การพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน

เกรียงศักดิ์ อิ่มเต็ม

การศึกษารายบุคคลนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2562

Development of Building Energy Management and Monitoring Systems for Evaluating Indoor Environmental Quality in An Office Building

Kriangsak Imtem

An Individual Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

College of Innovative Technology and Engineering

Dhurakij Pundit University

2019

กิตติกรรมประกาศ

ใบรับรองการศึกษารายบุคคล

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อการศึกษารายบุคคล การพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน

เสนอโดย เกรียงศักดิ์ อิ่มเต็ม

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบการศึกษารายบุคคลแล้ว

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ ...20... เดือน ...กรกฎาคม... พ.ศ. ...2562...

หัวข้อการศึกษารายบุคคล	การพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน
ชื่อผู้เขียน	เกรียงศักดิ์ อิ่มเต็ม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร โดยเพิ่มคุณสมบัติให้สามารถตรวจวัดและเก็บบันทึกค่า Indoor Environmental Quality (IEQ) แบบ Real-time ได้ เพื่อต้องการประเมินผล IEQ ภายในอาคารประเภทสำนักงาน การศึกษานี้ทำการออกแบบและพัฒนา Sensor สำหรับตรวจวัดค่า IEQ ทั้ง 4 องค์ประกอบขึ้นมาใหม่และทำการพัฒนาระบบ Building Energy Management Systems–Indoor Environmental Quality (BEMS-IEQ) Platform ซึ่ง BEMS-IEQ Platform นี้สามารถวิเคราะห์และแสดงข้อมูลโดยอัตโนมัติเพื่อการประเมินสมรรถนะของ IEQ ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรผู้เชี่ยวชาญและเครื่องมือในการตรวจวัด ข้อมูล IEQ ที่ได้จากการเก็บบันทึกยังสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการแก้ไขปัญหา IEQ ภายในอาคาร และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิจัยการและการออกแบบเพื่อให้เกิดการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IEQ ที่ระดับสากลยอมรับ BEMS-IEQ Platform จึงเป็นนวัตกรรมสำหรับใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ IEQ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของอาคารให้สูงขึ้น และสร้างความพึงพอใจ สุขภาพความเป็นอยู่ของผู้ใช้สอยอาคารอีกด้วย ซึ่ง BEMS-IEQ Platform นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นๆได้

คำสำคัญ : การจัดการพลังงาน, ระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงาน, คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร

Individual Study Title	Development of Building Energy Management and Monitoring Systems for Evaluating Indoor Environmental Quality in An Office Building
Author	Kriangsak Imtem
Individual Study Advisor	Asst. Prof. Aumnad Phdungsilp, Ph.D., Tekn. Dr.
Department	Engineering Management.
Academic Year	2018

ABSTRACT

The aim of this study was to develop the building energy management system for monitoring indoor environmental quality (IEQ) in office building by adding features that able to measure and harvest parameters of Indoor Environmental Quality (IEQ) in real-time. The study designed and developed new platform so-called "Building Energy Management Systems–Indoor Environmental Quality (BEMS-IEQ)" and new multi-sensors for measuring four IEQ parameters. The BEMS-IEQ Platform can analyze and show parameters on dashboard automatically and assessment of IEQ performance without the expert and measurement tools. IEQ database can be support IEQ field research and apply for building assessment. The BEMS-IEQ Platform is innovation for applying to improve IEQ and improve building performance, occupant satisfaction, and health and well-being. Finally, the BEMS-IEQ Platform can be applied in other building types.

Keywords: Energy Management, Building Energy Management System (BEMS), Indoor Environmental Quality (IEQ)

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารายบุคคลเรื่อง “การพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารประเภทสำนักงาน” สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยทางผู้จัดทำได้รับความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล ที่ได้ให้ความรู้ ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและทักษะกระบวนการคิดแก้ไขปัญหา อย่างดียิ่งตลอดระยะเวลาของการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์จาก คุณณรงค์ชัย ท้าวพันวงค์ ตำแหน่ง โปรแกรมเมอร์โครงการ ระดับอาวุโส บริษัท วงศ์ไพบูลย์เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด คุณณฤดม บางแก้ว ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท วงศ์ไพบูลย์เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด และคุณปิยพนธ์ เป็งกันทา ตำแหน่งวิศวกรวิจัยและพัฒนา บริษัท วงศ์ไพบูลย์เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด ที่ได้ช่วยในการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร และปรับปรุงแก้ไขซอฟแวร์ระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารให้เป็น BEMS-IEQ Platform จึงทำให้การศึกษารายบุคคลเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ชาย และครอบครัว ตลอดจนอาจารย์ทุกท่าน เจ้าหน้าที่สาขาวิชาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการประสานงานข้อมูล และเพื่อนร่วมชั้นปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรมทุกท่าน ที่คอยให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือ รวมทั้งให้กำลังใจที่ดียิ่งแก่ผู้วิจัยเสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการศึกษารายบุคคลเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่าน

เกรียงศักดิ์ อิ่มเต็ม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่

1 .บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.5 นิยามและคำจำกัดความ..... 5

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.2 แนวคิดโปรแกรมระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคาร (BEMS)…… 6

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับอาคารเขียว (Green Building)..... 20

2.4 แนวคิดเกี่ยวกับคุณภาพสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (IEQ)…… 22

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…… 26

3 .วิธีการดำเนินการศึกษา..... 28

3.1 Flow diagram แสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย)……..... 28

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนา IEQ sensor..... 29

3.3 การออกแบบอุปกรณ์ IEQ sensor……..... 30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4 การออกแบบสื่อสารของอุปกรณ์ IEQ	34
	3.5 การประกอบบอร์ดทดลองอุปกรณ์ IEQ sensor	36
	3.6 การพัฒนา BEMS-IEQ Platform	54
4.	ผลการศึกษา	56
	4.1 IEQ Sensor	56
	4.2 BEMS-IEQ Platform	57
5	.สรุปและอภิปรายผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	61
	5.1 สรุปผลการศึกษา	61
	5.2 ข้อเสนอแนะของการทำงานวิจัย	61
บรรณานุกรม		63
ประวัติผู้เขียน		66

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 List pf sensor included in IEQ sensor and their performance specifications.. 29

3.2 List pf sensor included in IEQ sensor and data output sending…..... 35

4.1 Compliance thresholds for IEQ categories……..... 57

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี……..... 2

2.1 BEMS เป็นเครื่องมือช่วยเปลี่ยนอาคารธรรมดา ให้เป็น Smart Building..... 7

2.2 สัดส่วนค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอาคาร..... 8

2.3 ระบบติดตามตรวจสอบกับค่าใช้จ่ายอาคาร..... 9

2.4 ตัวอย่างหน้าต่างแก้ไขผู้ใช้ระบบ ที่ให้กรอกข้อมูลอีเมลล์ เพื่อแจ้งเตือนหาก ระบบทำงานผิดปกติ..... 10

2.5 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการจัดการ ตำแหน่ง ของผู้ใช้ระบบ..... 11

2.6 แสดงตัวอย่างหน้าต่างตั้งค่าขอบเขตการใช้งาน…….. 11

2.7 ตัวอย่างระบบแสดงผลจัดทำรายงานผลวิเคราะห์ข้อมูล..... 12

2.8 แสดงตัวอย่างผลการทำ Baseline…… 12

2.9 ตัวอย่างหน้าจอหลักของเว็บไซต์..... 13

2.10 ตัวอย่างการแสดงค่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า แบบ Realtime…… 14

2.11 ตัวอย่างการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบ Load Profile ของโรงพยาบาล เทพรัตนเวชชานุกูลเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา…… 14

2.12 ตัวอย่างกราฟฟิกแสดงผลการแยกระบบมิเตอร์ แต่ละอาคาร ของโรงพยาบาล เทพรัตนเวชชานุกูลเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา…… 15

2.13 ตัวอย่างกราฟฟิกแสดงผลรวมของการใช้พลังงานทั้งหมด…… 16

21.4 ตัวอย่างระบบแสดงกราฟฟิก Geography, Building และ Floor Plan…… 16

2.15 ตัวอย่างการแสดงผลแบบกราฟแนวโน้มตามช่วงเวลา สามารถเรียกดูได้ทั้ง รายวัน รายเดือน และรายปี…… 17

2.16 แสดงตัวอย่างการใช้พลังงานแยกตามรายกลุ่มอุปกรณ์..... 18

2.17 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของมิเตอร์..... 18

21.8 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบไฟรวม……..... 19

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

21.9 ตัวอย่างแสดงผลดัชนีการใช้พลังงาน ต่อคนต่อพื้นที่ได้ (kWh/m^2)……... 19

2.20 ตัวอย่างระบบแสดงผลการประหยัดพลังงานในรูปของหน่วยเทียบเท่าต่าง ๆ.. 20

2.21 แสดง PMV equation ตามทฤษฎีของ Fanger's thermal comfort model…..… 24

2.22 แสดง PPD equation ตามทฤษฎีของ Fanger's thermal comfort model……. 25

3.1 แสดง Methodology diagram of the research..... 28

3.2 แสดง Dimension PCBA ของ IEQ sensor……..…… 30

3.3 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านหน้า.....……..... 31

3.4 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านบน..... 31

3.5 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านขวา..... 32

3.6 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านซ้าย..... 32

3.7 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านฐาน..... 33

3.8 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านหลัง..... 33

3.9 แสดงแบบ 3D render of the PCBA and important components ของ IEQ senso…… 34

3.10 Diagram Network Topology of BEMS-IEQ Platform…….. 36

3.11 Temperature and humidity sensor module…… 36

3.12 Globe temperature sensor…….. 37

3.13 Wind sensor module…….. 38

3.14 Sound level sensor module……..…… 39

3.15 Illuminance sensor module……..…… 40

3.16 Carbon dioxide sensor……..…… 41

3.17 Carbon monoxide module……. 42

3.18 Formaldehyde sensor module……..…… 43

3.19 Total volatile organic compounds sensor module…… 44

3.20 Particulate Matters PM2.5-PM10 sensor module……. 45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.21 Voltage step down module 3.3VDC, 5VDC……. 46

3.22 SD card module and micro SD card…….. 47

3.23 LED color…….. 47

3.24 Tact switch…… 48

3.25 Board controller ESP32……..…….…… 49

3.26 Real time clock module…… 50

3.27 สายไฟต่อวงจร..... 51

3.28 Protoboard……. 51

3.29 Adapter power supply 12VDC…….. 52

3.30 บอร์ดทดลองที่ต่อวงจรเสร็จเรียบร้อย..... 53

3.31 อัพโหลดโค้ดโปรแกรมลงบนบอร์ดทดลอง..... 53

3.32 BEMS dashboard อาคารสำนักงาน..... 54

3.33 BEMS equipment installation layout…… 55

4.1 Dashboard สำหรับเพื่อการตั้งค่า IEQ ของ BEMS-IEQ Platform..... 58

4.2 Dashboard สำหรับเพื่อข้อมูล Device ID ของ BEMS-IEQ Platform……..... 58

4.3 Function IEQ ที่เพิ่มเข้ามาที่ Dashboard BEMS-IEQ Platform..... 59

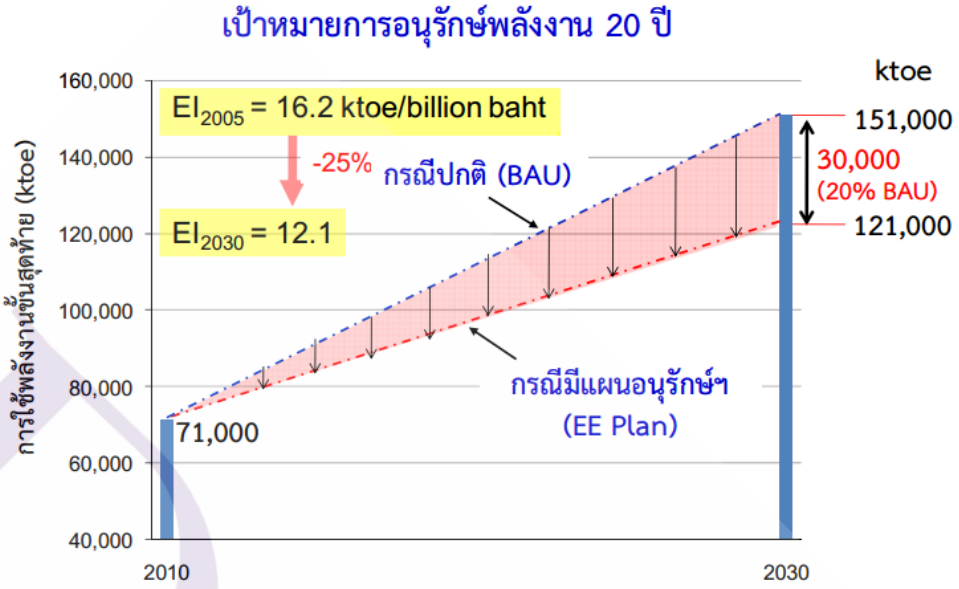
4.4 ค่าการตรวจวัด IEQ ของ Web Application BEMS-IEQ Platform..... 59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานถือว่าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและขับเคลื่อนเศรษฐกิจของทุกประเทศ สำหรับประเทศไทย การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจมีสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานดังนี้ สาขาอุตสาหกรรมการผลิต 37.1%, สาขาการขนส่ง 36.3%, สาขาบ้านอยู่อาศัย 14.3%, สาขาธุรกิจการค้า 6.7%, สาขาการเกษตรกรรม 5.2%, สาขาเหมืองแร่ 0.2%, สาขาการก่อสร้าง 0.2% (กระทรวงพลังงาน, 2559) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่างๆ โดยทั่วไปประกอบด้วยไฟฟ้าที่ใช้เพื่อแสงสว่าง การปรับอากาศ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ พัดลม ตู้เย็น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสาร ถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่ก็อาจจะมีลิฟต์ บันไดเลื่อน ประตูอัตโนมัติ และ เครื่องมือ เครื่องจักร เป็นต้น แนวทางหนึ่งในการอนุรักษ์พลังงานหรือการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับอาคารเอกชน บ้านที่อยู่อาศัย รวมทั้งอาคารของหน่วยงานราชการ คือ การปรับปรุงการออกแบบอาคารและเลือกใช้วัสดุที่ประหยัดพลังงานสำหรับอาคาร เช่น การออกแบบรูปทรงของอาคาร การเลือกใช้วัสดุ หลังคา วัสดุผนัง ประตู หน้าต่าง หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องน้ำร้อน ฯลฯ (ความร่วมมือระหว่างโครงการฯ, 2559)

จากข้อมูลในเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าเราต้องตระหนักถึงปัญหาของการใช้พลังงานจากอาคารสำนักงาน เพราะในทุกภาคส่วน ทุกองค์กรต้องมีอาคารสำนักงานในการดำเนินงาน และมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่สูงขึ้น และต่อไปพลังงานทดแทนจะต้องเข้ามามีบทบาทในอาคารสำนักงาน อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญในการจัดการพลังงานไฟฟ้า และพลังงานทดแทนโดยเจาะจงที่อาคารสำนักงาน การที่จะจัดการวางแผน และจัดการการใช้พลังงานให้ได้ดีที่สุดนั้น จำเป็นจะต้องทราบถึงข้อมูลการใช้พลังงานภายในตัวอาคารอย่างละเอียด และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ และวางแผนการใช้พลังงาน เพื่อให้เกิดการสูญเสียโดยไม่จำเป็นน้อยที่สุด ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคาร (BEMS) เพื่อตรวจวัดและเก็บข้อมูลพลังงานดังกล่าว และจากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) ซึ่งเป็นนโยบายพลังงาน ของกระทรวงพลังงานนั้น มีเป้าหมายสำคัญ คือ มีเป้าหมายที่จะลดความเข้มการใช้พลังงาน(energy intensity) ลง25% ในปี2573 เมื่อเทียบกับปี2548 หรือเทียบเท่า การลดการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย(final energy) ลง20% ในปี2573 หรือประมาณ30,000 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ(ktoe) (กระทรวงพลังงาน, 2554)



ภาพที่ 1.1 เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554, น.3)

โดยกำหนดกลยุทธการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 4 มาตรการหลัก คือ 1. มาตรการกฎหมาย 2. มาตรการด้านการเงินการลงทุน 3. มาตรการสร้างจิตสำนึก 4. มาตรการสร้างพัฒนาองค์ความรู้ โดยเฉพาะในมาตรการด้านกฎหมายนี้ ทำให้เกิดโครงการ Building Energy Code โดยการออกกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code) วัตถุประสงค์เพื่อกำหนดมาตรฐานของอาคารที่จะก่อสร้างใหม่ ให้มีการออกแบบ โดยให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะบังคับใช้กับอาคาร 9 ประเภท ขนาดตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร ขึ้นไป ได้แก่ 1.อาคารสำนักงาน 2. อาคารชุด 3. อาคารสถานบริการ 4. อาคารโรงมหรสพ 5.อาคารชุมนุมคน 6. โรงแรม 7. สถานพยาบาล 8.ห้างสรรพสินค้า 9. สถานศึกษา โดยเงื่อนไขการออกแบบ ได้แก่ กรอบอาคาร, ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง, ระบบปรับอากาศ, อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน, การใช้พลังงานรวม และส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน (กฎกระทรวง, 2552)

นับเป็นจุดเริ่มต้นก้าวสำคัญของการพัฒนาไปสู่อาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทยอย่างเป็นรูปธรรม และในการประเมินอาคารเพื่อให้เป็นอาคารเขียว (Green Building) นั้น ก็มีหลากหลายเกณฑ์ในการตรวจประเมินและเพื่อให้ได้รับการรับรอง การที่จะพิสูจน์ยืนยันว่าอาคารนั้นได้รับการออกแบบให้เป็น Green Building อย่างถูกวิธี จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดเป็นมาตรฐาน

ขึ้นมา ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการให้คะแนนตามรายการ (Checklist) หรือเรียกว่า แบบประเมินอาคาร ซึ่งปัจจุบัน ทั่วโลกได้พัฒนาแบบประเมินของตนเองออกมา เช่น ในประเทศไทยมีเกณฑ์ TREES (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability) ในประเทศอังกฤษ ได้มีการพัฒนาแบบประเมินอาคารเขียว เรียกว่า BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) หรือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ก็มีหน่วยงาน The U.S. Green Building Council (USGBC) ได้พัฒนาแบบประเมินอาคารที่เรียกว่า LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) เป็นที่น่าสังเกตว่า นอกเหนือจากการตรวจวัดเพื่อดูผลเรื่องของการเป็นอาคารประหยัดพลังงานซึ่งให้ความสำคัญกับตัวอาคารเป็นหลักแล้วนั้น ใน LEED และ TREES ยังมีการประเมิน Indoor Environmental Quality (IEQ) ซึ่งให้ความสำคัญกับคุณภาพของสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งได้แก่ คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Comfort) สภาวะน่าสบายเชิงเสียง (Acoustic Comfort) และสภาวะน่าสบายเชิงแสงส่องสว่าง (Visual Comfort) เป็นการให้ความสำคัญกับผู้ใช้อาคารเป็นอย่างมาก

