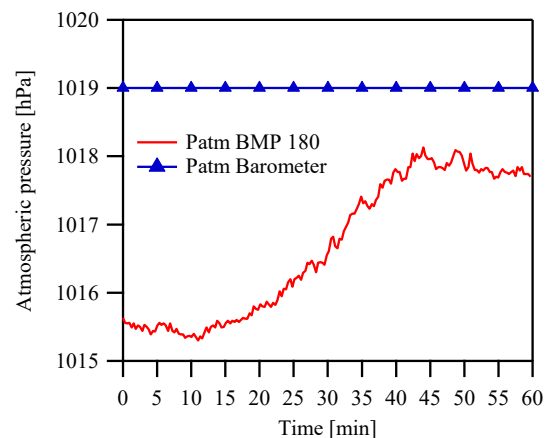
รูปที่ 6 ค่าความดันบรรยากาศ



รูปที่ 7 ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง



รูปที่ 8 ค่าความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 9 ค่าความดันบรรยากาศ

เมื่อนำค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์และจากการประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) มาหาค่าความคลาดเคลื่อน กับเครื่องมือวัดอื่นๆ ผลค่าความคลาดเคลื่อนแสดงดังตารางที่ 1

### ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนของสมบัติอากาศชื้น ที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์

	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)			
	อุปกรณ์ที่ใช้ในการอ้างอิงเพื่อทำการเปรียบเทียบ			
	Testo 625	ไซโครมิเตอร์	บารอมิเตอร์	โปรแกรม Psychrometric Calculator [5]
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	-1.87	-0.71	-	-
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	-0.41	1.65	-	0.95
ความดันบรรยากาศ	-	-	-0.23	-
ความชื้นสัมพัทธ์	2.82	-	-	-
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง	-	-	-	0.04
ปริมาณน้ำฝน ของอากาศชื้น	-	-	-	0.33
เอนทัลปีของอากาศชื้น	-	-	-	-0.04

จากผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 1 พบว่าค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์เมื่อเทียบกับค่าที่อ่านได้จากไซโครมิเตอร์และบารอมิเตอร์ มีค่าอยู่ในช่วง -0.71 % ถึง 1.65 % ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด Testo 625 (ในช่วง -1.87 % ถึง 2.82 %) ค่าความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าที่อ่านได้จาก Testo 625 อาจมาจากเครื่องมือวัดดังกล่าวเป็นเครื่องมือวัดดิจิทัล ซึ่งมีความไวและเปลี่ยนแปลงค่าทันทีเมื่อค่าพารามิเตอร์ของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่เซ็นเซอร์ที่อ่านได้จาก SHT31 และ BMP180 ที่ประกอบเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 อาจมีการหน่วงของเวลาจากการใช้เวลาในการประมวลผลจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นและนำผลที่ประมวลผลนั้นอัปเดตบนยูนิทิลิตี้

นอกจากนี้ในงานวิจัยได้นำค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น คือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและค่าความชื้นสัมพัทธ์ นำมาคำนวณค่าสมบัติของอากาศชื้นอื่นๆ ดังแสดงไว้ในสมการที่ (1) – (7) และนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป Psychrometric Calculator [5] พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง -0.04 % ถึง 0.95 %

### 4. สรุปผล (Conclusion)

ในงานวิจัยนี้ได้นำเซ็นเซอร์ SHT 31 และ BMP 180 มาประกอบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP 32) เพื่อหาสมบัติของอากาศชื้น จากการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอื่นๆ เช่น เครื่องมือวัดดิจิทัล (Testo 625) ไซโครมิเตอร์ และบารอมิเตอร์ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วง -1.87 % ถึง 2.82 % นอกจากนี้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำแล้วเซ็นเซอร์ที่ประกอบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ยังสามารถบันทึกข้อมูลลงบนยูนิทิลิตี้ผ่านเครือข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นการสำรองข้อมูลและง่ายต่อการนำข้อมูลมาประมวลผล อีกทั้งยังสะดวกต่อการพกพาไปใช้งาน เนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดเล็กและที่สำคัญอุปกรณ์มีราคาไม่สูง

### 5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ปราณต์ เมฆอากาศ, สุธรรม ชาววัง, ปาณิศา อ่อนดอกไม้ และหญิง ชูศรี, “ไซโครล็อกเกอร์ (Psychro logger)”, สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, หน้า 2-4, 2560.
- [2] A. N. Nasaruddin, B. T. Tee, M. T. Musthafah and M. E. S. M. Jasman, “Ambient data analytic on indoor environment monitoring for office buildings in hot and humid climates”, Data in brief, Vol. 27, pp. 1-8, 2019.
- [3] L. C. C. da Silva, D. O. Filho, A. C. V. e Pinto and M. L. D. Araujo, “AUTOMATIC SYSTEM FOR PSYCHROMETRIC CALCULATIONS”, Revista Engenharia na Agricultura, Vol. 28, pp. 19-139, 2020.
- [4] U. Kizil and Aksu, “Design of an Arduino based digital psychrometric device”, Journal of Agricultural Sciences, Vol. 24, pp. 1-8, 2019.
- [5] Anon, PsychroCalc 1.1, ข้อมูลจาก <https://psychrocalc.software.informer.com/1.1/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 4 กันยายน 2565).