โดยผู้ใช้อาคารนั้นจะใช้ส่วนใหญ่ของการทำงานอยู่ภายในอาคาร หากคุณภาพของอากาศภายในอาคารไม่ดีก็จะสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคารได้ หรือ นำพามาซึ่งความเจ็บป่วยเนื่องจากการใช้อาคาร (Sick building syndrome) จึงควรที่จะมีการตรวจวัดเพื่อประเมิน Indoor Environmental Quality (IEQ) เพื่อเป็นการตรวจสอบว่า คุณภาพสภาพแวดล้อมภายในอาคาร นั้นเหมาะสมและจะไม่ส่งผลกระทบด้านสุขภาพแก่ผู้ใช้อาคาร

ดังนั้น ผู้ทำการศึกษาจึงมีแนวคิด ที่จะประยุกต์ใช้โปรแกรมระบบการจัดการควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคาร(BEMS) ที่มีอยู่แล้ว มาพัฒนาเพิ่มคุณสมบัติให้สามารถตรวจวัดพร้อมเก็บบันทึกค่า IEQ Parameters ได้ และนำไปสู่การประเมินผลคุณภาพสภาพแวดล้อมภายในอาคารประเภทสำนักงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Building Energy Management Systems–Indoor Environmental Quality: BEMS-IEQ Platform) สำหรับอาคารสำนักงาน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการพัฒนา BEMS-IEQ Platform โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Building Energy Management Systems เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร

และเป็นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัด IEQ Sensor เพื่อให้สามารถที่จะทำการตรวจวัดและบันทึกค่า IEQ Parameters ของอาคารประเภทสำนักงานได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถแสดงผลค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมแบบ Real-time บน dashboard ในรูปแบบของ Web Application BEMS-IEQ Platform

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ได้ระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Building Energy Management Systems–Indoor Environmental Quality: BEMS-IEQ Platform) สำหรับอาคารสำนักงาน
2. ทำให้ได้อุปกรณ์ IEQ Sensor สำหรับใช้ในการตรวจวัดค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร

1.5 นิยามและคำจำกัดความ

บทนิยามและคำจำกัดความของคำศัพท์ ที่ใช้ในการทำความเข้าใจเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของงานวิจัย มีดังนี้

1. พลังงาน (Energy)

ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ไอน้ำ ความร้อน อากาศอัด และพลังงานรูปแบบอื่นๆ

2. ระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคา (Building energy management system)

คือระบบที่พัฒนาขึ้นโดยนำเทคโนโลยีด้านการสื่อสารและสารสนเทศ มาประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมพลังงาน ทำให้อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ในแต่ละส่วน สามารถเชื่อมต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน โดยมีเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายของอาคารอย่างยั่งยืน

3. อาคารเขียว (Green Building)

อาคารเขียว คือ อาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคาร เป็นอาคารที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยมีสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นเมื่อใช้อาคารนั้น

4. ข้อมูลฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline)

ปริมาณเชิงอ้างอิงเพื่อใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านพลังงาน

5. ปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption)

ปริมาณของพลังงานที่ใช้

6. ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency)

อัตราส่วนหรือความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างผลของสมรรถนะด้านพลังงาน การบริการ สินค้า หรือพลังงานที่ได้ (Output) เทียบกับพลังงานที่ใช้ (Input)

7. ลักษณะการใช้พลังงาน (Energy Use)

ลักษณะหรือชนิดของการใช้พลังงาน

8. เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (IEQ sensor)

เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัด คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality), สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Comfort), สภาวะน่าสบายเชิงเสียง (Acoustic Comfort) และสภาวะน่าสบายเชิงแสงส่องสว่าง (Visual Comfort)

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เป็นการศึกษาพัฒนาการใช้โปรแกรมระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคาร (BEMS) มาประยุกต์ใช้ตรวจวัดและเก็บบันทึกค่าสิ่งแวดล้อมภายในอาคารประเภทสำนักงาน เพื่อให้สามารถที่จะทำการตรวจวัดและบันทึกค่า IEQ Parameters ของอาคารประเภทสำนักงานได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้ผล IEQ Parameters ตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง โดยข้อมูล IEQ ที่บันทึกได้จะแสดงบน Dashboard ของ BEMS-IEQ Platform แบบ Realtime จากนั้นยังสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อทำการแก้ไขปัญหา IEQ ภายในอาคาร และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยการ และการออกแบบเพื่อให้เกิดการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียวที่ระดับสากลยอมรับเพิ่มขึ้น BEMS-IEQ Platform จึงเป็นนวัตกรรมสำหรับใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ IEQ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของอาคารให้สูงขึ้น และสร้างความพึงพอใจ สุขภาพความเป็นอยู่ของผู้ใช้สอยอาคารอีกด้วย ซึ่ง BEMS-IEQ Platform นี้ในอนาคตยังสามารถพัฒนาต่อยอดและนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นได้ต่อไป

2.2 แนวคิดโปรแกรมระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคาร (BEMS)

ปัจจุบันแทบทุกองค์กรเล็งเห็นความสำคัญในเรื่องของการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าเพื่อลดต้นทุนและยังสามารถช่วยลดปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง หากยังจะเป็นผลดีกับหน่วยงานเองและสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน การที่จะจัดการวางแผนและจัดการการใช้พลังงานให้ได้ดีที่สุดนั้น จำเป็นจะต้องทราบถึงข้อมูลการใช้พลังงานภายในหน่วยงานอย่างละเอียดและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และวางแผนการใช้พลังงานเพื่อให้เกิดการสูญเสียโดยไม่จำเป็นน้อยที่สุด

ในการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงาน (Building Energy Management :BEMS) ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้หลักการและเทคโนโลยีด้านระบบสื่อสารและสาระสนเทศที่ทันสมัยเข้ามาช่วยวิเคราะห์และจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามาวิเคราะห์จัดการและแสดงผลข้อมูลด้านพลังงานให้บุคลากรภายในหน่วยงานทราบ ซึ่งหากมีการปรับเปลี่ยนระบบดังกล่าวให้เป็นระบบบริหารจัดการพลังงาน ก็จะทำ

ให้การแจ้งเตือนหรือควบคุมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในอาคารมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดการมีส่วนร่วมของพนักงานในการลดการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน

ปัจจุบันระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคารหรือ Building Energy Management System (BEMS) ได้เริ่มถูกนำมาติดตั้งใช้งานในอาคารภาครัฐและภาคธุรกิจ โดยมีเป้าหมายลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการดำเนินงานของอาคารในระยะยาว ซึ่งระบบดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานของ Internet of Things ทำให้ผู้ใช้งานทั้งในระดับผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ดูแลอาคาร หรือพนักงานประจำสามารถเข้าไปติดตามการใช้พลังงานได้ถึงหน่วยย่อยสุดรวมถึงควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ภายในอาคารผ่านทางระบบ Internet หรือ Intranet ของหน่วยงาน อะไรคือ Building Energy Management System (BEMS)

BEMS คือระบบที่พัฒนาขึ้นโดยนำเทคโนโลยีด้านการสื่อสารและสารสนเทศ มาประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมพลังงาน ทำให้อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ในแต่ละส่วนสามารถเชื่อมต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน โดยมีเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายของอาคารอย่างยั่งยืน ซึ่งจะเป็นเครื่องมือสำคัญที่เปลี่ยน อาคารธรรมดา หรือ โรงงานธรรมดาให้เป็น Smart Building หรือ Smart Factory (ดังแสดงในภาพที่ 2.1)

ภาพที่ 2.1 BEMS เป็นเครื่องมือช่วยเปลี่ยนอาคารธรรมดา ให้เป็น Smart Building

ระบบ BEMS สามารถบริหารจัดการการทำงานได้ในระบบเดียวจากหลากหลายอุปกรณ์ ซึ่ง BEMS จะต่างจากระบบ BAS – Building Automation System และ DDC – Direct Digital Control ที่ใช้งานมานานและแพร่หลายตามอาคารขนาดใหญ่โดยส่วนใหญ่ที่จะทำงานแยกกันตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบไฟส่องสว่าง ระบบปั๊มน้ำ เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดสามารถควบคุมสั่งงานได้จากห้องควบคุมเท่านั้น และแยกซอฟต์แวร์กันทำงานทำให้การบริหารจัดการนั้น ยุ่งยากซับซ้อน โดย BEMS จะนำความสามารถของ ระบบ BAS และ DDC มา

อย่างครบถ้วน แต่เพิ่มเติมให้จากเดิมที่สนใจแค่การควบคุมให้รวดเร็วฉับไว แต่ทำให้การควบคุมนั้นมีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพด้วย

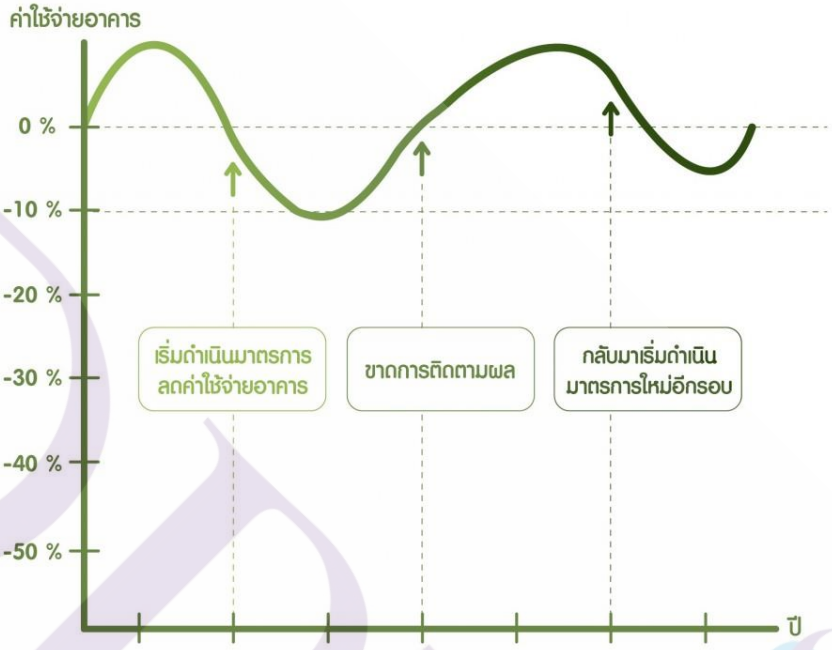
โดยส่วนสำคัญของ BEMS ที่จะช่วยให้สามารถจัดการพลังงานได้อย่างยั่งยืน และมีประสิทธิภาพ คือระบบตรวจวัดพลังงานที่จะเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะคอยติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจสอบเหตุการหรือการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง และไม่จำเป็น แล้ววิเคราะห์แสดงผลให้ทราบได้ในทันที

ซึ่งเราจำเป็นต้องทำให้อาคารหรือโรงงานเราเป็น Smart Building เพื่ออะไร คำตอบคือถ้าต้องการลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอาคาร ไม่ว่าจะเป็น ค่าบริหารจัดการ ค่าซ่อมบำรุง และค่าไฟ (ดังแสดงในภาพที่ 2.2) ให้ได้อย่างจริงจังให้ สำเร็จได้จริงลดได้จริง BEMS คือเครื่องมือสำคัญดังนี้

ภาพที่ 2.2 สัดส่วนค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอาคาร

จากรูปด้านบนจะเห็นว่า อาคารหรือโรงงาน เมื่อใช้งานมา 5 ปี 10 ปี แรก ค่าก่อสร้างโรงงานดูคล้ายกับจะมีมูลค่าสูง เมื่อเวลาผ่านไปครับ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามจำนวนปีที่เราใช้งานคือ“ค่าบริหารจัดการและซ่อมบำรุงอาคาร” กับ “ค่าไฟ”

และส่วนใหญ่ ตั้งนโยบายมาหลายปีจะลดค่าใช้จ่ายจำพวกนี้ ปัจจุบันยังไม่สำเร็จและเป็นที่น่าพอใจ ไม่ใช่ว่าทางบริษัทหรือองค์กรนั้น ๆ ไม่ใส่ใจหากแต่ ยังไม่มีระบบติดตามตรวจสอบที่ดี การลดค่าใช้จ่ายส่วนนี้เลยกลายเป็น ทำกันเป็นครั้งคราว (ดังแสดงในภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ระบบติดตามตรวจสอบกับค่าใช้จ่ายอาคาร

ประโยชน์ในการนำระบบ BEMS มาใช้

ซึ่งเมื่อนำระบบ BEMS มาใช้งานนั้น คาดว่าจะเกิดประโยชน์เบื้องต้นดังนี้

1) ลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการและเพิ่มศักยภาพในการบริหารจัดการอาคาร จากรูปแบบเดิมมาเป็นรูปแบบการควบคุมอุปกรณ์ผ่านทาง Smart Device พร้อมระบบการแจ้งเตือนและระบบการจัดทำรายงานแบบอัตโนมัติ

2) เพิ่มการมีส่วนร่วมในการลดการใช้พลังงานของหน่วยงานผ่านช่องทาง Smart Device ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์, Tablet และ Smart Phone

3) สนับสนุนการนำผลการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงานมาเป็นตัวชี้วัดในการดำเนินงานของหน่วยงาน

4) รองรับการเชื่อมต่อกับ Green Technology รูปแบบต่าง ๆ อาทิ Solar Roof top, กังหันลมขนาดเล็ก และ สถานีชาร์ตประจุรถไฟฟ้า

คุณลักษณะของโปรแกรมบริหารจัดการพลังงานอาคาร มีดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทั่วไป

1. เป็นโปรแกรมที่ใช้ Web Base Technology ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลการแสดงผลผ่านเครือข่าย Internet, intranet โดยใช้งาน Standard Web Browser และไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมใด ๆ เพิ่มเติมสามารถเพิ่มเติมมิเตอร์ และอุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ ในภายหลังได้ และไม่จำกัด User ในการใช้

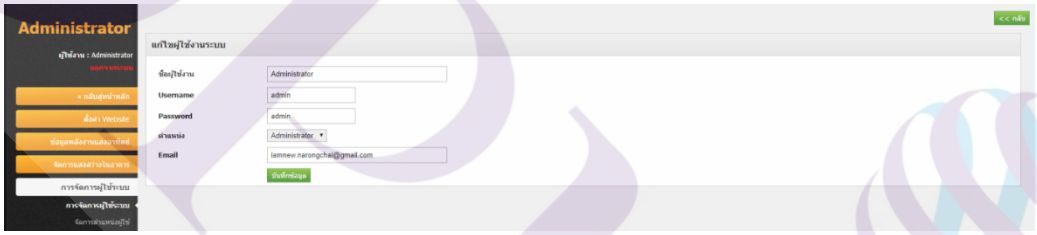
2. รองรับการใช้งานหากปรับเปลี่ยนไปใช้งานฐานข้อมูลแบบ Cloud Server ในอนาคต

3. ใช้ SQL หรือ My SQL เป็นฐานข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูล

4. บันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมิเตอร์ลงในฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ

5. สามารถเชื่อมต่อและแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนด้วย Protocol Modbus TCP, Modbus RTU

6. สามารถบันทึกเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างหน้าต่างแก้ไขผู้ใช้ระบบ ที่ให้กรอกข้อมูลอีเมลล์ เพื่อแจ้งเตือนหากระบบทำงานผิดปกติ

7. สามารถแสดงผลและให้สิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลได้อย่างน้อย 3 กลุ่มผู้ใช้งาน ได้แก่ กลุ่มผู้บริหาร กลุ่มพนักงาน และผู้ดูแลระบบ (ดังแสดงในภาพที่ 2.5) โดยมี Password เป็นตัวควบคุม (ดังแสดงในภาพที่ 2.6)

ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการจัดการ ตำแหน่ง ของผู้ใช้ระบบ

ภาพที่ 2.6 แสดงตัวอย่างหน้าต่างตั้งค่าขอบเขตการใช้งาน

8. รองรับและเลือกการแสดงผลทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษได้ ทั้งในส่วนของหน้าจอ และการบันทึกข้อมูล

9. ใช้มาตรฐานในการสื่อสารแบบเปิด เช่น Modbus, BACnet เพื่อให้ง่ายแก่การพัฒนาต่อยอด และไม่ให้เกิดการผูกขาดทางเทคโนโลยี และจะต้องสามารถเข้าถึงได้ทางระบบเครือข่ายภายในองค์กร

10. สามารถรองรับการเข้าใช้งานพร้อมกันได้อย่างน้อย 100 การเชื่อมต่อ

11. สามารถจัดทำรายงาน (Report) การใช้พลังงานที่เกิดขึ้นตามแบบ (Template) ที่ กฟภ. ต้องการได้แบบอัตโนมัติ (ดังแสดงในภาพที่ 2.7)

ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างระบบแสดงผลจัดทำรายงานผลวิเคราะห์ข้อมูล

12. สามารถนาเข้า (Import) ค่าพลังงานไฟฟ้าย้อนหลังเพื่อจัดทำ Base Line Energy จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังได้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.8)

ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างผลการทำ Baseline

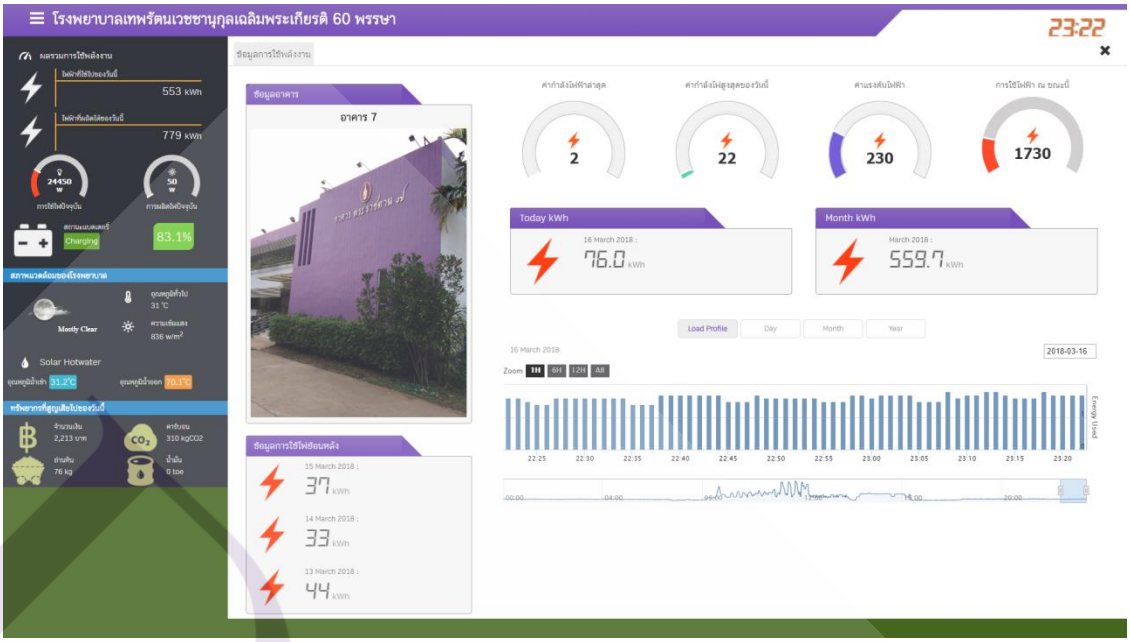
13. สามารถ Export ข้อมูลจากมิเตอร์ในรูปแบบไฟล์ Excel นามสกุล .crv หรือ .xls

<u>การแสดงผล</u>

1. สามารถแสดงผลในลักษณะ Dashboard โดยสามารถแยกผู้ใช้งานตามประเภทผู้ใช้งาน อาทิ ผู้บริหาร พนักงานทั่วไป และ ผู้ดูแลระบบ (ดังแสดงในภาพที่ 2.9)

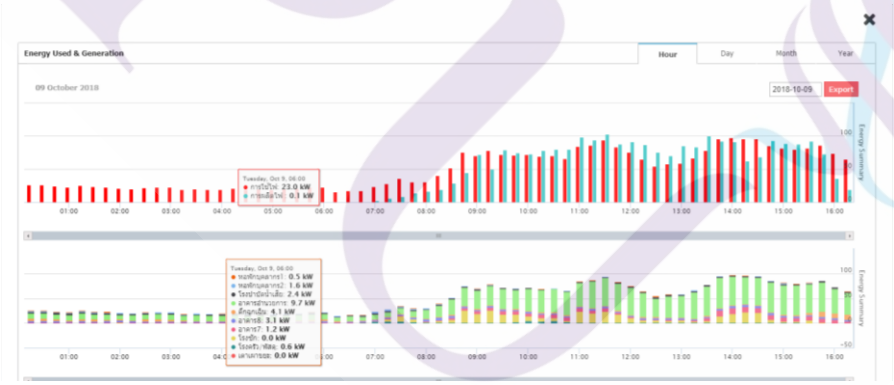
ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างหน้าจอหลักของเว็บไซต์

2. สามารถแสดงผลค่าตัวชี้วัดทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ เช่น ค่ากระแส, ค่าแรงดัน, ค่ากำลังงานไฟฟ้าจริง, ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า, และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ได้ แบบ Real Time หรือตามช่วงเวลาที่กำหนด เช่น ทุกๆ 3 วินาที ทุกๆ 5 วินาที (ดังแสดงในภาพที่ 2.10)



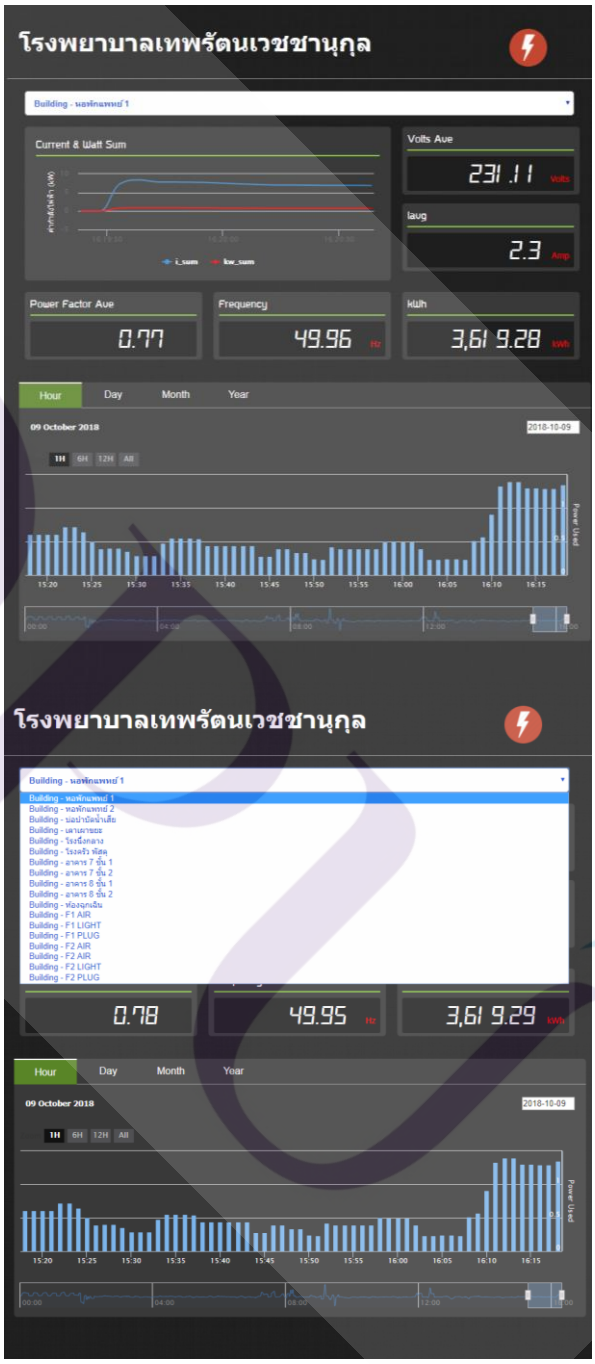
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการแสดงค่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า แบบ Real Time

3. สามารถแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบ Load Profile (ดังแสดงในภาพที่ 2.11)

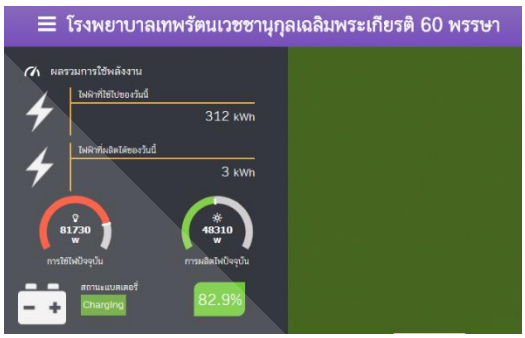


ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบ Load Profile ของโรงพยาบาลเทพรัตนเวชชานุกูลเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา

4. สามารถแสดงผลแยกเป็นรายมิเตอร์หรือแสดงผลรวมหลายๆ มิเตอร์ ตามที่ กฟภ. ต้องการได้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.12, 2.13)

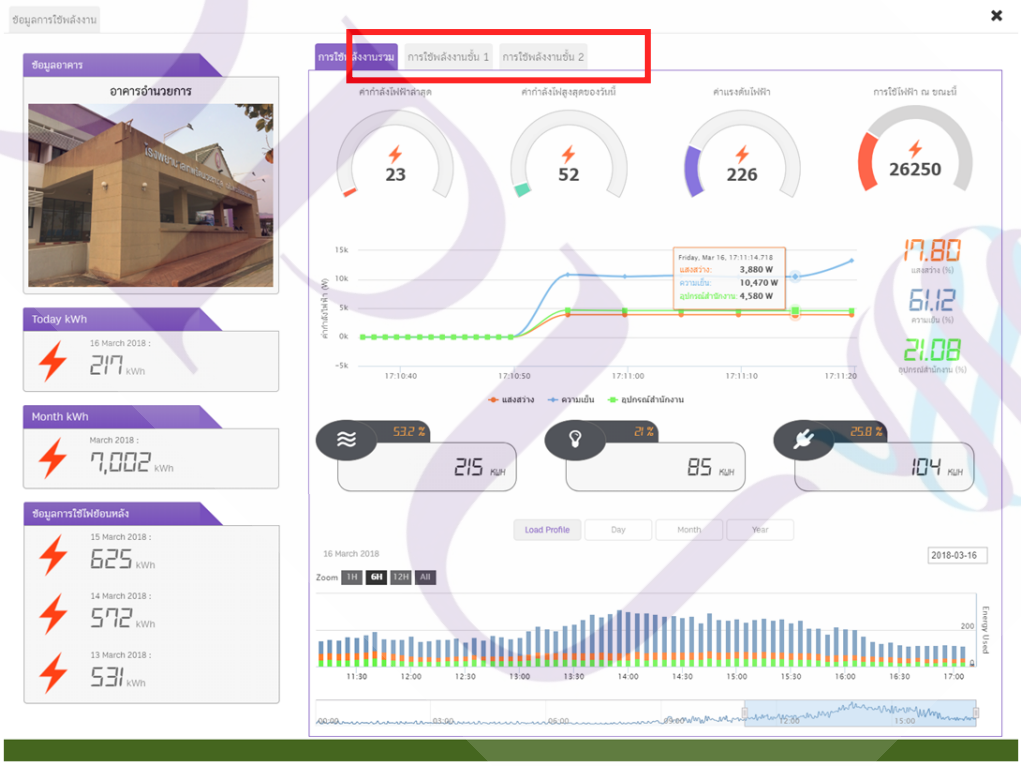


ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างกราฟฟิกแสดงผลการแยกระบบมิเตอร์ แต่ละอาคาร ของโรงพยาบาลเทพรัตนเวชชานุกูลเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา



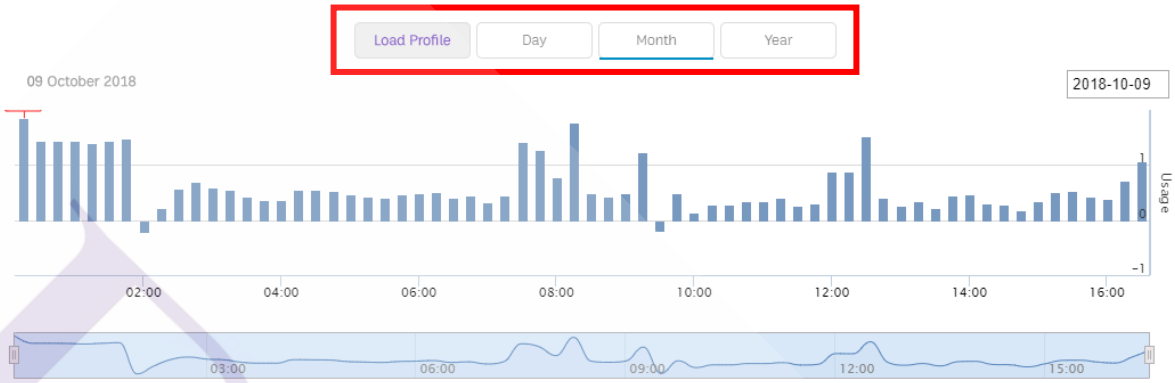
ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างกราฟฟิกแสดงผลรวมของการใช้พลังงานทั้งหมด

5. สามารถแสดงผลแบบ Geographic View, Building และ Floor Plan เพื่อแสดงค่าการใช้พลังงานในแต่ละตึกหรือแต่ละชั้น (ดังแสดงในภาพที่ 2.14)



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างระบบแสดงกราฟฟิก Geography, Building และ Floor Plan

6. สามารถแสดงผลแบบกราฟแนวโน้มตามช่วงเวลา เช่น การใช้พลังงานรายวัน การใช้พลังงานรายเดือน การใช้พลังงานรายปี (ดังแสดงในภาพที่ 2.15)



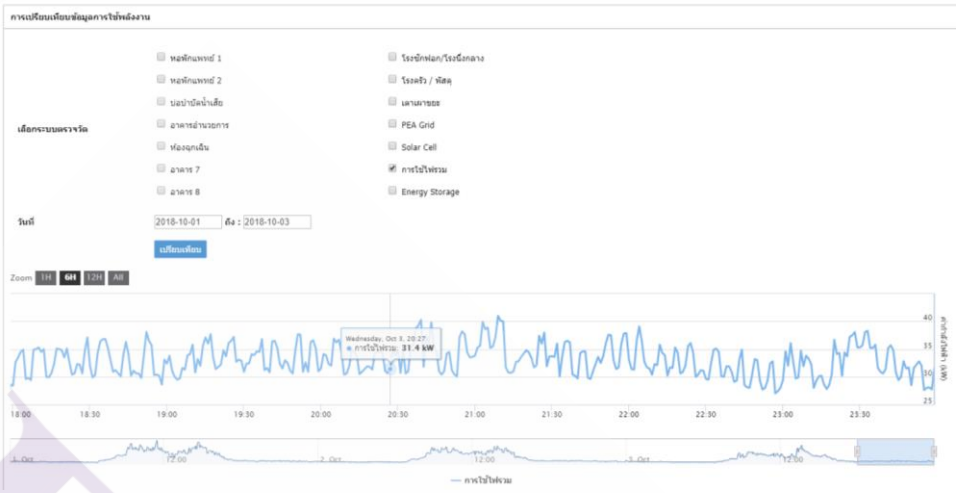
ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างการแสดงผลแบบกราฟแนวโน้มตามช่วงเวลา สามารถเรียกดูได้ทั้งรายวันรายเดือน และรายปี

7. สามารถแสดงผลการใช้พลังงานแยกตามรายกลุ่มอุปกรณ์หรือระบบ (ในกรณีมีมิเตอร์ติดตั้งแยกตามรายอุปกรณ์หรือระบบ) (ดังแสดงในภาพที่ 2.16)

ภาพที่ 2.16 แสดงตัวอย่างการใช้พลังงานแยกตามรายกลุ่มอุปกรณ์

8. สามารถแสดงผลเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของมิเตอร์หรือระบบได้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.17, 2.18)

ภาพที่ 2.17 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของมิเตอร์



ภาพที่ 2.18 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบไฟรวม

9. รองรับการเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ไม่น้อยกว่า 3 ปี

10. สามารถนำข้อมูลด้านพลังงานไฟฟ้า และข้อมูลอื่น ๆ เช่น พื้นที่ อาคาร, อัตราค่าไฟฟ้า มาประมวลผลและแสดงผลเป็น ข้อมูลต่าง ๆ เช่น ค่าไฟฟ้า, ดัชนีการใช้ไฟต่อพื้นที่ (kWh/m^2), ค่า Ktoe, ค่าอัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 (ดังแสดงในภาพที่ 2.19, 2.20)

ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างแสดงผลดัชนีการใช้พลังงาน ต่อคนต่อพื้นที่ได้ (kWh/m^2)

ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างระบบแสดงผลการประหยัดพลังงานในรูปของหน่วยเทียบเท่าต่าง ๆ

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับอาคารเขียว (Green Building)

อาคารเขียว คือ อาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคาร เป็นอาคารที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยมีสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นเมื่อใช้อาคารนั้น (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2555)

หลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว (Green Building) ตามเกณฑ์ การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability : TREES) กำหนดโดยสถาบันอาคารเขียวไทย (Thai Green Building Institute) แบ่งหลักเกณฑ์การประเมินออกเป็น 8 หมวด ดังนี้

1. การบริหารจัดการอาคาร (Building Management)
2. ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape)
3. การประหยัดน้ำ (Water Conversation)
4. พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere)
5. วัสดุ และทรัพยากรในการก่อสร้าง (Material and Resources)
6. คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality)
7. การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection)
8. นวัตกรรม (Green Innovation)

ในรายละเอียดของเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) มีเกณฑ์การประเมินที่คล้ายกับเกณฑ์มาตรฐาน LEED และเกณฑ์การประเมินบางเครดิตทางสถาบันอาคารเขียวไทยได้ปรับปรุงให้สอดคล้องกับบริบทและลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2553) และรายละเอียดการดำเนินงานตามมาตรฐาน TREES

สามารถศึกษาได้จากคู่มือสำหรับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่ (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2555)

อาคารเขียว เป็นอาคารที่มีการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันเป็นกระแสที่ทั่วโลกให้ความสำคัญมีการ คิดค้น และพัฒนาเทคโนโลยีตั้งแต่การออกแบบ ก่อสร้าง การใช้อาคาร และมีสถาบันรับรองมาตรฐานอย่างเป็นทางการหลายสถาบัน

การประเมินอาคารเพื่อให้เป็นอาคารเขียว (Green building) นั้น ก็มีหลากหลายเกณฑ์ในการตรวจประเมินและเพื่อให้ได้รับการรับรอง การที่จะพิสูจน์ยืนยันว่าอาคารนั้นได้รับการออกแบบให้เป็น Green building อย่างถูกวิธี จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดเป็นมาตรฐานขึ้นมา ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการให้คะแนนตามรายการ (Checklist) หรือเรียกว่า แบบประเมินอาคาร ซึ่งปัจจุบัน ทั่วโลกได้พัฒนาแบบประเมินของตนเองออกมา เช่น ในประเทศไทยมีเกณฑ์ TREES (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability) ในประเทศอังกฤษ ได้มีการพัฒนาแบบประเมินอาคารเขียว เรียกว่า BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) หรือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ก็มีหน่วยงาน The U.S. Green Building Council (USGBC) ได้พัฒนาแบบประเมินอาคารที่เรียกว่า LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) ซึ่งได้แยกเกณฑ์ การให้คะแนนเป็นข้อ ๆ ดังนี้ โดยอาคารที่ผ่านเกณฑ์แต่ละข้อก็จะได้คะแนนสะสม จนได้คะแนนรวมเพื่อจัดระดับการรับรอง เช่น ระดับ LEED Certification, LEED Silver, LEED Gold, LEED Platinum จากการศึกษาอาคารเขียวโดยเกณฑ์ LEED V.4 พบว่า มีเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับหัวข้อ คุณภาพสภาพแวดล้อมภายใน (Indoor Environmental Quality) คะแนน 16 คะแนนจาก 110 คะแนน ซึ่งภายในหัวข้อย่อยประกอบไปด้วย การระบายอากาศ การควบคุมอุณหภูมิ และการ ออกแบบระบบความคุมอุณหภูมิภายใน แสงสว่างธรรมชาติ การควบคุมสารพิษที่ก่อให้เกิดอันตราย ต่อผู้ใช้อาคาร เช่น สีทาภายใน พรม ส่วนประกอบของกาว และสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งภายใน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร

จุดประสงค์ของหลักเกณฑ์ในหมวดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร คือ การ ควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารเพื่อสภาวะอยู่สบายและสุขภาพที่ดีของผู้ใช้อาคาร โดยพิจารณา ในเรื่องการระบายอากาศ การดำเนินการจัดการกับมลภาวะทางอากาศ ที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งในระหว่าง การก่อสร้างและระหว่างการใช้งานอาคาร การเลือกใช้วัสดุที่มีสารระเหยที่เป็นพิษต่ำ การส่งเสริมสภาวะอยู่สบายที่ผู้ใช้อาคารสามารถควบคุมได้เอง การใช้แสงธรรมชาติและการออกแบบอาคารให้มองเห็นบรรยากาศภายนอก รวมถึงการป้องกันการเกิดเชื้อราที่อาจจะเกิดขึ้นด้วย

2.4 แนวคิดเกี่ยวกับคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality : IEQ)

จากการศึกษาสภาพแวดล้อมการทำงานของผู้ใช้อาคารสำนักงานในประเทศฟินแลนด์และประเทศเนเธอร์แลนด์ (Peggie M. Rothe, 2011) ได้มีการศึกษาถึงความแตกต่างในช่วงอายุที่ให้ความสำคัญที่แตกต่างกัน คือ (1) รูปแบบการใช้งาน และความสบายของพื้นที่ทำงาน (2) มีช่วงเวลาในการใช้สมาธิ และ (3) การเข้าถึงของอาคาร เป็น 3 อันดับแรกที่ถูกให้ความสำคัญมากที่สุด การศึกษายังระบุถึงลักษณะกายภาพของพื้นที่ทำงานควรจัดให้พนักงานมีความเพลิดเพลิน ความสบาย และสภาพแวดล้อมที่ดีจะสนับสนุนต่อกิจกรรมของพนักงาน การไม่เข้าใจความคาดหวังของพนักงานที่มีต่อสถานที่ทำงานอาจนำไปสู่ความไม่สมบูรณ์แบบของสถานที่ทำงาน เพื่อผลการทำงานประสบความสำเร็จที่สุด ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความสบายของด้านกายภาพจากสภาพแวดล้อมในสำนักงาน จึงมีผลกระทบต่อผลการทำงานของผู้ใช้สำนักงาน (Haynes Barry, 2008) ส่วนผู้ที่ไม่มีความพึงพอใจในอุณหภูมิอากาศ คุณภาพของอากาศ แสงสว่าง และการควบคุมเสียง ภายในสำนักงาน เป็นไปได้มากว่าจะระบุความไม่พึงพอใจต่อสิ่งเหล่านี้เป็นเหตุ และส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานด้อยลงในการศึกษานี้ จึงระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อผู้ใช้อาคารโดยตรง 4 ปัจจัย ได้แก่ (1) คุณภาพของอากาศภายใน (indoor air quality) (2) อุณหภูมิภายใน (thermal comfort) (3) แสงสว่าง(lighting) (4) เสียง (noise) รายละเอียดของแต่ละปัจจัย มีดังต่อไปนี้

2.4.1 คุณภาพของอากาศภายใน (indoor air quality)

Dorgan & Dorgan (2005) กล่าวไว้ว่าจากการศึกษาวรรณกรรมต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า ช่วงระยะเวลาในการทำงานในออฟฟิศของพนักงานที่ยาวนาน มีสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ คือ คุณภาพอากาศภายในอาคารที่จะต้องมีคุณภาพเหมาะสม พวกเขาได้สรุปว่า ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของสภาพแวดล้อม สุขภาพ และผลการปฏิบัติงานของพนักงานในอาคาร มีความสัมพันธ์กันซึ่งหากคุณภาพของอากาศภายในไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่เหมาะสมจะมีผลต่อสุขภาพ และผลการปฏิบัติงานของพนักงาน จากการศึกษาในงานวิจัยที่มีการชี้วัดผลการปฏิบัติงานเป็นหลัก พบว่าค่าเฉลี่ยของผลการปฏิบัติงานที่ลดลงร้อยละ 10 สาเหตุจากคุณภาพอากาศภายในที่ไม่ดีดังนั้น เมื่อมีการพัฒนาคุณภาพอากาศให้ดีขึ้น ค่าเฉลี่ยของผลการปฏิบัติงานของพนักงานจะสามารถเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 ซึ่งส่วนใหญ่ของงานวิจัยให้ความสำคัญในการศึกษาของอาคารสำนักงาน และโรงเรียน ซึ่งเป็นประเภทอาคารที่ผู้ใช้อาคารใช้ระยะเวลานาน

2.4.2 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (thermal comfort)

การจัดให้มีอุณหภูมิที่สบายสำหรับผู้ใช้สำนักงานเป็นสิ่งที่ท้าทาย ซึ่งในความเป็นจริงในแต่ละคนจะมีความร้อนจากร่างการแผ่ออกมาแตกต่างกัน เช่น จากจำนวน หรือลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ กิจกรรมที่ทำ และความถี่ของกิจกรรมที่ต่างกัน (Dwyer, 2006)เช่นเดียวกับงานวิจัย

สภาวะความไม่สบาย (สุภารัตน์. กูสกานา กูบาฮา, 2555) ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดความไม่สบายของอุณหภูมิภายในอาคารที่มีการปรับอากาศ ซึ่งนอกจากจะกล่าวถึงตัวแปรด้านบุคคล คือ กิจกรรมที่ทำอยู่ (activity level) และ ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ (clothing) ยังมีตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (air temperature) อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature) ความชื้นสัมพันธ์อากาศ (relative humidity) และความเร็วอากาศ (air velocity) จากตัวแปรที่ทำการศึกษา พบว่าความไม่สบายของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น อาจจะมาจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีความสมดุล (asymmetric environment) ซึ่งมาจากความต่างกันของคน และสภาวะแวดล้อม เช่นความร้อนจากผนังด้านซ้ายและด้านขวาไม่เท่ากัน จากการศึกษาพบว่าความร้อนจากเพดาน (warm ceiling) ส่งผลให้มีค่าความไม่พึงพอใจของคนมากที่สุด ส่วนของการศึกษาความไม่สบายของอุณหภูมิต่อสภาวะแวดล้อมในอาคารที่มีกระจกเป็นกรอบอาคารจึงมีแสงแดดที่ผ่านเข้ามาในอาคารได้ ซึ่งเป็นสาเหตุท าให้คนที่ใช้พื้นที่ในส่วนที่ได้รับแสงแดดที่มีความร้อนผ่านเข้ามาด้วยจะเกิดความรู้สึกไม่สบายได้ ดังนั้นเป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบที่ต้องหลีกเลี่ยงการเกิดความไม่สบายของอุณหภูมิในการออกแบบอาคารจากสภาวะไม่สมดุลสภาพอากาศที่ทำให้รู้สึกสบาย มีสภาวะที่อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นที่พอเหมาะ และไม่ทำให้มนุษย์รู้สึกร้อนหรือหนาวเกินไป สภาวะสบายของอุณหภูมิ คือ ความรู้สึกที่ตัวเราไม่สูญเสียความร้อน หรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อมเป็นสภาวะที่สมดุลทางอุณหภูมิ โดยปราศจากความรู้สึกร้อน และเปียกชื้นที่ผิวหนัง โดยความเปียกชื้นที่ผิวหนังก็คือเหงื่อที่ตกค้างไม่อาจระเหยจากผิวหนังได้โดยเร็ว ขีดความสบายขึ้นอยู่กับความเคยชินในแต่ละภูมิประเทศมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ฯลฯ

ในส่วนของสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมินั้น (thermal comfort) จะแสดงออกมาเป็นค่าดัชนีสภาวะน่าสบายที่สำคัญสองค่าตามมาตรฐาน ISO 7730 คือ PMV (Predicted Mean Vote) และ PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) โดยค่านั้นได้มาจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณตามทฤษฎีของ Fanger's thermal comfort model (Fabbri, 2015) โดยเริ่มจากการคำนวณเพื่อหาค่า PMV จากสมการคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$PMV = \left[0.303 \cdot e^{(-0.036 \cdot M)} + 0.028\right] \cdot \{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99\,(M - W) - p_a] - 0.42 \cdot [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (tr + 273)^4\right] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

where

t_{cl} is the *clothing surface temperature* (°C), between 0 and 0.310 m^2 K/W (0–2 clo), calculated with the formula

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{3.96 \times 10^{-8} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (tr + 273)^4\right] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\right\}$$

h_c is the convective heat transfer coefficient (W/m^2 K), calculated with the two formulas

$$h_c = 2.38[t_{cl} - t_a]^{0.25} \quad \text{if} \quad 2.38[t_{cl} - t_a]^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}}$$
$$h_c = 12.1\sqrt{v_{ar}} \quad \text{if} \quad 2.38[t_{cl} - t_a]^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}}$$

f_{cl} is the clothing surface area factor, calculated with the one of the due formulas

$$f_{cl} = 1.00 + 1.290 \cdot I_{cl} \quad \text{if} \quad I_{cl} \leq 0.078\ m^2K/W$$
$$f_{cl} = 1.05 + 0.645 \cdot I_{cl} \quad \text{if} \quad I_{cl} \leq 0.078\ m^2K/W$$

ภาพที่ 2.21 แสดง PMV equation ตามทฤษฎีของ Fanger's thermal comfort model

ที่มา: Fabbri, 2015, pg. 85

โดยตัวแปรอื่นๆ ในสมการคณิตศาสตร์มีความหมายดังนี้ (Fabbri, 2015)

M is the metabolic rate (W/m^2), calculated according to ISO8996which depends on the subject and is calculated in relation to the area of Dubois, given that the equation relates to an adult to use in the case of children it is necessary identify the metabolic rate equivalent of the child rather than an adult. The equation is valid in the range of 46–232 W/m^2 (0.8–4 m);

L is the effective mechanical power (W/m^2), usually equal to 0 if it is conducted moderate physical activities;

t_a is the air temperature (°C) of indoor environment (range between 10 and 40°C);

t_r is the mean radiant temperature (°C) of indoor environment, measured with a globe thermometer (range between 10 and 40°C);

var is the relative air velocity (m/s), affecting convective thermal exchange of skin/clothing and air, with a range from 0 and 1 m/s;

pa is the water vapour partial pressure (Pa), that affects thermal exchanges evapotranspiration due to breathing and sweat (range between 0 and 2700 Pa).

เมื่อคำนวณค่า PMV ได้แล้ว จึงนำมาแทนค่าลงในสมการคณิตศาสตร์เพื่อหาค่า PPD ต่อไป

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179\ PMV^2)$$

ภาพที่ 2.22 แสดง PPD equation ตามทฤษฎีของ Fanger's thermal comfort model

ที่มา: Fabbri, 2015, pg. 86

ในงานวิจัยนี้จึงแสดงผลการตรวจวัดของสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (thermal comfort) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 7730 ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นค่าดัชนีสภาวะน่าสบาย คือ PMV (Predicted Mean Vote) และ PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) โดยค่าที่แสดงนั้นได้มาจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณตามทฤษฎีของ Fanger's thermal comfort model (Fabbri, 2015)

2.4.3 สภาวะน่าสบายเชิงแสงสว่าง (lighting comfort)

แหล่งกำเนิดของแสง แยกตามประเภทคือ แสงจากธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และแสงประดิษฐ์ขึ้น คือ แสงที่ได้จากการประดิษฐ์จากมนุษย์ เช่น หลอดไฟ ส่วนความเข้มแสง (Illuminance) หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่กำหนด มีหน่วยวัดเป็นลักซ์ (Lux) มาตรฐานของแสงสว่างที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคารสำนักงาน กำหนดขึ้นโดยกระทรวงแรงงาน กำหนดความเข้มของแสงสว่างไว้ 400-500 ลักซ์ หากต่ำหรือสูงกว่านี้อาจก่อให้เกิดความไม่สบาย หรือเป็นอันตรายได้

2.4.4 สภาวะน่าสบายเชิงเสียง (Acoustic comfort)

เสียง คือพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของอากาศทำให้เกิดการอัด และขยายสลับกันเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศ เรียกว่า คลื่นเสียง ความดังของเสียง (noise) ขึ้นอยู่กับความสูง หรือแอมปลิจูด (amplitude) ของคลื่นเสียง ส่วนความทุ้มแหลมของเสียงขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียง (frequency of sound) หมายถึง จำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศในหนึ่งวินาที มีหน่วยวัด คือ รอบต่อวินาที เรียกว่า เฮิรตซ์ (Hertz; Hz) ส่วนหน่วยวัดความดังของสียง คือ เดซิเบล (dB) หรือเดซิเบลเอ (dBA)วัดค่าความดังเสียงที่ใกล้เคียงกับการตอบสนองต่อเสียงของหูมนุษย์(TWA; Time Weighted Average) ค่าเฉลี่ยระดับความดังเสียงตลอดระยะเวลาการสัมผัสเสียง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยเรื่อง Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55 (Schiavon et al., 2013)

ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณและแสดงผลสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ ในรูปแบบ web application ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55-2010 และ 2013 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ที่เคยมีอยู่แล้ว มีข้อจำกัดของเทคนิคการคำนวณสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ ผู้ทำการวิจัยจึงได้นำเสนอเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถคำนวณได้อย่างสะดวกสบายมากขึ้น การแสดงผลแบบ web application ซึ่งไม่มีค่าใช้จ่าย รวมถึงสามารถที่จะคำนวณค่าได้หลายรูปแบบโดยข้อมูลต่างๆ จะเชื่อมโยงกันอย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยที่มีคุณสมบัติหลัก คือ สามารถแสดงผล comfort zone บน Psychrometric Chartได้ในรูปแบบ dynamic platform แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้น, adaptive chart, โมเดลการแสดงผลของการเพิ่มขึ้นของความเร็วลม, การประเมินความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ, การเปรียบเทียบมาตรฐานความน่าสบายเชิงุณหภูมิตาม LEED, metabolic activity และตาราง clothing insulation ตามมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถที่จะนำไปใช้ได้หลากในงานของสถาปนิก งานวิศวกรรม ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับงานอาคาร รวมถึงผู้ที่สนใจที่จะศึกษาในหัวข้อสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ

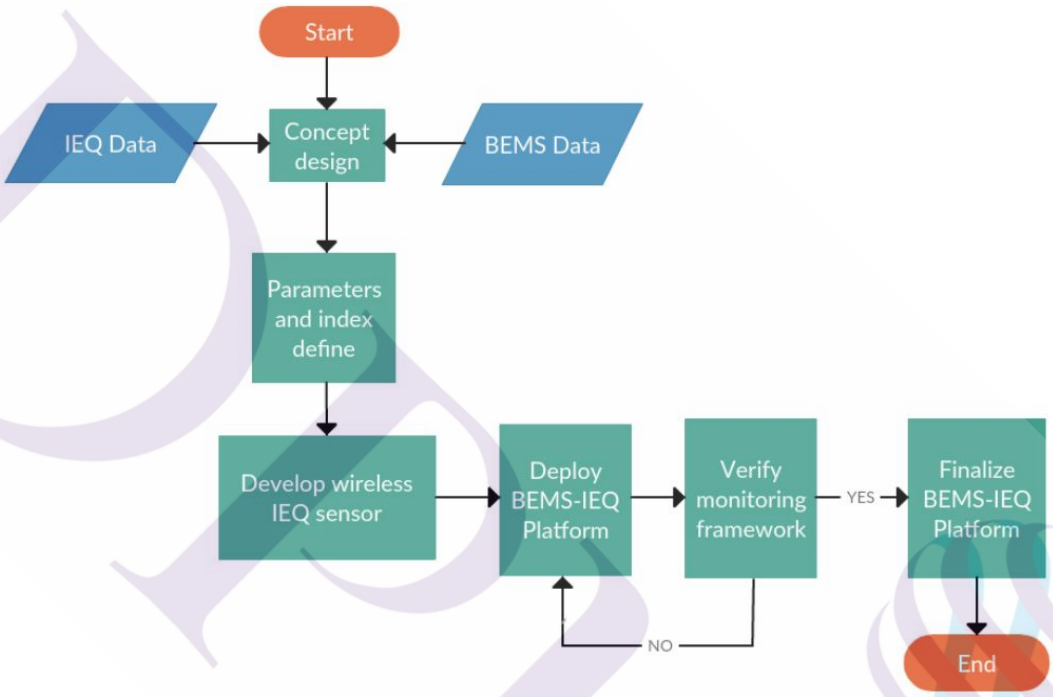
2.5.2 งานวิจัยเรื่อง Continuous IEQ monitoring system: Context and development (Parkinson et al., 2019)

ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการกับความท้าทายทั่วไปสองประการสำหรับการสร้างประสิทธิภาพของอาคาร คือ การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการจัดหาสิ่งแวดล้อมภายในอาคารที่สะดวกสบาย นำไปสู่การมีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้อาคาร โดยต้องการ

ศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ครอบคลุมมากขึ้นเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร งานวิจัยนี้ได้นำอุปกรณ์ SAMBA มาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารที่ทันสมัย สำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคาร (IEQ) แบบต่อเนื่องแบบเรียลไทม์ จากโต๊ะทำงานของผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์ SAMBA เป็นโซลูชันฮาร์ดแวร์ที่รวมชุดเซ็นเซอร์ราคาประหยัด เข้ากับแพลตฟอร์มซอฟต์แวร์ที่ออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์และแสดงข้อมูลโดยอัตโนมัติสำหรับการตีความประสิทธิภาพของ IEQ อย่างรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญมาทำการตรวจวัด นอกเหนือจากการป้อนฐานข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับ IEQ และเมื่อมีการเก็บข้อมูลจนได้ข้อมูลที่มากพอ จะสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และอาจนำไปสู้การปรับปรุงมาตรฐานข้อกำหนดแจ้งข้อกำหนด IEQ ให้ดีขึ้นอีกด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร SAMBA นี้จะเป็นแนวทางใหม่ในการช่วยสร้างสรรค์งานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งจะทำให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพอาคาร การปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร การทำให้เกิดความพึงพอใจต่อการใช้อาคาร รวมถึงช่วยให้เกิดส่งเสริมสุขภาพความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้อาคารเป็นต้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 Flow diagram แสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 แสดง Methodology diagram of the research

เริ่มต้นงานวิจัยด้วยการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเรื่องคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (IEQ) และข้อมูลของระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงาน (BEMS) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 จากนั้นทำการกำหนดค่า Parameters และ Specifications ของ Sensors ที่ใช้สำหรับการบ่งชี้ค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร หลังจากนั้นทำการจัดหา Sensors ที่มีค่า Parameters และ Specifications ตามที่ได้กำหนดไว้ ทำการออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ แล้วประกอบ Sensors ลงบน PCBA เพื่อให้ได้ IEQ Sensor สำหรับใช้ในการตรวจวัดค่า Parameters คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร

ทำการพัฒนาโปรแกรม Building Energy Management Systems ให้สามารถแสดงผลค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมแบบ Real-time บน Dashboard ในรูปแบบของ Web Application (Schiavon et al., 2013)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนา IEQ sensor

IEQ sensor เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร โดยสามารถตรวจวัดได้ 4 องค์ประกอบ ดังนี้

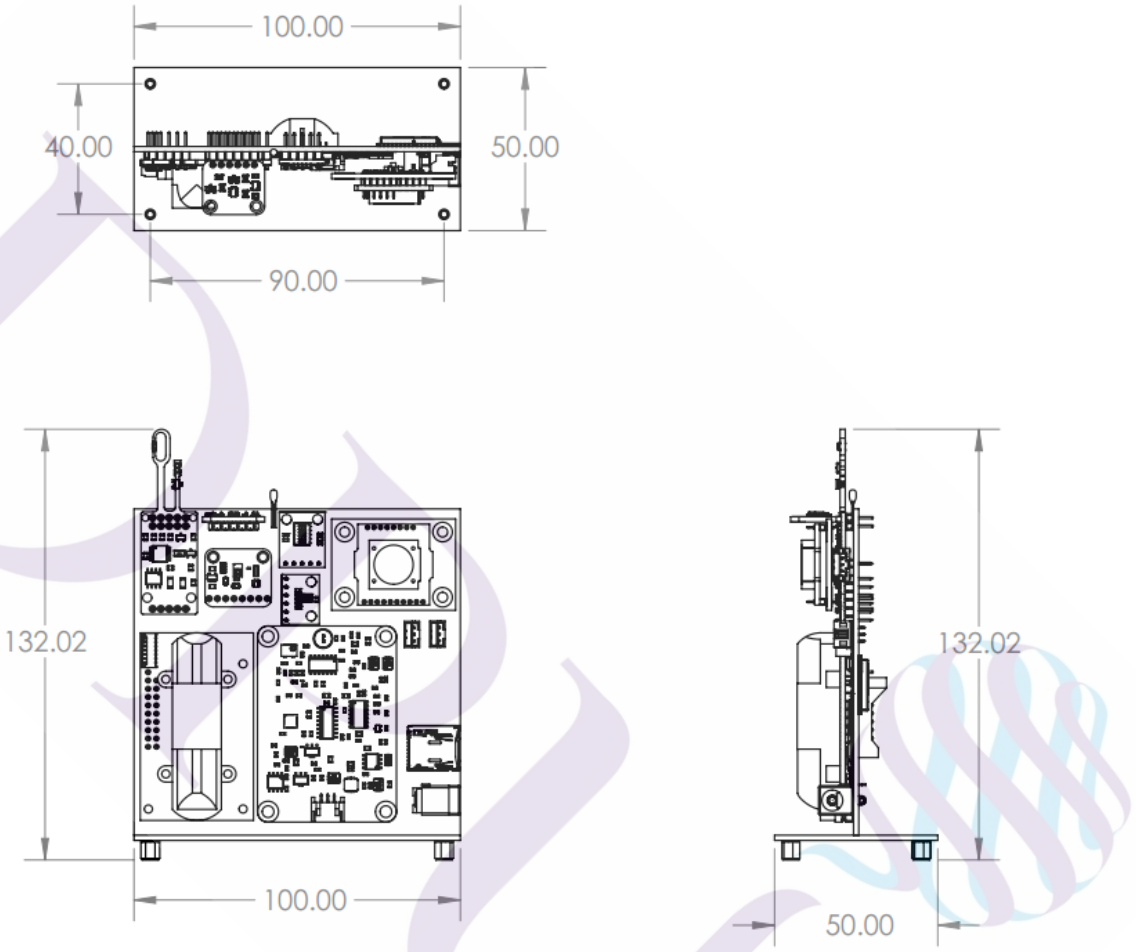
1. คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)
2. สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Comfort)
3. สภาวะน่าสบายเชิงเสียง (Acoustic Comfort)
4. สภาวะน่าสบายเชิงแสงส่องสว่าง (Visual Comfort)

ทางผู้วิจัยจึงออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดค่า parameters ต่างๆ และได้เลือกชนิดของ sensors รวมถึง specifications โดยอ้างอิงค่า Resolution ของเซ็นเซอร์จากงานวิจัยเรื่อง Continuous IEQ monitoring system: Context and development (Parkinson et al., 2019) (ดังแสดงในตารางที่ 3.1)

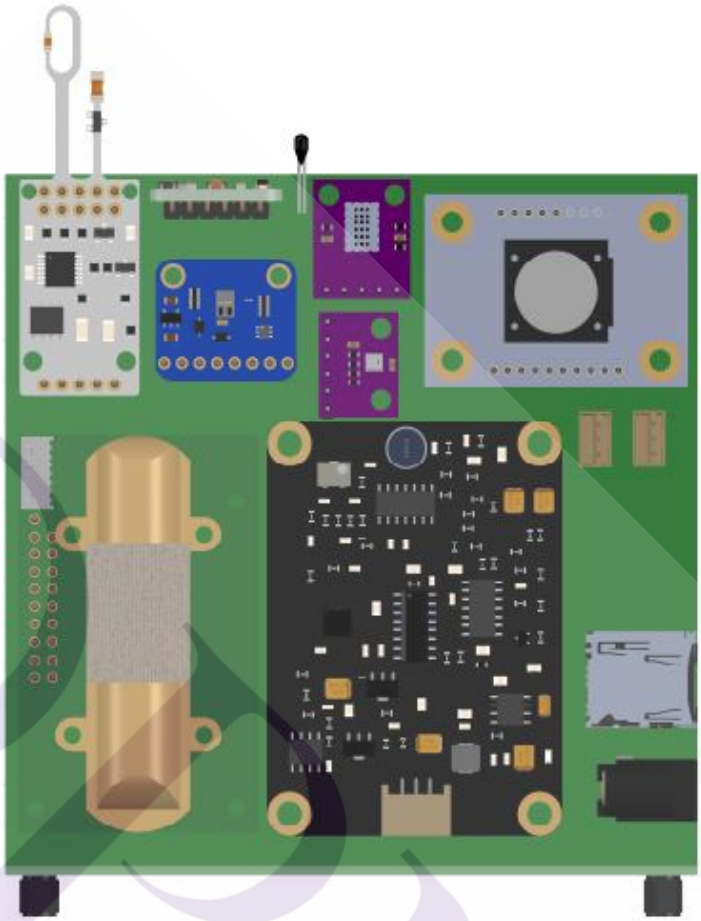
ตารางที่ 3.1 List of sensors included in IEQ sensor, and their performance specifications

Parameter	Sensor Type	Range	Resolution
Air temperature	NTC thermistor	0-60	0.1 °C
Relative humidity	Capacitive	0-100	0.10%
Globe temperature	NTC thermistor	0–50 °C	0.1 °C
Air speed	Bi-directional thermal anemometer	0–1 m/s	0.01 m/s
Sound pressure level	Electret microphone	30-130 dBA	0.1dB
Illuminance	Broadband photodiode	0-20,000 lx	1 lx
Carbon dioxide (CO2)	Nondispersive infrared	0–5000 ppm	1 ppm
Carbon monoxide (CO)	Electrochemical	0–50 ppm	0.1 ppm
Formaldehyde (HCHO)	Electrochemical	0-5 ppm	0.01ppm
Total volatile organic compounds (TVOC)	Photoionisation	10–2000 ppb	10 ppb

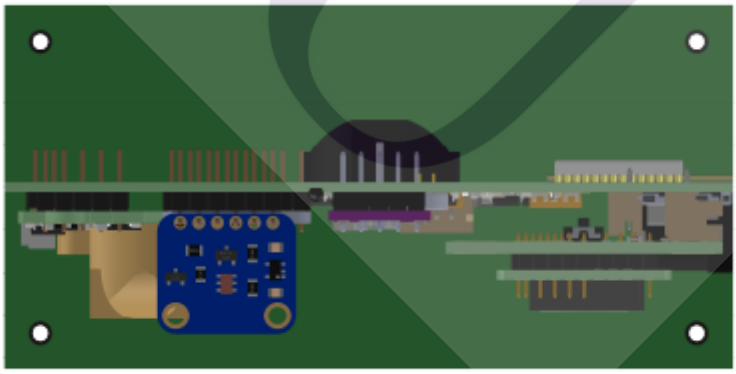
3.3 การออกแบบอุปกรณ์ IEQ sensor



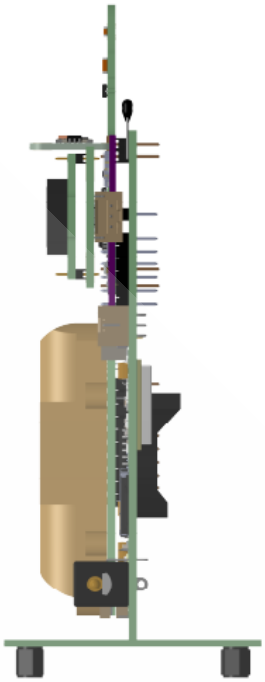
ภาพที่ 3.2 แสดง Dimension PCBA ของ IEQ sensor



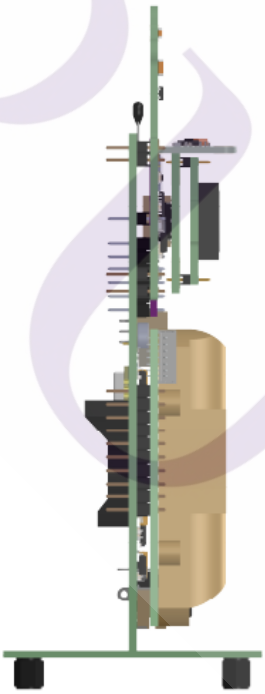
ภาพที่ 3.3 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านหน้า



ภาพที่ 3.4 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านบน

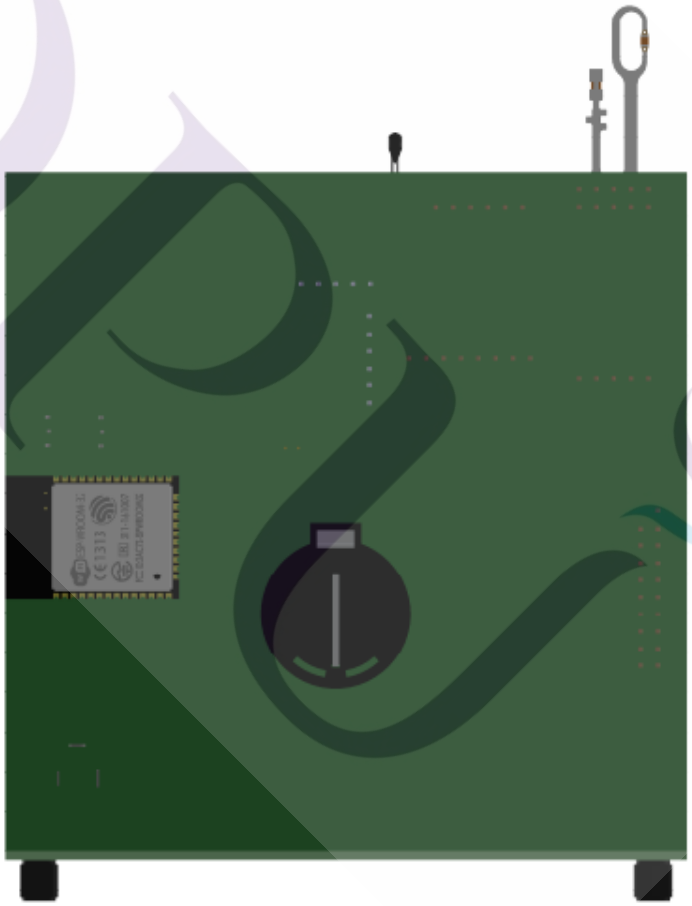


ภาพที่ 3.5 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านขวา

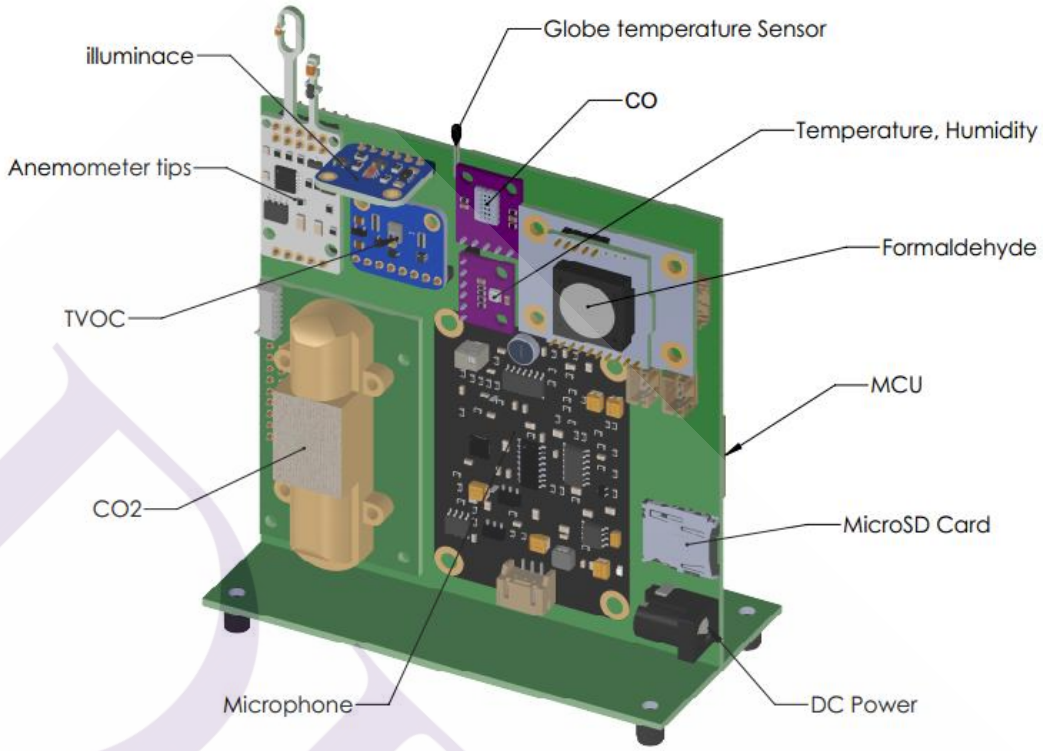


ภาพที่ 3.6 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านซ้าย

ภาพที่ 3.7 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านฐาน



ภาพที่ 3.8 แสดง Prototype IEQ sensor มุมด้านหลัง



ภาพที่ 3.9 แสดงแบบ 3D render of the PCBA and important components ของ IEQ sensor

3.4 การออกแบบการสื่อสารของอุปกรณ์ IEQ sensor

โดยอุปกรณ์ IEQ sensor จะประกอบไปด้วย sensors หลายชนิด และมีลักษณะการส่งและดึงข้อมูลด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ดังนี้ (ดังแสดงในตารางที่ 3.2)

3.4.1 เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิและความชื้น BME280 ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ I^2C ย่อมาจาก Inter Integrate Circuit

3.4.2 เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ โดยใช้ Globe Temperature ชนิด NTC Thermistor ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ อ่านค่าสัญญาณอนาล็อก

3.4.3 เซนเซอร์วัดค่าแรงลมในอากาศ ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ อ่านค่าสัญญาณอนาล็อก

3.4.4 เซนเซอร์วัดค่าระดับความดังของเสียง ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ อ่านค่าสัญญาณอนาล็อก

3.4.5 เซนเซอร์วัดค่าความสว่าง TSL2591 ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ I^2C ย่อมาจาก Inter Integrate Circuit

3.4.6 เซนเซอร์วัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ UART ย่อมาจาก Universal Asynchronous Receiver Transmitter

3.4.7 เซนเซอร์วัดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ CO ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ I²C ย่อมาจาก Inter Integrate Circuit

3.4.8 เซนเซอร์วัดค่าฟอร์มาลดีไฮด์ HCHO ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ อ่านค่าสัญญาณอนาล็อก

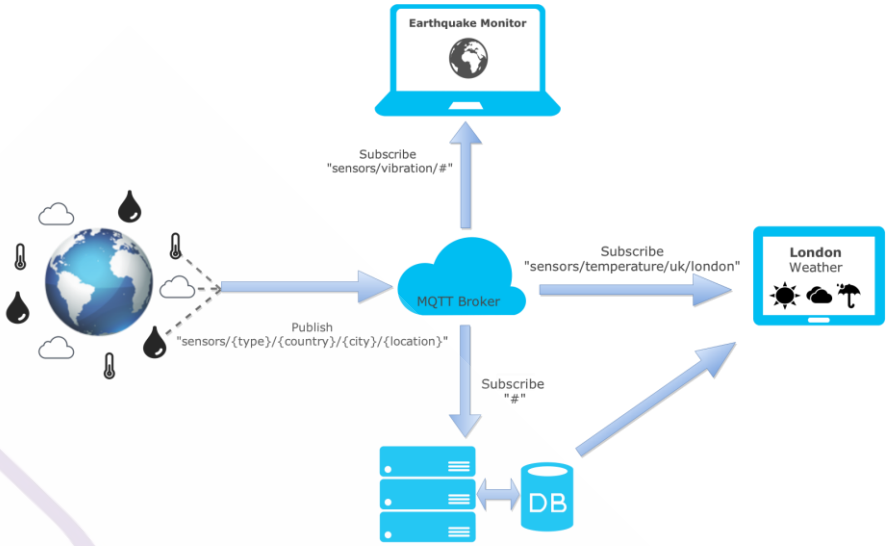
3.4.9 เซนเซอร์วัดค่ารวมสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย CCS811 ดึงข้อมูลด้วยวิธีการ I²C ย่อมาจาก Inter Integrate Circuit

3.4.10 เซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละออง PM2.5 - PM10 UART ย่อมาจาก Universal Asynchronous Receiver Transmitter

ตารางที่ 3.2 List of sensors included in IEQ sensor and data output sending

Parameter	Sensor Type	Data Output Sending
Air temperature	NTC thermistor	Inter Integrate Circuit (I²C)
Relative humidity	Capacitive	Inter Integrate Circuit (I²C)
Globe temperature	NTC thermistor	Analog 4-20mA
Air speed	Bi-directional thermal anemometer	Analog 4-20mA
Sound pressure level	Electret microphone	Analog 4-20mA
Illuminance	Broadband photodiode	Inter Integrate Circuit (I²C)
Carbon dioxide (CO2)	Nondispersive infrared	Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)
Carbon monoxide (CO)	Electrochemical	Inter Integrate Circuit (I²C)
Formaldehyde (HCHO)	Electrochemical	Analog 4-20mA
Total volatile organic compounds (TVOC)	Photoionisation	Inter Integrate Circuit (I²C)
Particulate Matters PM2.5 - PM10	Photodiode	Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

IEQ sensor เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยมีการสื่อสารส่งข้อมูลในรูปแบบไร้สายผ่านคลื่นความถี่ WiFi 2.4GHz โดยใช้ MQTT Protocol เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ IEQ กับฐานเก็บข้อมูล Local Server/Cloud Server (ดังแสดงในภาพที่ 3.10)



ภาพที่ 3.10 Diagram Network Topology of BEMS-IEQ Platform

3.5 การประกอบบอร์ดทดลองอุปกรณ์ IEQ sensor

3.5.1 เตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการตรวจวัดให้พร้อม โดยมีเซนเซอร์ตรวจวัด และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

3.5.1.1 Temperature and humidity sensor module

ภาพที่ 3.11 Temperature and humidity sensor module

โมดูล BME280

โมดูลเซนเซอร์สำหรับวัดความดันบรรยากาศ (barometric pressure) อุณหภูมิ (temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ที่ได้นำมาใช้งานเป็นรุ่น GY-BME (Temperature Humidity Pressure Sensor Module) โมดูลนี้ใช้ชิป BME280 ของบริษัท Bosch SensorTech ซึ่งเป็นรุ่นที่พัฒนาถัดจากรุ่นก่อน อย่างเช่น BMP085/ BMP180/ BMP183 ชิปนี้สามารถเชื่อมต่อผ่านบัส I2C หรือ SPI ได้ และเนื่องจากชิปเดียวสามารถวัดค่าที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมได้ถึงสามชนิด จึงได้เลือกมาเพื่อใช้งาน

ที่มา: http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=linkit_smart_7688_phant

3.5.1.2 Globe temperature sensor

ภาพที่ 3.12 Globe temperature sensor

3.5.1.3 Globe temperature sensor

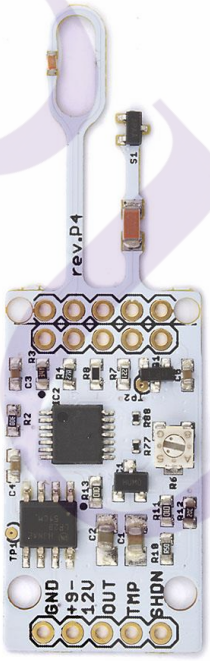
Globe temperature sensor หรือ เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) คือ เป็นอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกล่าวคือ ค่าความต้านทานในตัวมันจะเปลี่ยนไปกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง โดยพื้นฐานแล้วจะเป็นตัวความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) ผลิตออกใช้งานในรูปร่างขนาดต่าง ๆ กัน บ้างก็มีรูปเป็นจานเล็ก ๆ และบางประเภทเป็นแท่งเล็ก ๆ คล้ายกับตัวความต้านทาน เทอร์มิสเตอร์ จะมีอยู่ 2 ประเภท แบ่งตาม ส.ป.ส. ของอุณหภูมิ (Temperature-Coefficient) คือ

แบบ NTC (Negative Temperature Coefficient) คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานจะลดลง เป็นชนิดที่ปกติจะมีความ ต้านทานสูงเมื่อได้รับความร้อน ค่าความต้านทานจะต่ำลง ใช้งานด้านการตรวจสอบความร้อนเพื่อควบคุมระดับการทำงาน เช่น ในวงจรขยายเสียงที่ดีใช้ตรวจจับความร้อนที่เกิดจากการทำงานแล้วป้อนกลับไปลด การทำงานของวงจรให้น้อยลง เพื่ออุปกรณ์หลักจะไม่เกิดความร้อนมากจนเกินไป

แบบ PTC (Positive Temperature Coefficient) คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยเป็นชนิดที่ปกติจะมีค่าความต้านทานต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีค่าความต้านทานสูงขึ้นตามลำดับอุณหภูมิ นำไปใช้ตรวจสอบระดับความร้อน หรือทำให้เกิดความร้อนขึ้นเพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด เช่น วงจรล้างสนามแม่เหล็กอัตโนมัติของเครื่องรับโทรทัศน์สี (Degaussing coil) เป็นต้น

ที่มา: http://banmohelectronic.lnwshop.com

3.5.1.4 Wind sensor module



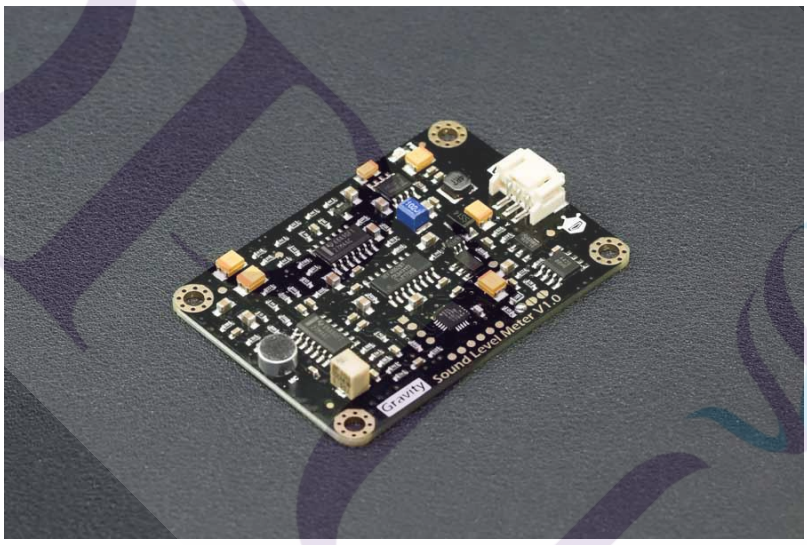
ภาพที่ 3.13 Wind sensor module

โมดูล The Rev. P wind sensor

โมดูลเซนเซอร์สำหรับวัดลม Rev. P เป็นเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อนที่พัฒนาให้มีคุณสมบัติดีขึ้น ซึ่งคล้ายกับเซ็นเซอร์วัดลม Rev C และเพิ่มคุณสมบัติฮาร์ดแวร์สำหรับการชดเชยอุณหภูมิโดยรอบ “ The Rev. P wind sensor ” นั้นสามารถทนต่อเทอร์มิสเตอร์สัมประสิทธิ์อุณหภูมิได้ เทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในรุ่นนี้มีความเสถียรมากกว่าและแม่นยำกว่าเทอร์มิสเตอร์ใน Rev C มีแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าเพื่อให้องค์ประกอบตรวจจับความร้อนต่ออุณหภูมิในการทำงานดีขึ้น ดังนั้นเซ็นเซอร์จึงต้องการแหล่งจ่ายไฟ 9-12 โวลต์ และมีราคาแพงกว่าเซ็นเซอร์ Rev C.

ที่มา: https://moderndevice.com/product/wind-sensor-rev-p/

3.5.1.4 Sound level sensor module



ภาพที่ 3.14 Sound level sensor module

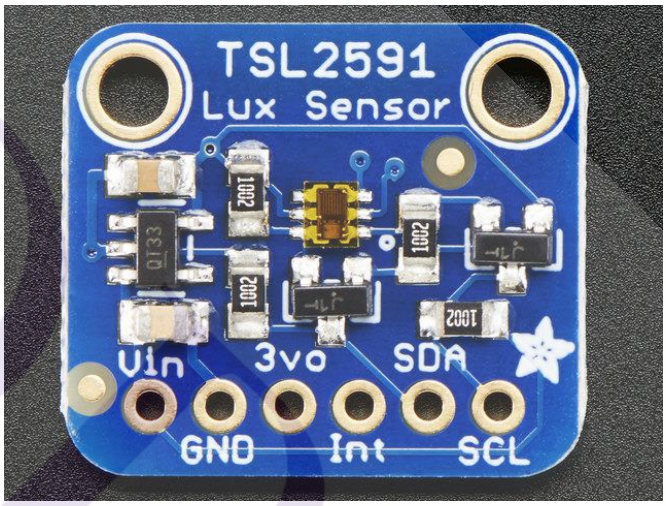
โมดูล SKU:SEN0232

โมดูลวัดระดับเสียง (หรือที่รู้จักกันว่า เครื่องวัดเดซิเบล/เครื่องวัดเสียง) เป็นเครื่องมือวัดเสียงเบื้องต้น ซึ่งเข้ากันได้กับ Arduino, plug-and-play สามารถวัดระดับเสียงของสภาพแวดล้อมโดยรอบได้อย่างแม่นยำ ผลิตภัณฑ์นี้ใช้วงจรเครื่องมือไมโครโฟนเสียงรบกวนต่ำ ซึ่งทำให้มีค่าแม่นยำสูง รองรับแรงดันไฟฟ้า input 3.3 ~ 5.0V, แรงดันไฟฟ้า output 0.6 ~ 2.6V ค่าเดซิเบลเป็นแบบเส้นตรงกับแรงดันเอาต์พุตซึ่งนำไปสู่การนำไปปรับใช้อย่างง่ายโดยไม่ต้องใช้อัลกอริธึมที่

ซับซ้อน ตัวเชื่อมต่อเป็นแบบพลักแอนด์เพลย์จึงสามารถใช้ผลิตภัณฑ์นี้ในแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นได้อย่างง่ายดาย

ที่มา: https://www.dfrobot.com/product-1663.html?search=sen0232&description=true

3.5.1.5 Illuminance sensor module



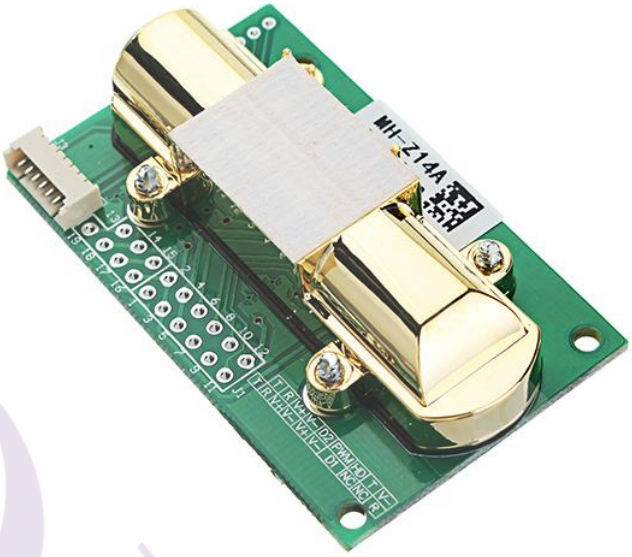
ภาพที่ 3.15 Illuminance sensor module

โมดูล TSL2591

โมดูลเซ็นเซอร์วัดความส่องสว่างแบบดิจิตอล ใช้หาปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ในหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ (Lux) ได้วัดค่าความส่องสว่างได้สูงสุดถึง 88,000 ลักซ์ โดยมีค่าความไวในการตอบสนองของตัวเซ็นเซอร์อยู่ที่ 188 ไมโครลักซ์ ทำให้การวัดค่าแม่นยำมากยิ่งขึ้น ตัวโมดูลเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง I2C และรองรับการใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แรงดัน 3.3 และ 5 โวลต์ โดยมีวงจรแปลงอยู่บนโมดูล

ที่มา: https://www.adafruit.com/product/1980

3.5.1.6 Carbon dioxide (CO2) sensor



ภาพที่ 3.16 Carbon dioxide (CO2) sensor

โมดูล MH-Z14

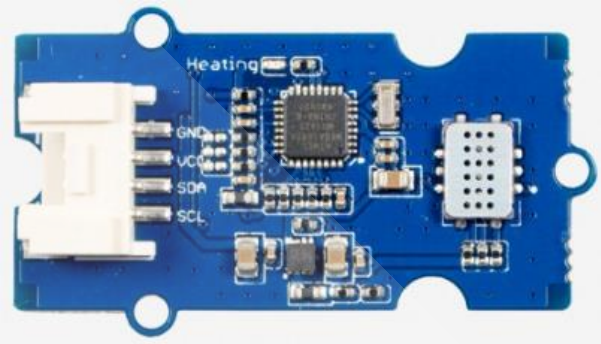
โมดูล MH-Z14 คือ โมดูลเซ็นเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO2 ประเภท Non-Dispersive Infrared (NDIR) โดยมีความสามารถในการตรวจวัดปริมาณก๊าซอยู่ที่ช่วง 0 – 5000 ppm โดยตัวโมดูล MH-Z14 CO2 Gas Sensor นี้ได้ถูกทำการปรับจูนค่ามาให้แล้ว ผู้ใช้งานสามารถต่อโมดูลกับ MCU ผ่านทาง Analog Output, PWM, Serial ของตัวโมดูลได้

Features:

- พร้อมใช้งาน ไม่ต้องต่อวงจรเพิ่ม และไม่ต้องทำ Calibration อีก
- ให้ Output เป็น Analog, PWM , Serial (Digital Format)
- Detection Range: 0 - 5000 ppm CO2 (Carbon Dioxide)
- Accuracy: ±50ppm
- Built-in Temperature Compensation มั่นใจในการอ่านค่าในทุก ๆ ย่านอุณหภูมิ
- ขนาดกะทัดรัด ติดตั้งง่าย ด้วย Dimensions ขนาด 57.5×34.7×16mm (LxWxH) พร้อมรูเจาะยึดน๊อต

ที่มา: https://www.arduitronics.com/product/2687

3.5.1.7 Carbon monoxide module



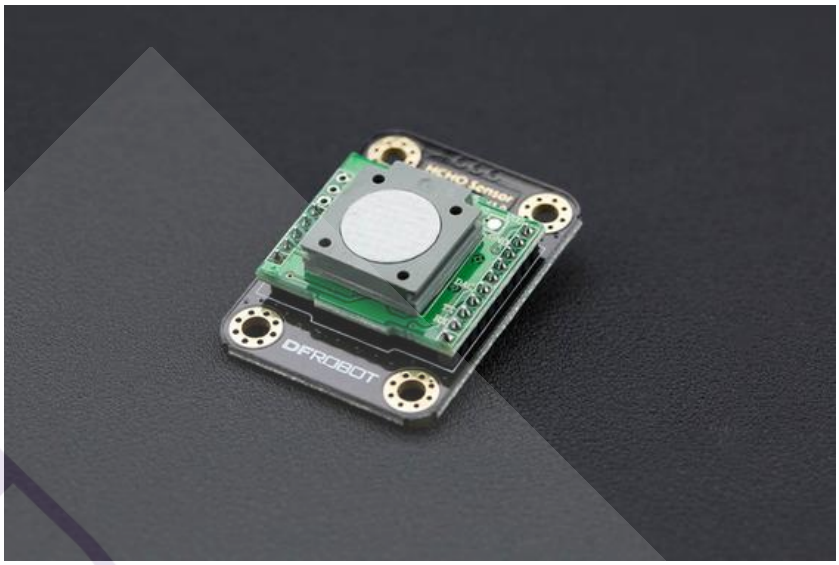
ภาพที่ 3.17 Carbon monoxide module

โมดูล Grove - Multichannel Gas Sensor

เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซสภาพแวดล้อม โดยพัฒนาบน MiCS-6814 ซึ่งสามารถตรวจจับก๊าซที่ไม่ดีต่อสุขภาพได้จำนวนมาก และสามารถวัดก๊าซได้ 3 ชนิดพร้อมกันเนื่องจากมีหลายช่องทางตรวจวัด ดังนั้นจึงสามารถช่วยคุณตรวจสอบความเข้มข้นได้มากกว่า 1 ชนิด เซ็นเซอร์นี้เป็นของระบบ Grove สามารถเสียบเข้ากับฐานบอร์ด และทำงานกับ Arduino ได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้สายจัมเปอร์ อินเตอร์เฟส คือ I2C ดังนั้นให้เสียบเข้ากับพอร์ต I2C ของฐานบอร์ด จากนั้นก็สามารถใช้งานได้

ที่มา: http://wiki.seeedstudio.com/Grove-Multichannel_Gas_Sensor/

5.3.1.8 Formaldehyde sensor module



ภาพที่ 3.18 Formaldehyde sensor module

โมดูล SKU:SEN0231

เป็นเซ็นเซอร์ฟอร์มาลดีไฮด์ (HCHO) โมดูลเข้ากันได้กับ Arduino และ Raspberry Pi ซึ่งเป็นโซลูชันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร นี่คือโมดูลเซ็นเซอร์ HCHO (CH2O) สามารถใช้ในการวัด HCHO ในอากาศสามารถทราบคุณภาพอากาศ โมดูลเซ็นเซอร์นี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทดสอบอากาศ เช่น คุณภาพอากาศภายในอาคาร สถานีตรวจสอบคุณภาพตามเวลาจริง โมดูลเซ็นเซอร์ HCHO สามารถตรวจจับและวัด HCHO ได้อย่างถูกต้อง มีข้อดีหลายประการ เช่น ความสามารถในการป้องกันการรบกวนที่มีความเสถียรสูง มีความไวสูง (สูงถึง 0.01ppm) และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ใช้งานง่ายแรงดันไฟฟ้าอินพุตกว้าง และสัญญาณเอาท์พุทสามารถเข้ากันได้กับ MCU เกือบทั้งหมด

ที่มา: https://www.dfrobot.com/product-1574.html

3.5.1.9 Total volatile organic compounds sensor module

ภาพที่ 3.19 Total volatile organic compounds sensor module

โมดูล CCS811

เป็นเซ็นเซอร์ก๊าซที่สามารถตรวจจับสารระเหยอินทรีย์หลากหลาย (VOCs) และมีไว้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร เมื่อเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ การอ่านสารระเหยรวมอินทรีย์ (TVOC) และการอ่านคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (eCO2) ผ่าน I2C นอกจากนี้ยังมีเทอร์มิสเตอร์ออนบอร์ดที่สามารถใช้ในการคำนวณอุณหภูมิโดยรอบ

CCS811 มีเซ็นเซอร์ MOX แบบมาตรฐานเช่นเดียวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กที่ควบคุมพลังงานไปยังเพลทอ่านแรงดันไฟฟ้าแบบอะนาล็อกและให้อินเตอร์เฟซ I2C อ่านโดยจะวัดความเข้มข้น eCO2 (เทียบเท่าคำนวณคาร์บอนไดออกไซด์) ภายในช่วง 400 ถึง 8192 ส่วนต่อล้าน (ppm) และ TVOC (Total Volatile Organic Compound) ในช่วง 0 ถึง 1187 ส่วนต่อพันล้าน (ppb) สามารถตรวจจับแอลกอฮอล์อัลดีไฮด์คีโตนกรดอินทรีย์เอมีนอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เรารวมเทอร์มิสเตอร์ 10K NTC พร้อมตัวต้านทานสมดุลซึ่งสามารถอ่านได้โดย CCS811 เพื่อคำนวณอุณหภูมิโดยประมาณ

ที่มา: https://www.adafruit.com/product/3566

3.5.1.10 Particulate Matters PM2.5 - PM10 sensor module

ภาพที่ 3.20 Particulate Matters PM2.5 - PM10 sensor module

โมดูล HPMA115S0-XXX

เซ็นเซอร์อนุภาคฝุ่นละอองของ Honeywell HPM ซีรี่ส์ เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้เลเซอร์ซึ่งตรวจจับและนับอนุภาคโดยใช้การกระเจิงของแสง ช่วงการตรวจจับความเข้มข้นคือ 0 µg / m3 ถึง 1,000 µg / m3 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ส่องสว่างอนุภาคในขณะที่มันถูกดึงผ่านห้องตรวจจับ เมื่ออนุภาคผ่านลำแสงเลเซอร์แสงจะสะท้อนออกมาเป็นอนุภาคและถูกบันทึกไว้ในภาพถ่าย หรืออุปกรณ์ตรวจจับแสง แสงจะถูกวิเคราะห์และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อคำนวณความเข้มข้นของอนุภาค เซ็นเซอร์อนุภาค Honeywell ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้นของอนุภาคสำหรับช่วงความเข้มข้นของอนุภาคที่กำหนด ช่วยให้ความสามารถในการตรวจสอบหรือควบคุมอนุภาคสิ่งแวดล้อมมีความแม่นยำและประหยัดยิ่งขึ้น อายุการใช้งานยาวนาน 10 ปีของการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ประสิทธิภาพ EMC ที่พิสูจน์แล้วช่วยให้สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้นในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เวลาตอบสนองที่รวดเร็วกว่า <6 วินาทีทำให้ HPM ซีรี่ส์ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ ความน่าเชื่อถือที่เพิ่มขึ้นช่วยให้สามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เลวร้าย ประสิทธิภาพ EMC ที่ได้รับการรับรอง IEC61000 และมีความแม่นยำ ± 15% (PM2.5)

ที่มา: https://sensing.honeywell.com/sensors/particle-sensors/hpm-series

3.5.1.11 Voltage step down module 3.3VDC, 5VDC

ภาพที่ 3.21 Voltage step down module 3.3VDC, 5VDC

เป็นโมดูลสวิทชิ่งเร็กกูเลเตอร์แบบ Step-down แปลงไฟ DC จากมากลงมาน้อย มีขนาดเล็ก ร้อนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ regulator แบบธรรมดา มีประสิทธิภาพในการจ่ายไฟที่สูง อีกทั้งยังราคาถูกอีกด้วย สามารถปรับตั้งแรงดันได้โดยการหมุนปรับ Trimmer ได้

รายละเอียด :

- รองรับแรงดันเอาท์พุตสูงสุด 1.23-30V
- ปรับตั้งแรงดันอินพุตได้ในช่วง 4-35 V
- จ่ายกระแสต่อเนื่องได้สูงสุด 3A

ที่มา: https://www.mosfex.com/product/83/

3.5.1.12 SD card module and micro sd card

ภาพที่ 3.22 SD card module and micro sd card

โมดูล Micro SD Card Micro SD Card Module MicroSD Card Adapter (Catalex)

เป็นโมดูลสำหรับบันทึกข้อมูลลง Micro SD Card , Micro SD Card Module ยี่ห้อ Catalex สำหรับเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ จากบอร์ด Arduino ลงบน Micro SD Card มีอินเตอร์เฟสแบบ SPI ใช้งานง่าย มีไลบารีสำเร็จรูปให้พร้อมใช้งาน มีวงจรเรกูเลต 3.3V มาให้ในตัวบอร์ด สามารถใช้ไฟได้ในช่วง 4.5V - 5.5V

ที่มา: https://www.arduinoall.com/product/557/

3.5.1.13 LED color yellow, red and bule 5 mm.

ภาพที่ 3.23 LED 5mm

หลอด LED color yellow, red and bule 5 mm.

หลอดไฟ LED 5mm เหมาะสำหรับทำป้ายไฟเชียร์คอนเสิร์ต ป้ายไฟ LED หน้าร้านค้า หรือประยุกต์ใช้กับโครงงานต่างๆ

แรงดันไฟฟ้า	3 v - 3.4 v
กระแส	10 - 20 ma
ความสว่าง	14000 - 16000 mcd
แรงดันย้อนกลับ	6 v
อายุการใช้งาน	50,000 ชั่วโมง

ที่มา: http://www.buyled.in.th/index.php

3.5.1.14 Tact switch 6*6 mm.

ภาพที่ 3.24 Tact switch 6*6 mm.

Push button คือ สวิชท์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง มีหน้าที่ควบคุมการเปิด และ ปิด ของวงจรส่วนนั้นๆ โดยทั่วไปอาจมี 2 ขา หรือ 4 ขาโดยปุ่มกดติดปล่อยดับนั้น เมื่อทำการกดจะเป็นการปิดวงจร ทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านวงจรได้ เมื่อไม่ได้กด จะทำให้วงจรเปิด กระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลผ่านวงจรได้

- ปุ่มกดติดปล่อยดับ 4 ขา (Tact Switch)

- Size 6 x 6 mm (กว้าง 6 mm ,ยาว 6 mm)
- ความสูงปุ่ม 5 ,7 ,10 ,13 mm *เลือกด้านล่าง
- On / Off Button Switch
- ทนแรงดันแนะนำ ไม่เกิน 12 V (ทนได้สูงสุด 250 Vac 1 นาที)
- ทนกระแส 50 mA
- น้ำหนักโดยประมาณ 10 กรัม

ที่มา: https://commandronestore.com/products/bg001.php

3.5.1.15 Board controller ESP32

ภาพที่ 3.25 Board controller ESP32

โมดูล NodeMCU ESP32 ESP-WROOM-32 Wi-Fi and Bluetooth Module Dual Core MCU ESP-32

โมดูล Wifi ESP-32 รุ่น ESP-WROOM-32 โมดูล Wifi + Bluetooth 4.2 + Touch/Temp Sensorทำงานแบบ Dual Core ที่ความเร็ว 160Mhz มี SRAM 512K หน่วยความจำ Flash สำหรับอัพโหลดโปรแกรมขนาด 16M มีขา GPIO 36 ขา ความละเอียดในการอ่านค่า ADC 12Bit สามารถเขียนโปรแกรม ผ่าน Arduino IDE เหมือนเขียน Arduino ได้ โมดูลรวม USB TTL และ ESP-32 ไว้

ในตัวแล้วคล้ายกับ NodeMCU จึงไม่ต้องบัดกรีหรือต่อวงจรเพิ่ม ติดตั้งบอร์ดใน Arduino IDE แล้วเสียบสาย USB โปรแกรมได้เลย

ที่มา: https://www.arduinoall.com

3.5.1.16 Real time clock module

ภาพที่ 3.26 Real time clock module

โมดูล Real Time Clock DS3231

โมดูล Real Time Clock (RTC) ก็คือ อุปกรณ์ที่ให้ค่าเวลาตามจริง ซึ่งทำงานโดยการจับสัญญานนาฬิกาที่ได้มาจาก Crystal นั่นเองครับ บางรุ่นก็จะมีถ่านสำรองมาให้ด้วย ทำหน้าที่ในการบันทึกเวลาอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะไม่มีไฟเลี้ยงมาที่ตัวบอร์ด ตัวเวลาก็ยังคงนับได้ต่อ ทำให้ไม่ต้องเสียเวลามาตั้งเวลาใหม่หลังจากที่หยุดจ่ายไฟเลี้ยงครับ โมดูล RTC นี้จำเป็นอย่างยิ่งกับการใช้งานที่ต้องมีการบันทึกเวลา (Time Stamp) เช่น อุปกรณ์ Data logger

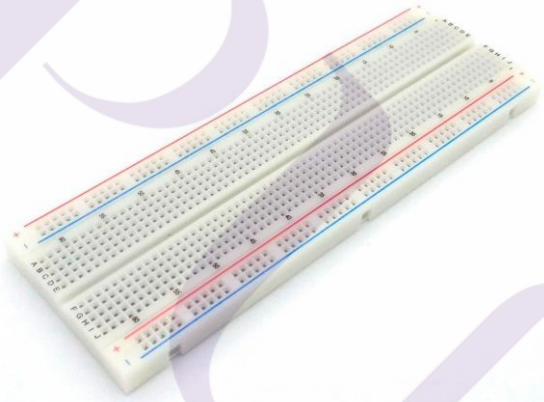
ที่มา: https://www.arduitronics.com/article/35/real-time-clock-ds3231

3.5.1.17 สายไฟต่อวงจร

ภาพที่ 3.27 สายไฟต่อวงจร

สาย ไฟจัมเปอร์ ผู้-ผู้ สำหรับต่อวงจรบอร์ดอุปกรณ์ทดลอง Protoboard

3.5.1.18 Protoboard



ภาพที่ 3.28 Protoboard

<u>บอร์ดทดลอง Breadboard 830 holes MB-102</u>

โพรโทบอร์ด (อังกฤษ: protoboard) หรือ เบรดบอร์ด (อังกฤษ: breadboard) เป็นบอร์ดที่ใช้ทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกหนาสีขาว บนแผ่นมีรูเรียงกันจำนวนมาก ภายในรูมีตัวนำไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกันในรูปแบบที่มีการกำหนดไว้ เวลาทดลองก็เสียบขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงไปให้ตัวนำภายในเชื่อมวงจรถึงกัน และอาจใช้สายไฟเสียบลงรูเพื่อเชื่อม

วงจรไฟฟ้าได้เช่นกัน ข้อดีของโพรโทบอร์ดคือ ไม่ต้องออกแบบแผงวงจรและไม่ต้องบัดกรี แต่มีข้อเสียคือใช้ทดลองวงจรที่ทำงานที่ความถี่สูง ๆ ไม่ได้เนื่องมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนในวงจร

ที่มา: https://www.arduinoall.com

3.5.1.19 Adapter power supply 12VDC

ภาพที่ 3.29 Adapter power supply 12VDC

Power Adapter แหล่งจ่ายไฟ 12V 2A

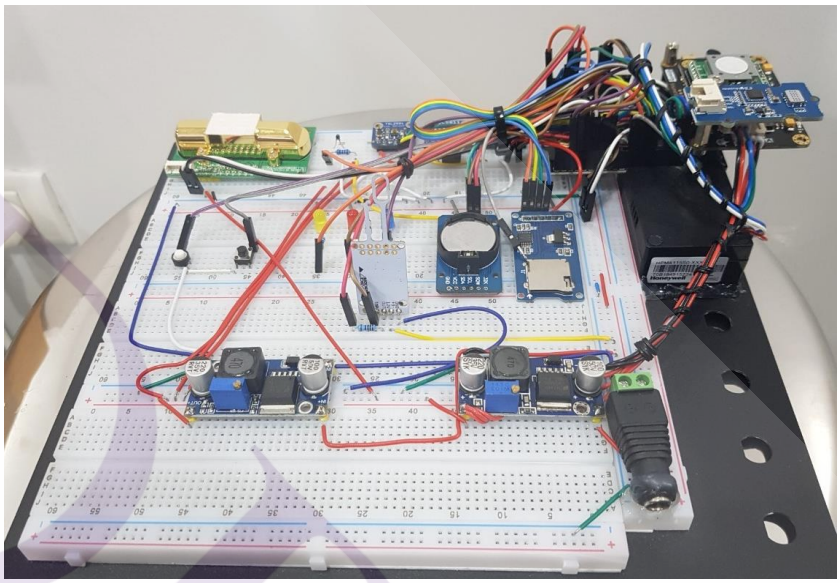
adapter 12v 2a เป็นแหล่งจ่ายไฟให้อุปกรณ์ หัวแจ็ค สามารถต่อเข้าบอร์ด arduino มีรายละเอียด ดังนี้

- 1x AC 100-240V to DC 12V 2A Switching Power supply Converter Adaptor
- อะแด็ปเตอร์แบบสวิตซิ่ง จาก AC 100-240V เป็น ดีซี 12V 2 A
- ด้านปลายเป็นดีซีแจ๊คขนาด 5.5*2.5mm และใช้ได้กับ 5.5*2.1mm
- ขั้วในบวก ขั้วนอกลบ

ที่มา: https://www.myarduino.net

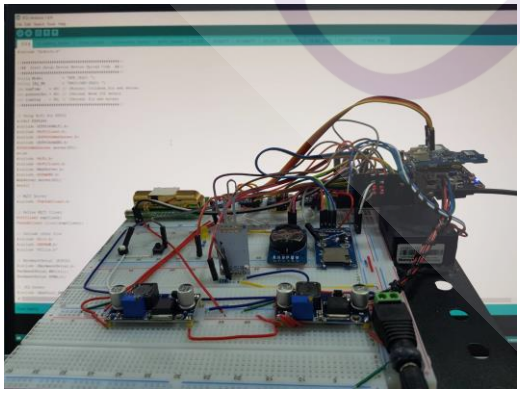
3.5.2 ออกแบบตำแหน่งการวางอุปกรณ์ ก่อนลงบอร์ดทดลองให้เรียบร้อย เพื่อที่จะง่ายในการต่อวงจร หลังจากนั้นนำเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องนำไปเสียบลงบนบอร์ดทดลอง

3.5.3 นำสายไฟมาเสียบต่อวงจรโดยเริ่มจากต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์เซ็นเซอร์ทุกตัวบนบอร์ด และต่อสายสัญญาณจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ต่างๆ ไปยังบอร์ดประมวลผล (Board controller ESP32) (ดังแสดงในภาพที่ 3.30)



ภาพที่ 3.30 บอร์ดทดลองที่ต่อวงจรเสร็จเรียบร้อย

3.5.4 อัพโหลดโค้ดโปรแกรมลงบนบอร์ดประมวลผล (Board controller ESP32) เพื่อใช้ในการประมวลผลคำนวณค่าต่างๆที่ได้รับจากเซ็นเซอร์แล้วส่งค่า Parameter ต่างๆไปยังฐานเก็บข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Server และใช้โปรแกรมดึงค่าข้อมูลจากฐานข้อมูลออกมาแสดงผลผ่าน Web application



ภาพที่ 3.31 อัพโหลดโค้ดโปรแกรมลงบนบอร์ดทดลอง

3.6 การพัฒนา BEMS-IEQ Platform

คุณสมบัติทั่วไปของโปรแกรมระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคาร มีดังต่อไปนี้

3.6.1 เป็นโปรแกรมที่ใช้ Web Base Technology ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลการแสดงผลผ่านเครือข่าย internet, intranet โดยใช้งาน Standard Web Browser และไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมใด ๆ เพิ่มเติมสามารถเพิ่มเติมอุปกรณ์ตรวจวัดควบคุมอื่น ๆ ในภายหลังได้ และไม่จำกัด User ในการใช้งาน

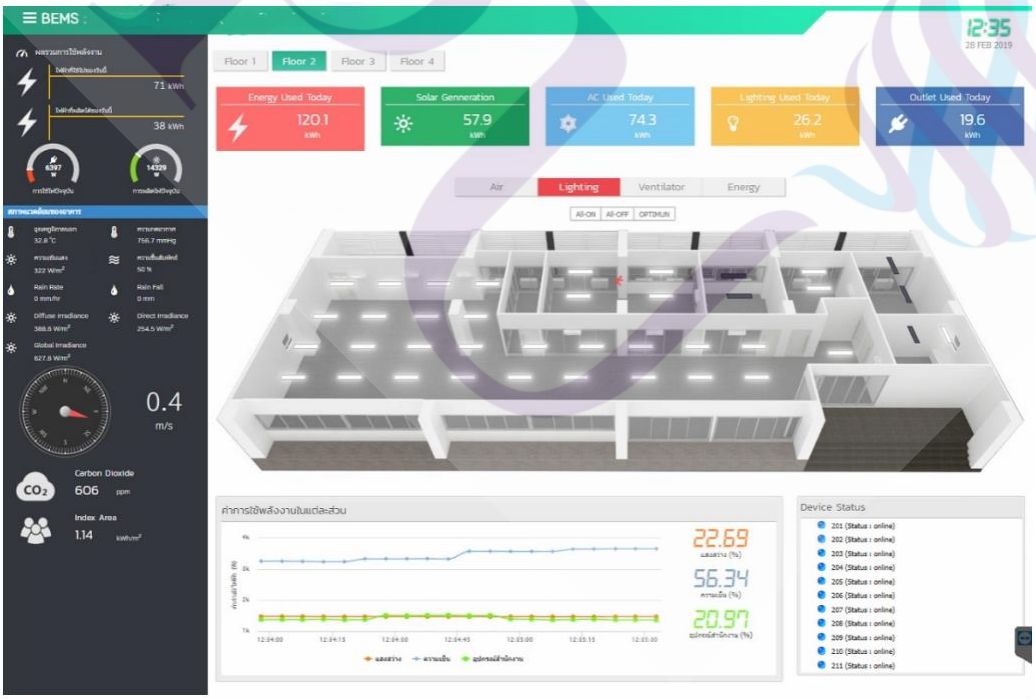
3.6.2 รองรับการใช้งานหากปรับเปลี่ยนไปใช้งานฐานข้อมูลแบบ Cloud Server ในอนาคต

3.6.3 ใช้ SQL หรือ My SQL เป็นฐานข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูล

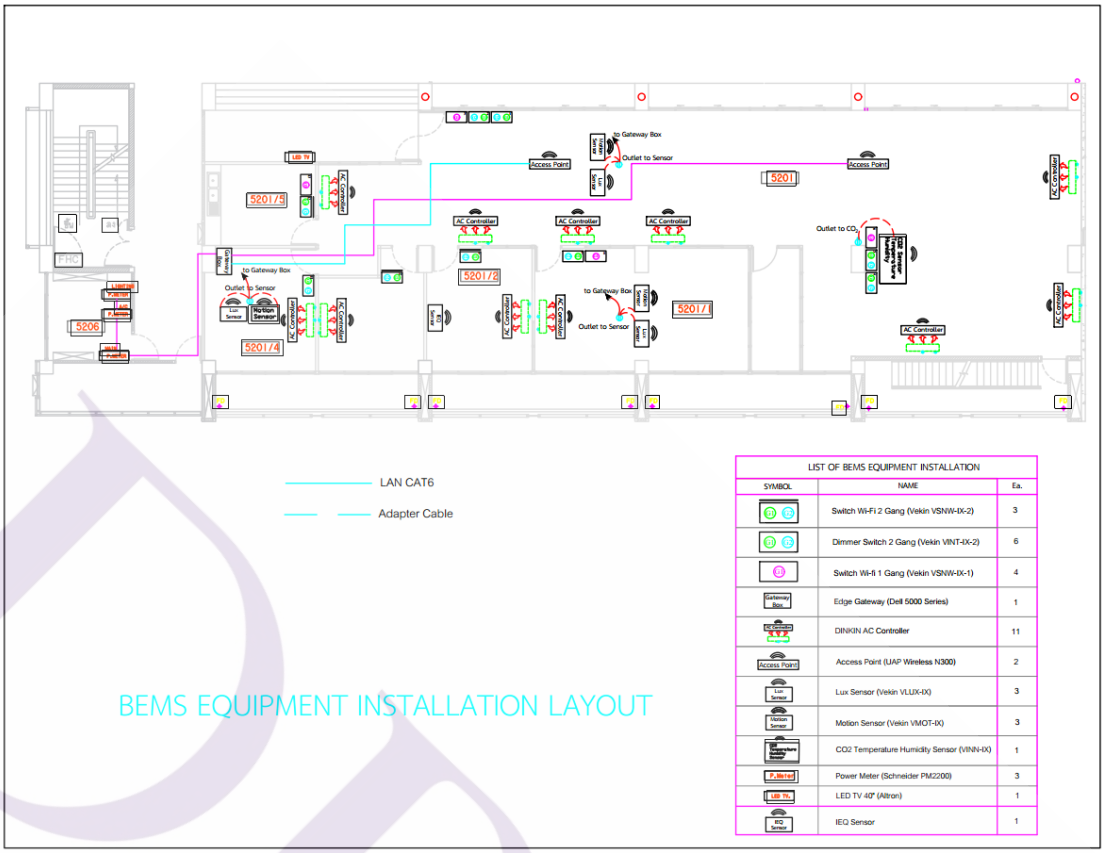
3.6.4 บันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมิเตอร์ลงในฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ

3.6.5 สามารถเชื่อมต่อและแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วย Protocol Modbus TCP, Modbus RTU, MQTT, LoRAWAN

ทางผู้วิจัยจึงเลือกไซต์งานประเภทอาคารสำนักงาน ที่ทางผู้วิจัยได้มีการติดตั้งระบบ BEMS ไว้อยู่แล้ว มาปรับประยุกต์ใช้เพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ IEQ sensor เพิ่มเติมเข้าไป (ดังแสดงในภาพที่ 3.32)



ภาพที่ 3.32 BEMS dashboard อาคารสำนักงาน



ภาพที่ 3.33 BEMS equipment installation layout

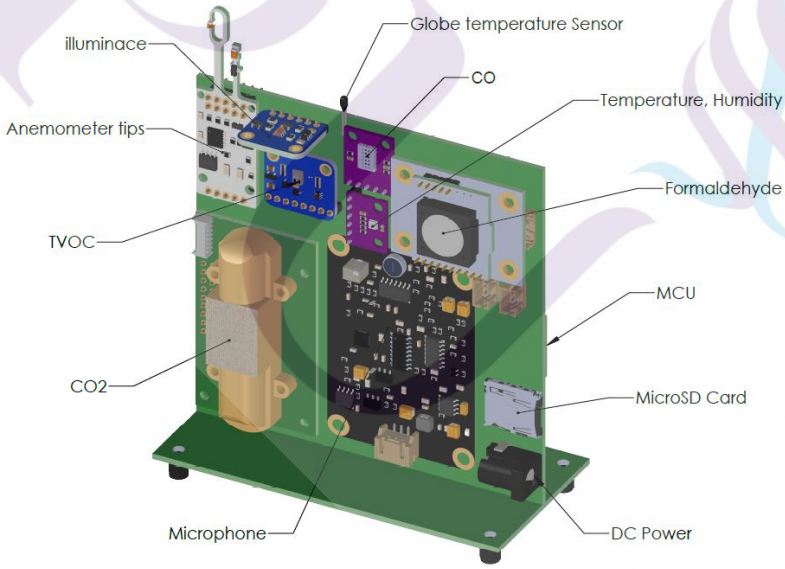
บทที่ 4
ผลการศึกษา

ในการศึกษานี้เป็นการพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารประเภทสำนักงาน ซึ่งจะใช้ในการวัดและประมวลผลค่าต่าง ๆ คือ คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality), สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Comfort), สภาวะน่าสบายเชิงเสียง (Acoustic Comfort) และสภาวะน่าสบายเชิงแสงส่องสว่าง (Visual Comfort)

ซึ่งการพัฒนาระบบนี้สามารถนำเสนอผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1 IEQ Sensor

เมื่อนำ Sensor มาจัดวางเพื่อร่างแบบตามมิติขนาดจริงของอุปกรณ์ sensor ก่อนที่จะทำการประกอบลงบน PCBA จากนั้นทำการ Render ภาพ 3D ออกมาเพื่อเป็น Prototype IEQ Sensor (ดังแสดงในภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 Prototype IEQ Sensor

ค่า compliance thresholds ของการตรวจวัด IEQ sensor ตามมาตรฐานสากล และตามกฎหมายของประเทศไทย ที่จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจวัด IEQ parameters เพื่อแปลผลการตรวจวัดทั้ง 4 IEQ categories (ดังแสดงในตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 Compliance thresholds for the four IEQ categories.

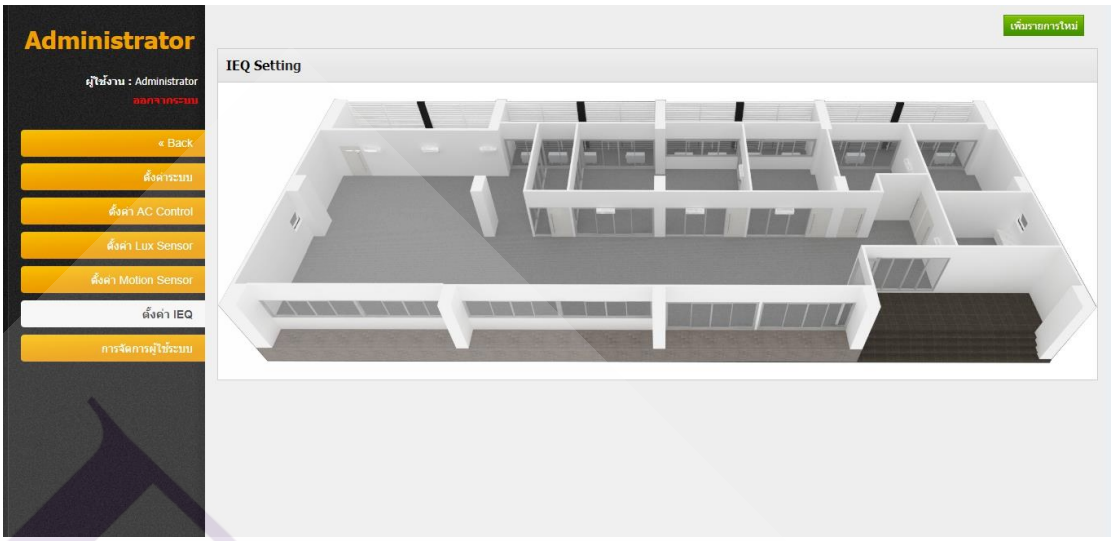
IEQ Category	Parameter	Threshold	Source
Thermal Comfort	PMV	+/-0.5	ASHRAE 55-2013
Acoustics Comfort	Sound pressure level	80 dBA (24hrs)	กฎหมายแรงงาน
Lighting Comfort	Illuminance	400-500 lx	กฎหมายแรงงาน
Indoor Air Quality	Carbon dioxide (CO2)	1000 ppm	ASHRAE 62.1-2007
	Carbon monoxide (CO)	9 ppm (8 h)	ASHRAE 62.1-2007
	PM10	50 µg/m3	ASHRAE 62.1-2007
	Formaldehyde (HCHO)	0.081 ppm (30 min)	ASHRAE 62.1-2007
	Total volatile organic compounds (TVOC)	200 ppb	LEED V4

หลังจากทำการทดสอบ IEQ Sensor เพื่อทดสอบการส่งค่า Parameter โดยส่งสัญญาณผ่านทาง WiFi 2.4 GHz ด้วยโปรโตคอล MQTT ไปที่ MQTT Broker และนำข้อมูลที่ได้ไปเก็บในฐานข้อมูลเครื่อง Server และใช้โปรแกรมดึงค่าข้อมูลจากฐานข้อมูลออกมาแสดงผลแบบ web application นั้นสามารถทำได้ได้แบบ Real-time อย่างต่อเนื่อง จึงได้ค่าข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียดต่อไป

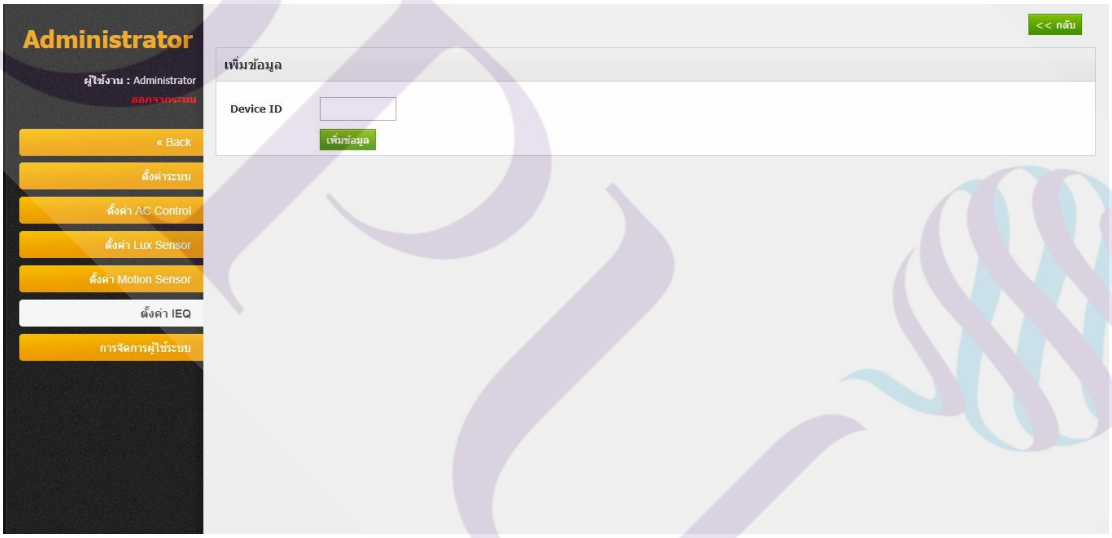
4.2 BEMS-IEQ Platform

หลังจากที่ได้ทำการติดตั้ง IEQ Sensor ในบริเวณโซนที่มีผู้ใช้อาคารทำงานเป็นหลักในระหว่างวัน จากนั้นจึงได้ทำการแก้ไข Single Line Diagram จุดติดตั้ง IEQ Sensor ลงบนแบบแสดงรายละเอียดของการติดตั้งอุปกรณ์ BEMS Equipment Installation Layout (ดังแสดงในภาพที่ 3.33)

จากนั้นทำการ Update Dashboard เพื่อเพิ่มการแสดงจุดติดตั้ง IEQ Sensors ลงบนหน้าจอ BEMS-IEQ Platform โดยการสร้างเพิ่ม function การตั้งค่า IEQ และ IEQ setting ที่หน้า dashboard Administrator (ดังแสดงในภาพที่ 4.1) จากนั้นทำการเพิ่ม device ID ของอุปกรณ์ IEQ sensor เข้าไป (ดังแสดงในภาพที่ 4.2)

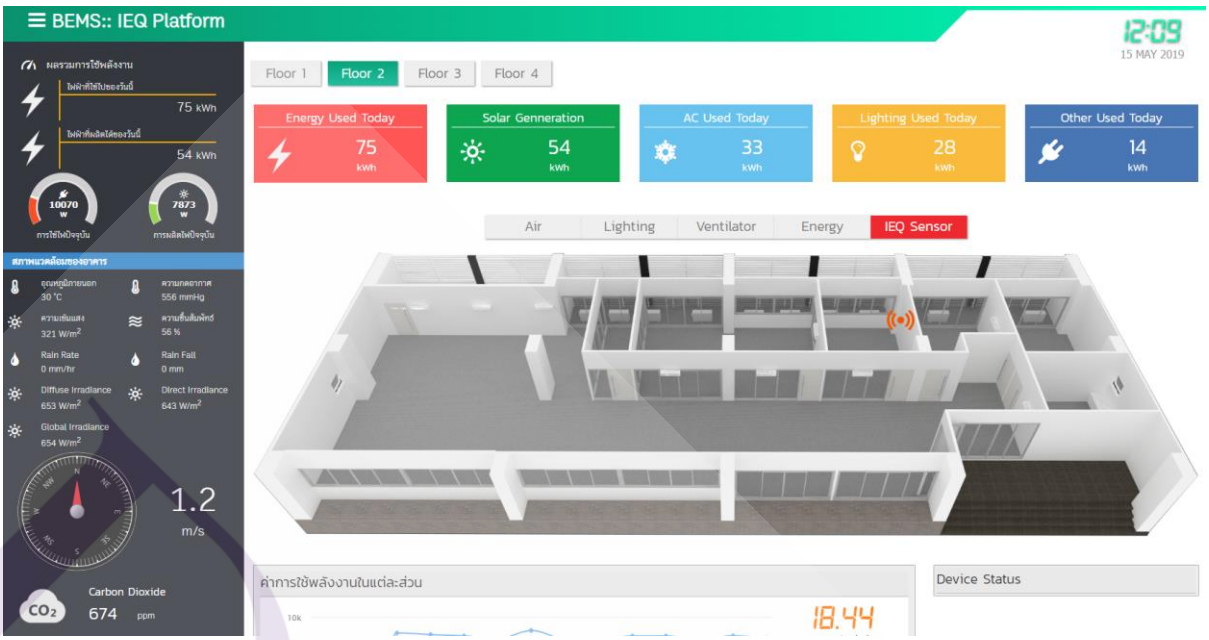


ภาพที่ 4.1 Dashboard สำหรับเพื่อการตั้งค่า IEQ ของ BEMS-IEQ Platform



ภาพที่ 4.2 Dashboard สำหรับเพื่อข้อมูล Device ID ของ BEMS-IEQ Platform

โดยสามารถเข้าดูค่า Parameters ของ IEQ Sensor ด้วยการกดเลือกที่เมนูบาร์ IEQ Sensor แล้วกดเลือกที่สัญลักษณ์ IEQ sensor (ดังแสดงในภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 Function IEQ ที่เพิ่มเข้ามาที่ Dashboard BEMS-IEQ Platform

เมื่อทำการกดสัญลักษณ์ IEQ Sensor จะปรากฏหน้าต่างที่แสดงค่า Parameters จากการตรวจวัดด้วย IEQ Sensor (ดังแสดงในภาพที่ 3.37) โดยจะแสดงผลในรูปแบบของ Web Application ซึ่งจากการศึกษาและพัฒนาในครั้งนี้ได้ตั้งชื่อว่า BEMS-IEQ Platform

ภาพที่ 4.4 ค่าการตรวจวัด IEQ ของ Web Application BEMS-IEQ Platform

ข้อจำกัด (limitation) ของระบบ BEMS-IEQ Platform ที่พัฒนานี้ แบ่งได้เป็น 2 ข้อ คือ ข้อแรกในส่วนอุปกรณ์ IEQ sensor สำหรับทำการตรวจวัดค่า IEQ parameters นั้น ไม่สามารถหาซื้อได้จากท้องตลาด และที่มีใช้ในงานวิจัยต่างๆนั้น ก็จะมีการใช้ในส่วนของห้องทดลองในมหาวิทยาลัยที่มีการศึกษาเรื่องสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงต้องทำการหาข้อมูลแนวคิดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมภายในอาคารเพื่อศึกษาถึงแนวทางการเลือกโมดูลและเซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดค่าสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ให้ครอบคลุมทั้ง 4 IEQ categories ทางผู้วิจัยจึงออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดค่า IEQ parameters ต่างๆ และได้เลือกชนิดของเซ็นเซอร์ รวมถึง specifications โดยอ้างอิงในส่วนของค่าความละเอียด (Resolution) และช่วงของการตรวจวัด (range) จากงานวิจัยเรื่อง Continuous IEQ monitoring system: Context and development (Parkinson et al., 2019) (ดังแสดงในตารางที่ 3.1) และที่สำคัญค่าต่ำสุดที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้ (Threshold) นั้นจะต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในมาตรฐานที่ได้ใช้อ้างอิง (ดังแสดงในตารางที่ 4.1)และอีกประเด็นที่สำคัญ คือ ความน่าเชื่อถือของค่าที่ตรวจวัดได้นั้น เบื้องต้นทางผู้วิจัยได้เลือกเซ็นเซอร์ตรวจวัด โดยคัดเลือกจากบริษัทผู้ผลิตที่น่าเชื่อถือ และเซ็นเซอร์ได้รับการสอบเทียบเรียบร้อยแล้ว แต่ข้อมูลตรงนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากทางผู้ผลิตอุปกรณ์ ดังนั้นผู้วิจัยมีความเห็นว่าหากมีการพัฒนาอุปกรณ์ IEQ sensor เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาด จะต้องมีมาตรฐานและได้รับการยอมรับแบบสากล ด้วยการนำไปสอบเทียบในหน่วยงานหรือห้องทดสอบที่มีมาตรฐาน ISO/IEC 17025 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories เป็นผู้ที่ทำการทดสอบและออกใบรับรองผลการสอบเทียบของอุปกรณ์ IEQ sensor

ข้อสองในส่วน BEMS-IEQ Platform พบว่า รูปแบบและซอฟต์แวร์ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลแบบต่อเนื่องของหน้าจอ dashboard ในการนำเสนอค่า IEQ parameters พบเพียงความผิดพลาดของการแสดงค่าความน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort) ด้วยการแสดงออกมาเป็นค่า PMV และ PPD นั้นพบว่า เกิดจากข้อผิดพลาดในโค้ดสมการคณิตศาสตร์สำหรับใช้คำนวณค่า PMV มีความซับซ้อนในการแทนค่าตัวแปร ตามสมการของ Fanger’s Thermal comfort model จึงทำให้ค่า PPD มีความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย ทางผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขด้วยการทบทวน และปรับปรุงโค้ดสมการคณิตศาสตร์ในการแทนค่าตัวแปร เพื่อให้เกิดการแสดงค่าที่ถูกต้องต่อไป

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยการพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารประเภทสำนักงาน ผลที่ได้พบว่าประสบความสำเร็จบรรลุวัตถุประสงค์

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า สามารถที่จะพัฒนาระบบการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเพื่อตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Building Energy Management Systems–Indoor Environmental Quality: BEMS-IEQ Platform) สำหรับอาคารสำนักงาน ได้โดยการพัฒนาในส่วนอุปกรณ์ตรวจวัด IEQ Sensor ให้สามารถที่จะทำการตรวจวัดและบันทึกค่า IEQ Parameters ของอาคารประเภทสำนักงานได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้ผล IEQ Parameters ตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง โดยข้อมูล IEQ ที่บันทึกได้จะแสดงบน Dashboard ของ BEMS-IEQ Platform จากนั้นยังสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อทำการแก้ไขปัญหา IEQ ภายในอาคาร และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยการและการออกแบบเพื่อให้เกิดการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียวที่ระดับสากลยอมรับเพิ่มขึ้น BEMS-IEQ Platform จึงเป็นนวัตกรรมสำหรับใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ IEQ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของอาคารให้สูงขึ้น และสร้างความพึงพอใจสุขภาพความเป็นอยู่ของผู้ใช้สอยอาคารอีกด้วย ซึ่ง BEMS-IEQ Platform นี้ในอนาคตยังสามารถพัฒนาต่อยอดและนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นได้

5.2 ข้อเสนอแนะของการทำงานวิจัย

ด้วยข้อจำกัดที่สำคัญของการหาอุปกรณ์ในการตรวจวัดค่า IEQ ให้สามารถบันทึกค่าได้อย่างต่อเนื่องนั้น คือ ไม่มี Sensors ที่ใช้วัด IEQ Parameters จำหน่ายในท้องตลาดโดยตรง และส่วนใหญ่จะถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในห้องทดลอง จึงเป็นข้อจำกัดสำคัญที่ทำให้การตรวจวัดค่า IEQ แบบ Real-time นั้นเข้าถึงได้ยาก ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนา IEQ Sensor ให้มีการส่งข้อมูลแบบ MQTT Protocol จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของ IEQ Sensor และ BEMS-IEQ Platform เพื่อส่งเสริมให้ผู้ที่ต้องการศึกษาเรื่อง IEQ นำไปต่อยอด ปรับใช้กับงานวิจัย

ในอนาคต นอกจากนั้นยังสามารถนำ BEMS-IEQ Platform ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเพื่อตรวจวัดค่า Parameters อื่นๆ เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559*). การอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ข้อบัญญัติเกณฑ์มาตรฐานอาคารด้านพลังงาน (Building Energy Code : BEC).*

ความร่วมมือระหว่างโครงการ ความร่วมมือไทย-เยอรมันตามแผนอนุรักษ์พลังงาน (TGP-EEDP) และศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (2E Building Centre). *แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม.* กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน; 2559.

กระทรวงพลังงาน. (2554). *แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573).* กฎกระทรวง เรื่องกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552. (2552, 20 กุมภาพันธ์). ราชกิจจานุเบกษา.เล่ม 12 ตอนที่ 12 ก. หน้า 9-15.

สุภารัตน์ รัตนวิจิตรม, กูสกานา กูบาฮา และพัฒนะ รักความสุข (2555*). ความไม่สบายเชิงอุณหภาพในอาคารโดยสารสาธารณะ.* การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 2

ภาษาต่างประเทศ

Peggie M. Rothe, Marion Beijer, and Theo J.M. van der Voordt. (2011). Most important aspects of the work environment A comparison between two countries. 10th EuroFM Research Symposium.

Haynes Barry (2008). *The impact of office comfort on productivity*. Journal of Facilities Management: Sheffield Hallam University.

Dorgan, C. E. and Dorgan, C. B. (2005). *Assessment of link between productivity and indoor air quality, in Creating The Productive Workplace, D.* ClementsCroome, 2nd ed., E and FN Spon, London, pp. 113-135.

Dwyer, T. (2006). *Comfort for productivity in offices*. Building Services Journal, no 6, pp, 89-91.

Fabbri K. (2015). *Indoor Thermal Comfort Perception*. pp.84-86. Switzerland: Springer International Publishing.

Parkinson, T., Parkinson, A. and de Dear, R. (2019). *Continuous IEQ monitoring system: Context and development.* Building and Environment, 149, 15-25.

Schiavon, S., Hoyt, T. and Piccioli, A. 2013. Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55. Building Simulation, Volume 7, Issue 4, 321- 334.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	เกรียงศักดิ์ อิ่มเต็ม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
	พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการ บริษัท วงศ์ไพบูลย์เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด