การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะจากเซนเซอร์

น.ส.ชนินาถ รักษ์บางแหลม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Technical Feasibility Study of Integrated of Smart Building Sensor System for Indoor Air Quality

Miss Chaninat Rukbanglaem

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Technopreneurship and Innovation Management

Inter-Department of Technopreneurship and Innovation Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะจากเซนเซอร์
โดย	น.ส.ชนินาถ รักษ์บางแหลม
สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกรี สินธุภิญโญ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชนินาถ รักษ์บางแหลม : การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะจากเซนเซอร์. (Technical Feasibility Study of Integrated of Smart Building Sensor System for Indoor Air Quality) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.เกริก ภิรมย์โสภา

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ เพื่อศึกษาองค์ประกอบและการประมวลผลระบบเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ (Smart building) เพื่อประเมินศักยภาพตลาดและความเป็นไปได้ของธุรกิจการประยุกต์ใช้ระบบเซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ (Smart building) โดยมีขอบเขตทางการศึกษา คือ ใช้กรณีศึกษาแหล่งข้อมูลเซนเซอร์จากอาคารอัจฉริยะของ ระบบบริหารจัดการพลังงาน (CU BEMS) อาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Research) จากกลุ่มประชากรตัวอย่างจำนวน 92 ราย เพื่อศึกษาปัจจัยการยอมรับนวัตกรรมและพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารอัจฉริยะผ่านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์การทำงานประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) จากเทคโนโลยีเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ ด้วยการกำหนดตัวแปรต้น (Independent Variable) เป็นมลพิษทางอากาศกับพฤติกรรมผู้ใช้งานอาคาร และ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ เซนเซอร์ภายในอาคารอัจฉริยะที่บ่งชี้ถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6480129820 : MAJOR TECHNOPRENEURSHIP AND INNOVATION MANAGEMENT
KEYWORD: Smart buildings, indoor air quality, Building sensor

Chaninat Rukbanglaem : Technical Feasibility Study of Integrated of Smart Building Sensor System for Indoor Air Quality. Advisor: Assoc. Prof. KRERK PIROMSOPA, Ph.D.

The purpose of this research study is to study the technical feasibility of sensor integration in smart buildings. To study the composition and processing of sensor systems related to air quality in smart buildings from a study to find the relationship of factors affecting air quality in smart buildings along with assess the market potential and business feasibility of applying sensor systems in smart buildings. The scope of the study is to use a case study of sensor data sources from Energy Management System (CU BEMS) Chamchuri 5 Building, Chulalongkorn University and collect quantitative data (Quantitative Research) from a sample population of 92 people to study innovation acceptance factors and user behavior of smart buildings. Through analyzing the relationship of the data, analyzing the work relationship, processing big data (Big Data) from the smart building sensor technology. By defining the independent variable as air pollution and building occupant behavior, and the dependent variable as smart indoor sensors that indicate indoor air quality.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Technopreneurship and Innovation Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2022	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ แนะนำ และให้คำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา อาจารย์คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกรี สิทธุภิญโญ ที่ช่วยให้คำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องสารนิพนธ์ รวมถึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตร่วมชั้นเรียนระดับปริญญาโทปีการศึกษา 2564 และหลักสูตรธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม ที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือ ให้กำลังใจในการจัดทำสารนิพนธ์ รวมถึงให้ความรู้และแนวทางการใช้ประโยชน์จากการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว มารดา ดร.ชุติมา รักษ์บางแหลม บิดา นายสุวดิษฐ์ รักษ์บางแหลม น้องสาว นางสาวชัชนก รักษ์บางแหลม รวมถึงสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการศึกษาต่อระดับปริญญาโทจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอมอบความดีและคุณค่าคุณประโยชน์ที่เกิดจากสารนิพนธ์ฉบับนี้แด่บิดา มารดา และคณะอาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนจนประสบความสำเร็จในครั้งนี้

ชนินาถ รักษ์บางแหลม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ฌ
สารบัญตาราง ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 8
1.3 ขอบเขตการศึกษา 8
1.4 คำจำกัดความการในการศึกษา 9
1.5 วิธีการดำเนินการศึกษา 9
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10
1.7 แผนการดำเนินงาน 11
1.8 เทคโนโลยี นวัตกรรม และการจัดการ 12
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 13
2.1 การทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาข้อมูล 13
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) 21
2.3 ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับระบบเทคโนโลยีเซนเซอร์ภายในอาคารอัจฉริยะ 25
2.4 ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศภายในอาคาร 29
2.5 ทฤษฎีนวัตกรรมที่เกี่ยวข้อง 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ 41
3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษา 41
3.2 การกำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย 41
3.3 การออกแบบ Framework สำหรับการวิจัย 42
3.4 การตั้งสมมุติฐาน 43
3.5 การออกแบบวิธีเก็บข้อมูล 45
3.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล 46
3.7 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ 50
3.8 การประเมินความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ 62
3.9 การสรุปแผนดำเนินการศึกษา 63
บทที่ 4 ผลการศึกษา 64
4.1 ผลการศึกษาการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มของข้อมูล 64
4.2 ผลการศึกษาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล 74
4.3 ผลการศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้งานอาคารจากแบบสอบถาม 79
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถาม 82
บทที่ 5 การประเมินศักยภาพทางตลาด 90
5.1 การวิเคราะห์สถานการณ์ตลาดปัจจุบัน 90
5.2 การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายนอก (PESTEL Analysis) 95
5.3 การวิเคราะห์สภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม (5 Forces Analysis) 98
5.4 การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายใน (SWOT Analysis) 99
บทที่ 6 การประเมินเทคโนโลยีและการนำเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์ 102
6.1 การประเมินเทคโนโลยี (Technology assessment) 102
6.2 การประเมินตลาด (Market assessment) 108
6.3 การนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์เชิงพานิชย์ (Technology exploitation) 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.4 การนำเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์ (Technology Commercialization) 113
6.5 การประเมินความเป็นไปด้านทางการเงิน (Financial feasibility) 123
บทที่ 7 บทสรุปและข้อแนะนำ 129
7.1 สรุปผลการศึกษา 129
7.2 ข้อแนะนำ 130
บรรณานุกรม 131
ภาคผนวก 139
ประวัติผู้เขียน 146

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 ระบบการบริหารจัดการของอาคาร (BMS) ภายในอาคารอัจฉริยะ 2
ภาพที่ 2 ฟังก์ชันของระบบโดยรวมภายในอาคารอัจฉริยะ 5
ภาพที่ 3 การพัฒนาอาคารอัจฉริยะควบคู่เมืองอัจฉริยะ 7
ภาพที่ 4 การจัดตั้งระบบ Big data “DATA LAKE” , The Edge, Amsterdam 2020 16
ภาพที่ 5 เว็บไซต์ CU BEMS 16
ภาพที่ 6 แพลตฟอร์มของระบบ CU BEMS 17
ภาพที่ 7 แผนภาพโครงสร้างของระบบ CU BEMS 17
ภาพที่ 8 คุณสมบัติและฟังก์ชันการใช้งานของระบบ HVAC อาคาร จากระบบอาคาร BACS 18
ภาพที่ 9 ขั้นตอนการใช้โมเดลการจัดการข้อมูล ในสภาพแวดล้อมของอาคารอัจฉริยะ 19
ภาพที่ 10 อุปกรณ์เซนเซอร์ที่มีความสำคัญต่อสภาพแวดล้อมของอาคารอัจฉริยะ 20
ภาพที่ 11 อุปกรณ์เซนเซอร์ Nest thermostat โดย Google 20
ภาพที่ 12 ฟังก์ชันของระบบโดยรวมภายในอาคารอัจฉริยะ 23
ภาพที่ 13 อาคารศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ (Energy Complex : ENCO) 24
ภาพที่ 14 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในที่พักอาศัย แบบ Smart Home 26
ภาพที่ 15 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ 27
ภาพที่ 16 เซนเซอร์ที่ฝังในระบบ HVAC อาคาร 27
ภาพที่ 17 เซนเซอร์ขนาดเล็กที่แสดงผลคุณภาพอากาศอาคาร 28
ภาพที่ 18 มูลค่าการนำเข้าอุปกรณ์ตรวจวัดในไทย 28
ภาพที่ 19 ตลาดเทรนด์เทคโนโลยีเซนเซอร์โดยรวม ปี ค.ศ.2022 29
ภาพที่ 20 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานเดิมที่คงใช้ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 โดย เว็บไซต์ Air4Thai 30
ภาพที่ 21 แนวทางค่าคุณภาพอากาศทั่วโลกแบบใหม่ (AQGs) โดย WHO ปี ค.ศ.2021 31
ภาพที่ 22 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 23 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)กับการแพร่ระบาดของโควิด-19 32
ภาพที่ 24 แถบสีบ่งชี้ค่ามาตรฐานมลพิษ 32
ภาพที่ 25การเปรียบเทียบแถบสีบ่งชี้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา 33
ภาพที่ 26 ดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานของประเทศไทยและสหรัฐอเมริก๊า 33
ภาพที่ 27 ผลคะแนนเปรียบเทียบการวิจัยทดลองพฤติกรรมผู้ใช้งานอาคารกับคุณภาพอากาศ โดย มหาวิทยาลัย Harvard T. H. Chan School of Public Health 37
ภาพที่ 28 ประเภทของนวัตกรรม 38
ภาพที่ 29 การแพร่กระจายของนวัตกรรมกับหุบเหวมรณะ 40
ภาพที่ 30 แผนภาพแสดงระเบียบวิธีวิจัยของผู้วิจัย 42
ภาพที่ 31 แผนภาพแสดง Conceptual Framework 43
ภาพที่ 32 แผนภาพแนวคิด 3 Lens of innovation (IDEO,1991) 44
ภาพที่ 33 รูปแบบการวิเคราะห์ค่า K-Mean จากวิธีการทำ k-Mean Cluster Analysis 59
ภาพที่ 34 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า K-Mean 60
ภาพที่ 35 สูตรการหาความสัมพันธ์ 62
ภาพที่ 36 ตัวอย่างการหาความสัมพันธ์แบบ Association Rules Mining 62
ภาพที่ 37 ผลการกำหนดกลุ่มค่า K จากวิธี Elbow method 68
ภาพที่ 38 ผลการทดสอบความสัมพันธ์กลุ่มค่า K เป็นคู่ 74
ภาพที่ 39 ผล Correlation Heat map 76
ภาพที่ 40 แผนภูมิที่ 1 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเห็นว่าส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร 80
ภาพที่ 41 แผนภูมิที่ 2 แผนภูมิแสดงพฤติกรรมของผู้ใช้งานในอาคารใดส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร 80
ภาพที่ 42 แผนภูมิที่ 3 แผนภูมิแสดงพื้นที่ภายในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศมากที่สุด 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 43 แผนภูมิที่ 4 แผนภูมิแสดงผู้ใช้งานภายในอาคาร คำนึงถึงสิ่งใดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพอากาศในพื้นที่ 81
ภาพที่ 44 แผนภูมิที่ 5แผนภูมิแสดงผู้ใช้งานภายในอาคาร 82
ภาพที่ 45 แผนภูมิที่ 6 แผนภูมิแสดงเพศและอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม 83
ภาพที่ 46 แผนภูมิที่ 7 แผนภูมิแสดงอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถาม 83
ภาพที่ 47 แผนภูมิที่ 8 แผนภูมิแสดงพื้นที่อยู่อาศัยของผู้ตอบแบบสอบถาม 84
ภาพที่ 48 แผนภูมิที่ 9 แผนภูมิแสดงประเภทที่อยู่อาศัยของผู้ตอบแบบสอบถาม 84
ภาพที่ 49 แผนภูมิที่ 10 แผนภูมิแสดงคำตอบการรู้จักอาคารอัจฉริยะของผู้ตอบแบบสอบถาม 84
ภาพที่ 50 แผนภูมิที่ 11 แผนภูมิแสดงการรู้จักระบบเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องระบบคุณภาพอากาศภายในอาคาร ของผู้ตอบแบบสอบถาม 85
ภาพที่ 51 แผนภูมิที่ 12 แผนภูมิแสดงการใช้อุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศของผู้ตอบแบบสอบถาม 85
ภาพที่ 52 แผนภูมิที่ 13 แผนภูมิแสดงสิ่งที่ใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการรับทราบถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร 86
ภาพที่ 53 แผนภูมิที่ 14 แผนภูมิแสดงคำตอบนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร 86
ภาพที่ 54 แผนภูมิที่ 15 87
ภาพที่ 55 แผนภูมิที่ 16 87
ภาพที่ 56 แผนภูมิที่ 17 88
ภาพที่ 57 แผนภูมิที่ 18 88
ภาพที่ 58 แผนภูมิที่ 19 88
ภาพที่ 59 แผนภูมิที่ 20 89
ภาพที่ 60 รูปแบบการประยุกต์ใช้ IoT สำหรับอาคารอัจฉริยะ 89
ภาพที่ 61 ภาพรวมตลาดโลกของกลุ่มธุรกิจในอุตสาหกรรมอาคารอัจฉริยะ 91
ภาพที่ 62 ภาพรวมความสนใจต่อเทคโนโลยีเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะ 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 63 ภาพรวมตลาดในเอเชียแปซิฟิกของเซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ 92
ภาพที่ 64 ตัวอย่างแบรนด์ที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรม Building Technology 95
ภาพที่ 65 รูปแบบการประยุกต์ใช้ IoT สำหรับอาคารอัจฉริยะ 97
ภาพที่ 66 Conceptual Framework การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคบูรณาการข้อมูลเซนเซอร์ 106
ภาพที่ 67 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลจากการบูรณาการข้อมูลเซนเซอร์ 107
ภาพที่ 68 ตัวอย่างการตรวจจับข้อมูลจากการบูรณาการข้อมูลเซนเซอร์ 107
ภาพที่ 69 โครงสร้างโดยรวมของกลุ่มผู้ใช้งานจากข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) 115
ภาพที่ 70 ตำแหน่งทางการตลาดของกลุ่มธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) 116
ภาพที่ 71 ตำแหน่งทางการตลาดของแบรนด์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) 116
ภาพที่ 72 สัดส่วนข้อมูลอ้างอิงราคาอุปกรณ์และการบริหารเชิงระบบ 117
ภาพที่ 73 สัดส่วนข้อมูลอ้างอิงราคาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องภายในระบบ 118
ภาพที่ 74 สัดส่วนข้อมูลโครงสร้างราคาเซนเซอร์และระบบที่เกี่ยวข้องภายในอาคาร 118
ภาพที่ 75 การวิเคราะห์ห่วงโซ่แห่งคุณค่า (Value Chain Analysis) Michael E. Porter 119
ภาพที่ 76 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เซนเซอร์ 122

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตาราง 1ข้อมูลดิบค่าเซนเซอร์ภายในอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย..... 52

ตาราง 2 ข้อมูลดิบค่าเซนเซอร์คุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี 2563 54

ตาราง 3 ข้อมูลดิบค่าเซนเซอร์คุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี 2564 54

ตาราง 4 ตารางข้อมูลดิบการวัดค่ามลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร..... 55

ตาราง 5 ค่าอุณหภูมิตามฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงปี พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2564..... 56

ตาราง 6 ตารางช่วงฤดูกาลในประเทศไทยกับการวัดค่าเซนเซอร์ในแต่ละส่วนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2563-2564..... 57

ตาราง 7 ตารางการจัดกลุ่มข้อมูลค่าเซนเซอร์ 64

ตาราง 8 ตารางผลการจัดกลุ่มข้อมูลค่าเซนเซอร์ โดยกำหนดสุ่มค่า k=3..... 65

ตาราง 9 ตารางผลค่าเฉลี่ย (Mean)ของแต่ละกลุ่ม จากการทำซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้ง 66

ตาราง 10 ตารางผลค่าเฉลี่ย (Mean)ของแต่ละกลุ่ม จากการทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้ง..... 67

ตาราง 11 ตารางผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลจากการวิเคราะห์ K-mean..... 68

ตาราง 12 ตารางสรุปจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มจากการวิเคราะห์ K-mean..... 69

ตาราง 13 ตารางสรุปผลค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มจากการวิเคราะห์ K-mean..... 69

ตาราง 14 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปกลุ่มจากการวิเคราะห์ K-mean 71

ตาราง 15 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปการทำ correlation..... 75

ตาราง 16 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปการทำ correlation..... 76

ตาราง 17 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปการทำ correlation..... 77

ตาราง 18 การเลือกวิธีนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ (Technology Exploitation)..... 112

ตาราง 19 ประมาณการในการลงทุน และสินทรัพย์ 123

ตาราง 20 ประมาณการต้นทุนของเงินทุน..... 124

ตาราง 21 ประมาณการต้นทุนของเงินทุน..... 125

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 22 ประมาณการการงบกำไรขาดทุน 5 ปี..... 126
ตาราง 23 ประมาณการการงบกระแสเงินสด 126
ตาราง 24 ประมาณการแสดงงบดุลทางการเงิน 127
ตาราง 25 ประมาณการผลตอบแทนในการลงทุน 128

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการจัดการอาคารด้วยระบบเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับยุคสมัย เป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานอาคารโดยอาคาร จะต้องรองรับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ใช้งานภายในอาคาร ที่ต้องการความสะดวกสบายและเชื่อมโยงกับนวัตกรรมที่มีความจำเป็นต่อการใช้งาน ดังนั้นการบริหารจัดการอาคารในรูปแบบของอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) เป็นการออกแบบระบบอาคารมาเพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานอาคารเพื่อสร้างคุณภาพชีวิตที่ยั่งยืนและเหมาะสมกับยุคสมัยปัจจุบัน รวมไปถึงแนวโน้มการรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคตได้อีกด้วย ทำให้เทรนด์การออกแบบระบบอาคารอัจฉริยะได้รับความนิยมโดยเป็นการออกแบบที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของผู้ใช้งาน คือ การนำหลักออกแบบ Human Centric Design เพื่อให้สอดคล้องกับผู้ใช้งานอาคาร ที่ทำให้อาคารสื่อสารกับผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำ

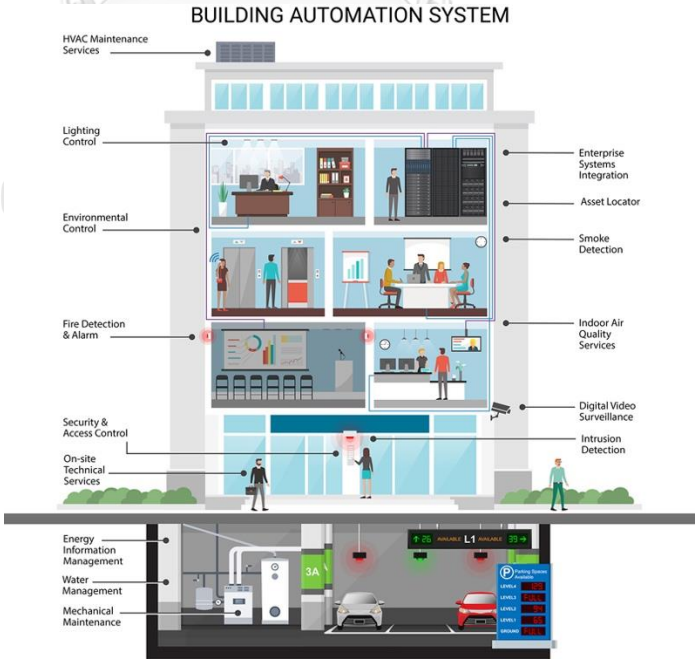
อาคารอัจฉริยะเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อการใช้งานในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อผู้ใช้งานและผู้ประกอบการอาคาร ไม่ว่าจะเป็น ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเทคโนโลยี หรือ ด้านการสร้างสุขภาวะที่ดีแก่ผู้ใช้งาน เช่น การประหยัดพลังงานอาคาร การนำเทคโนโลยี IoT (Internet of things) มาใช้บริหารทรัพยากรอาคาร การสร้างความปลอดภัยหรือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่สร้างคุณค่าและพัฒนาประสิทธิภาพอาคารได้

การตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้งานอาคารหรือผู้บริโภค การนำเทคโนโลยีมาใช้ประโยชน์ทางสุขภาพเป็นการเสริมสร้างคุณภาพชีวิตได้ดี โดยปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องที่ได้รับความนิยม คือ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพในชีวิตประจำวันที่อยู่ภายในอากาศ เช่น ค่าฝุ่น PM2.5 มลพิษทางอากาศ การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 อาจเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลต่อสุขภาพได้ รวมไปถึงพฤติกรรมผู้ใช้งานอาคารที่เปลี่ยนไปหลังจากเกิดวิกฤตการณ์แพร่ระบาดของโรคโควิด-19 อีกด้วย ไม่ว่าจะเป็น การใช้งานอาคารแบบใช้ประโยชน์จากพื้นที่หลากหลายการใช้งาน ความยืดหยุ่นของพื้นที่ทำงานของผู้ใช้งานอาคารแบบ Work anywhere ทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคาร มีความสำคัญต่อการใช้งานพื้นที่อาคารต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศ ส่งผลให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศขึ้น ทำให้ไม่สามารถควบคุมความเหมาะสมของคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ จากกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2564 มีการรายงานผลการตรวจวัดพบค่าเฉลี่ยรายปีเกินค่ามาตรฐานดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index (AQI)) โดยมีค่า มาตรฐานที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง ซึ่งอยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และ ส่งผลกระทบพื้นที่เมืองของกรุงเทพมหานคร (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

ระบบอาคารอัจฉริยะได้คิดค้นวิธีการปรับปรุงสภาพอากาศภายในอาคาร ด้วยระบบบริหารจัดการอาคารผ่านการตรวจวัด ตรวจจับค่าที่มีความเกี่ยวข้องสำหรับสภาพอากาศ เช่น นวัตกรรมการกรองอากาศเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศและการระบายอากาศในอาคาร จากการวัดค่าความชื้น ความดันอากาศ อุณหภูมิภายในอาคาร ผ่านเทคโนโลยีเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ ระบบที่กล่าวมาข้างต้น อยู่ภายใต้ระบบการบริหารจัดการของอาคาร (BMS) หรือเรียกอีกชื่อว่าระบบอัตโนมัติในอาคาร (BAS) ซึ่งในแต่ละส่วนจะทำหน้าที่ประมวลผลแยกส่วนกัน และแสดงผลในแต่ละส่วนของเทคโนโลยีอาคารผ่านการใช้ Technology IoT หรือ การประมวลผลข้อมูลผ่านระบบ Cloud ให้ผู้ใช้งานอาคารทราบ จากข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ และบริหารจัดการคุณภาพอากาศ



ภาพที่ 1 ระบบการบริหารจัดการของอาคาร (BMS) ภายในอาคารอัจฉริยะ

ด้านเทคโนโลยี พบว่าในปัจจุบัน เทคโนโลยีสมัยใหม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในลักษณะของ Disruptive Technology & innovation ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับการใช้งานที่รองรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคตมีความสำคัญ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมของ Technology IoT ซึ่งมีความเกี่ยวข้องในการใช้เทคโนโลยีสำหรับระบบอาคารอัจฉริยะ นอกเหนือจากนี้ Smart Building Trend เป็นอุตสาหกรรมที่ผู้ประกอบการอาคารให้ความสนใจ ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงระบบอาคารใหม่ หรือ การสร้างอาคารใหม่

จากข้อมูลทางการตลาด พบว่า ตลาดที่ใช้ในระบบอาคารอัจฉริยะทั่วโลก การวิจัยตลาดล่าสุดได้คาดการณ์ว่าจะเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าภายในปี ค.ศ.2022 และในอนาคตโดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยรวม (CAGR – compound annual growth rate) ที่ 16% ซึ่งเป็นการลงทุนในส่วนของอุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบอาคารอัจฉริยะเป็นส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะเป็น เซนเซอร์ ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) ของอาคาร ระบบไฟฟ้า ระบบตรวจจับ ตรวจวัดข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless Monitoring) เป็นต้น สำหรับการลงทุนสร้างระบบเทคโนโลยีแล้ว ในประเทศไทยคาดการณ์ว่าระหว่างปี ค.ศ. 2019-2022 เป็นต้นไป รวมถึงการคาดการณ์ไปถึงปี ค.ศ.2030 จากข้อมูลของบริษัทฮิตาชิ พบว่า การลงทุนด้านเทคโนโลยีอัจฉริยะในภาคอาคารและอสังหาริมทรัพย์ จะมีแนวโน้มสูงถึง 55 พันล้านบาท ทำให้ความน่าสนใจในการลงทุนธุรกิจด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาคารอัจฉริยะมีเพิ่มสูงขึ้น

เทคโนโลยีสำหรับอาคารอัจฉริยะ ทางบริษัท SCG ได้นำเสนอถึงเทคโนโลยีที่ตอบสนองความต้องการต่อผู้บริโภคในปี ค.ศ.2022 เพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดี โดยแบ่งออกเป็น Smart Building Solution เป็น 4 ส่วน โดยบริษัท SCG กล่าวว่า *“มีการประเมินว่าภายในปี ค.ศ.2050 ประชากรโลกกว่า 70% จะพักอาศัยและทำงานอยู่ภายในอาคาร มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับผู้ประกอบการ หรือบริหารงานอาคาร “อาคาร” จึงไม่ใช่ทำหน้าที่เพียงแค่บังแดดบังฝน แต่ต้องมอบความสะดวกสบายให้แก่ผู้อยู่อาศัยได้มากขึ้น” (SCG Building Solution,2022)* ประกอบไปด้วย Energy Well Series Energy Care Series Hygiene Series และ Intel Series ซึ่งส่วนใหญ่ให้ความสำคัญถึงการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นหลัก ทำให้นวัตกรรมเพื่ออาคารอัจฉริยะมีความน่าสนใจสำหรับการลงทุนเพื่อการปรับปรุงอาคารใหม่ หรือ การสร้างอาคารใหม่ สำหรับตอบโจทย์การใช้งานของผู้ใช้งานอาคารเพื่อสร้างประสบการณ์ และสุขภาวะของผู้ใช้งานอาคารให้ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยิ่งขึ้น นอกจากผู้ใช้งานได้รับผลประโยชน์ที่ดีแล้ว ในมุมของธุรกิจยังสามารถช่วยผู้ประกอบการอาคารลดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานอาคาร ช่วยบริหารจัดการเทคโนโลยีทรัพยากรอาคารได้ดี

ความน่าสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับอาคารอัจฉริยะ คือ การพัฒนาระบบเซนเซอร์ ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคาร เนื่องจากระบบการประมวลผลของอาคารทำงานแยกส่วนกันอยู่ ทำให้เห็นถึงโอกาสในการพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์และวิเคราะห์ผลของคุณภาพอากาศอาคารให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.1.2 ความสำคัญของปัญหาและความท้าทายในเชิงธุรกิจ

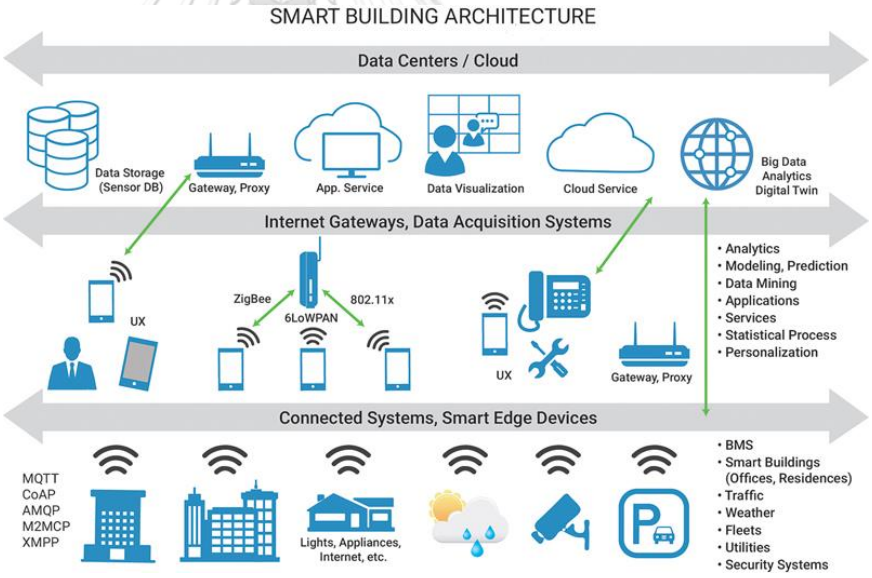
อาคารอัจฉริยะ (Smart Building) เป็นการนำนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่มีความล้ำสมัยเข้ามาใช้กับระบบการบริหารจัดการอาคาร เพื่อตอบโจทย์เรื่องของการประหยัดพลังงานอาคาร และการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร ซึ่งมีระบบการบริหารจัดการอาคารที่เรียกว่า ระบบบริหารจัดการอาคาร (BMS) หรือว่าระบบอัตโนมัติในอาคาร (BAS) เป็นระบบประมวลผลที่เกี่ยวข้องกับระบบอาคารทั้งหมด เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบระบายอากาศ เป็นต้น โดยมีกระบวนการผ่านการใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ และ ฮาร์ดแวร์ นอกเหนือจากนี้ยังมีการใช้ระบบที่นำ IoT เข้ามาเชื่อมต่อกับการประมวลผลเพื่อส่งต่อให้ผู้ใช้งาน เช่น การใช้ระบบ cloud และ การใช้ mobile application

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในระบบการบริหารจัดการอาคาร ส่วนใหญ่ฮาร์ดแวร์ทางคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้งานทางเทคโนโลยีนวัตกรรม คือ อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องภายในอาคาร เช่น เซนเซอร์ตรวจจับฝุ่นควัน PM2.5 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ตรวจวัดค่าความชื้น ตรวจวัดค่าแสง เซนเซอร์มอนิเตอร์กรองอากาศและปรับปรุงคุณภาพอากาศ เป็นต้น ในเชิงฟังก์ชันของอาคารจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เทคโนโลยีเหล่านี้มาช่วยเหลือเพื่อปรับปรุงและบริหารจัดการระบบอาคารมีประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบอาคารเชิงสถาปัตยกรรมเองมีการออกแบบมาเพื่อจัดการระบบส่วนต่าง ๆ ให้ทำงานแยกกันเป็นสัดส่วน ไม่ว่าจะเป็น ระบบไฟฟ้า ระบบท่อน้ำ ระบบปรับอากาศ และระบายอากาศ HVAC (Heating Ventilation and Air

Conditioning) ของอาคาร ทำให้ต้องมีระบบเหล่านี้มีช่วยประมวลผล เพื่อทราบถึงค่าปัจจุบันและค่าสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละระบบ

ระบบการบริหารจัดการอาคารนั้นเป็นการประมวลผลแบบแยกส่วนกัน กล่าวคือ ระบบการประมวลผลของอาคารในแต่ละส่วนทำงานแยกส่วนกัน ไม่ว่าจะเป็น ระบบการระบายอากาศและปรับปรุงสภาพอากาศ ระบบการตรวจจับความชื้น ระบบการตรวจจับอุณหภูมิ เป็นต้น ทำให้เกิดช่องว่างในระบบการบริหารจัดการที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลมาวิเคราะห์และประมวลผลเชิงผสมผสานกัน เพื่อให้เกิดการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การนำข้อมูลมาวิเคราะห์เชิงผสมผสานนั้นอาจเกิดค่าการประมวลผลที่มีความแม่นยำมากกว่าการวิเคราะห์แยกส่วน จากการตั้งคำถามเชิงวิจัยของผู้วิจัยผ่านปัญหาและโอกาสในการพัฒนาจากช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยตั้งคำถามขึ้นเพื่อตอบถึงการค้นหาการประมวลผลของระบบเซนเซอร์ที่มีความแม่นยำมากกว่าแบบเดิม



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันของระบบโดยรวมภายในอาคารอัจฉริยะ

การปรับปรุงคุณภาพอากาศในเชิงระบบ จะช่วยพัฒนาระบบบริหารจัดการของอาคารอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานอาคาร เพื่อคุณภาพอากาศ และคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า เทคโนโลยีที่ทำงานเชื่อมต่อกัน ทำให้อาคารมีความชาญฉลาดและตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงระบบภายในอาคาร

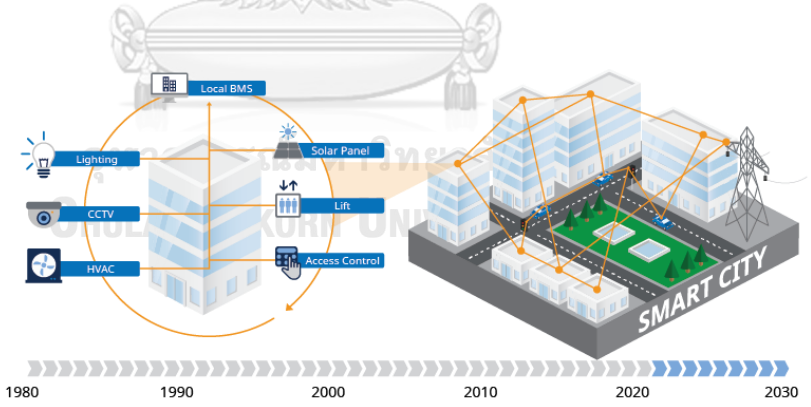
ในการปรับปรุงเชิงระบบจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของการทำงานเชิงระบบของอาคาร เช่น ระบบเซนเซอร์ที่เลือกนำมาทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ด้วยข้อจำกัดของอาคารทางสถาปัตยกรรมที่สร้างขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ช่องเปิด ประตู หน้าต่าง งานระบบภายในอาคารอาจถูกสร้างขึ้นมาโดยไม่ได้ถูกคาดการณ์เพื่อรองรับความเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่มีความผันผวนและปัจจัยด้านมลภาวะทางอากาศที่สามารถควบคุมได้ยากในปัจจุบัน ส่งผลให้การควบคุมคุณภาพอากาศไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร รวมถึงคุณภาพอากาศภายในอาคารในแต่ละพื้นที่การใช้งานไม่เหมาะสมต่อสุขภาวะของผู้ใช้งานอาคารเท่าที่ควร ทำให้การปรับปรุงคุณภาพอากาศในเชิงระบบมีความสำคัญ เนื่องจากจะเป็นส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศของอาคารให้ดีขึ้นได้

ความท้าทายในเชิงธุรกิจ เป็นเรื่องของเทรนด์ด้านการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยี ด้านเทคโนโลยีอาคารทั้งด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม ที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงาน และ การบริหารจัดการอาคารให้มีความทันสมัยให้เหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้งานอาคารและผู้ประกอบการอาคาร ระบบอาคารอัจฉริยะ (smart building) เป็นที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วในช่วงปี ค.ศ. 2010 เป็นต้นมา ส่วนในประเทศไทยกำลังเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน จากปัจจัยของผู้ประกอบการอาคารว่า การบริหารอาคารแบบอาคารอัจฉริยะ ช่วยลด ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นด้านพลังงานอาคาร ช่วยการบริหารจัดการอาคารเกิดขึ้นอย่างสะดวก และรวดเร็ว ลดอัตราการจ้างงานของผู้ดูแลอาคารและลดเวลาการดูแลรักษาระบบอาคาร มีความปลอดภัย และ ทันยุคสมัย รวมถึงรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคตอีกด้วย นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมสุขภาวะให้กับทั้งผู้ใช้งานอาคารและอาคารได้ดี

จากข้อมูล smart building solution ผู้จัดการทั่วไป คุณอิจิโร่ อิซิซึ บริษัทฮิตาชิ (ประเทศไทย) จำกัด กล่าวถึงธุรกิจด้านอาคารอัจฉริยะในประเทศไทยว่า *“ธุรกิจประเภทนี้ในประเทศไทยจะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย ปีละ 15% ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2562 - พ.ศ.2567 รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมผู้บริโภคที่ต้องปรับตัวเข้ากับเทคโนโลยีต่างๆในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น การทำธุรกรรมทางออนไลน์ การเข้าใช้อุปกรณ์ที่เข้าถึงเทคโนโลยี IoT ทั้งหมด”* ความท้าทายของธุรกิจนี้คือการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเทคโนโลยี

อาคารซึ่งเป็นธุรกิจแนวใหม่ที่มีความน่าสนใจและกำลังจะเป็นที่นิยม ด้วยโอกาสถึงความเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยของสังคมต่าง ๆ เช่น สถานการณ์โควิด-19 ที่เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภค ในการให้ความสำคัญเรื่องความปลอดภัยและลดความเสี่ยงจากการสัมผัส ทำให้เทคโนโลยีภายในอาคารปรับตัวเปลี่ยนแปลง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคให้ตอบโจทย์การใช้งาน

ด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ ส่งผลต่อการปรับเปลี่ยน วิถีการใช้ชีวิตอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การพัฒนาเมืองเป็นอีกแง่มุมหนึ่งในยุคสมัยใหม่แห่งการเปลี่ยนแปลงที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม โดยมีการนำเทคโนโลยีและข้อมูลมาใช้มากขึ้นเพื่อตอบรับต่อการเพิ่มขึ้นของเมืองที่เติบโตขึ้น รวมถึงคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของชาวเมือง จึงมีการพัฒนาพื้นที่เพื่อปรับเปลี่ยนให้กลายเป็นเมืองที่เรียกว่า “เมืองอัจฉริยะ”หรือ Smart City ขึ้นการขับเคลื่อน โดยมีรูปแบบแนวคิดการพัฒนาและขับเคลื่อนเมือง คือ เป็นเมืองที่ใช้เทคโนโลยีสูง มีระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับ และบริการสาธารณะที่มีประสิทธิภาพสูง รวมถึงการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้องมูลแบบเรียลไทม์โดยอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อที่หลากหลาย”



ภาพที่ 3 การพัฒนาอาคารอัจฉริยะควบคู่เมืองอัจฉริยะ

1.1.3 การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสำหรับธุรกิจ

คุณภาพอากาศเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ผู้จัดการอาคารมักจะเพิกเฉยโดยเน้นไปที่อุณหภูมิที่เป็นสภาวะน่าสบายหรือประหยัดพลังงานมากกว่า อย่างไรก็ตามการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ได้เพิ่มการรับรู้ของผู้คนเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมภายใน

อาคาร และนำมาซึ่งจุดสนใจใหม่เกี่ยวกับคุณภาพอากาศ เมื่อพิจารณาถึงการใช้งานพื้นที่อาคาร ผู้ใช้งานอาคารใช้เวลามากกว่า 90% ในแต่ละวันอยู่ภายในอาคาร ปัจจุบันคาดว่าอาคารที่ใช้จะส่งผลดีต่อสุขภาพในระยะยาว ต้องการความมั่นใจว่าอากาศในพื้นที่ทำงานสะอาดเมื่อกลับมาที่สำนักงาน และนายจ้าง หรือ เจ้าของอาคาร ก็จะตระหนักดีว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีนั้นเป็นข้อได้เปรียบทางธุรกิจ โดยจะรู้ได้อย่างไรว่าอากาศภายในอาคารสะอาด ซึ่งข้อมูลเซ็นเซอร์คุณภาพอากาศนั้นจะเป็นตัวช่วยในการตรวจสอบได้

เนื่องจากอากาศที่หายใจเข้าไปภายในอาคารถูกหมุนเวียนโดยระบบปรับอากาศ HVAC ของอาคาร (Heating Ventilation and Air Conditioning) การตรวจสอบและปรับแต่งระบบอย่างมืออาชีพเป็นประจำจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพอากาศ IAQ (Indoor Air Quality) ที่ดี

การลงทุนในการบำรุงรักษาระบบ HVAC เป็นประจำ ควบคู่ไปกับการตรวจสอบและทำความสะอาดท่อเป็นครั้งคราว ไม่เพียงแต่ช่วยให้คุณตรวจจับ ป้องกัน และกำจัดแหล่งที่มาของมลพิษทางอากาศภายในอาคารเท่านั้น แต่ยังช่วยให้มั่นใจได้ว่าระบบ HVAC ของคุณทำงานได้อย่างถูกต้อง เพื่อความสะดวกสบายอย่างสม่ำเสมอ ประหยัดค่าใช้จ่าย และความน่าเชื่อถืออีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบและการประมวลผลระบบเซนเซอร์ในการวิเคราะห์และคาดเดาคุณภาพอากาศของอาคารอัจฉริยะ (Smart Building)

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ (Smart building)

1.2.3 เพื่อประเมินศักยภาพตลาดและความเป็นไปได้ของธุรกิจการประยุกต์ใช้ระบบเซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ (Smart building)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการประยุกต์ใช้ระบบเซนเซอร์ภายในอาคารอัจฉริยะเพื่อวิเคราะห์คุณภาพอากาศภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.3.2 การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยนำข้อมูลการดำเนินงานที่มีจากการติดต่อขอแหล่งข้อมูลที่เหมาะสมที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะเพื่อนำมาใช้ศึกษาข้อมูลและวิจัย

1.3.3 ดำเนินการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานและความต้องการของผู้บริโภคผ่านแบบสอบถามเพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่างการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research)

1.3.4 ขอบเขตระยะเวลาการศึกษาดำเนินงานโครงการในภาคเรียนที่ 2 ตั้งแต่ มกราคม 2566 ถึง พฤษภาคม 2566

1.4 คำจำกัดความการในการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ หมายถึง การศึกษารูปแบบการนำเสนอการจัดการระบบเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ เพื่อนำมาวิเคราะห์ตอบถึงสภาวะที่เหมาะสมของสภาพอากาศภายในอาคารกับพื้นที่การใช้สอยอาคารภายในอาคารอัจฉริยะ ซึ่งเป็นการนำโอกาสทางการศึกษาระบบบริหารจัดการอาคาร (BMS) ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยยังมีช่องว่างสำหรับพัฒนาระบบเซนเซอร์ คือ ระบบการประมวลผลของระบบบริหารจัดการอาคารในแต่ละระบบยังทำงานประมวลผลแบบแยกส่วนกันซึ่งยังขาดส่วนการเชื่อมโยงระบบเพื่อนำมาวิเคราะห์และคาดการณ์ถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร ทำให้เล็งเห็นถึงโอกาสในการพัฒนาหรือวิจัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 วิธีการดำเนินการศึกษา

1.5.1 ค้นคว้าและศึกษาองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะรวมถึงปัจจัยทางธุรกิจและการตลาด จากงานวิจัย กรณีศึกษา แหล่งข้อมูลทั่วไป และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 รวบรวมค้นคว้าและหาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีทั้งแบบสอบถามเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ข้อมูลจากกรณีศึกษาของเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะ และค้นคว้าหาข้อมูลทั่วไป เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารและความต้องการของผู้ใช้งานอาคาร

1.5.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนารูปแบบเทคโนโลยีนวัตกรรมที่นำมาประยุกต์ใช้ได้กับระบบเซนเซอร์ภายในอาคารอัจฉริยะ

1.5.4 วางแผนการนำงานเทคโนโลยีนวัตกรรมออกสู่เชิงพาณิชย์

1.5.5 สรุปผลการวิจัยและการอภิปราย

1.5.6 นำเสนอโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เพื่อเป็นต้นแบบความคิดการพัฒนาระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้งานอาคารและผู้ประกอบการของอาคารอัจฉริยะ

6.2 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีนวัตกรรมในอุตสาหกรรมอาคารอัจฉริยะให้มีความทันสมัยและก้าวหน้ายิ่งขึ้น

6.3 สามารถนำมาปรับใช้หรือต่อยอดระบบเซนเซอร์ที่มีอยู่ในระบบอาคารเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.4 ทราบถึงความต้องการหรือแนวทางในการพัฒนาหรือการบริหารระบบการจัดการอาคารที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งานอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 แผนการดำเนินงาน

แผนระยะเวลาการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 8 ส่วน ดังต่อไปนี้

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2566																			
		มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				พฤษภาคม			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ศึกษาข้อมูลและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	■	■	■																	
2	จัดทำหัวข้อโครงร่างพิเศษ		■	■																	
3	ศึกษาและเก็บข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่ใช้				■	■	■	■	■	■											
4	วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหาและประเมินศักยภาพการออกสู่เชิงพาณิชย์									■	■	■	■	■	■	■	■				
5	สรุปผลวิจัยและประเมินผล															■	■	■			
7	นำส่งโครงการพิเศษ (โครงร่าง)																		■	■	
8	สอบนำเสนอโครงการพิเศษ																				■

1.8 เทคโนโลยี นวัตกรรม และการจัดการ

1.8.1 เทคโนโลยี (Technology)

- เซนเซอร์ภายในอาคารอัจฉริยะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

1.8.2 นวัตกรรม (Innovation)

- การบูรณาการหาความสัมพันธ์ของระบบประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- การประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

1.8.3 การบริหารจัดการ (Management)

- ความเป็นไปได้ของการบริหารจัดการระบบเซนเซอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการประยุกต์และบูรณาการนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยมีแนวความคิดเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของนวัตกรรมที่จะปรับปรุงหรือพัฒนาต่อยอดระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะในเชิงระบบให้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการศึกษาระบบเซนเซอร์อาคารจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เพื่อนำมาหาค่าสหความสัมพันธ์ ในการคิดค้นนวัตกรรม โดยมีแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(1) การทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น
(2) ทฤษฎีเกี่ยวกับอาคารอัจฉริยะ (Smart Building)
(3) ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับระบบเทคโนโลยีเซนเซอร์ภายในอาคารอัจฉริยะ
(4) ทฤษฎีนวัตกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษาข้อมูลของผู้วิจัยได้กำหนดการศึกษาข้อมูลโดยใช้กระบวนการศึกษาที่เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility study) กล่าวคือ จะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการหรือธุรกิจที่มีแนวคิดจะทำหรือดำเนินการเพื่อใช้เป็นแนวทางในการขับเคลื่อนธุรกิจให้ประสบความสำเร็จ เป็นเครื่องมือที่ธุรกิจนำมาใช้เพื่อวางแผนในการดำเนินงานโครงการก่อนการปฏิบัติจริงจะได้ใช้เป็นแนวทางในการขับเคลื่อนธุรกิจให้ประสบความสำเร็จได้ง่ายขึ้น โดยผู้วิจัยเจาะจงการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค (Technical Feasibility) โดยมีความหมายดังนี้

คำนิยามศัพท์

- การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค (Technical Feasibility) คือ ความเป็นไปได้ของการสร้างระบบใหม่โดยนำเทคโนโลยีที่มีในระบบปัจจุบันมาใช้งาน

หรือการอัพเกรดเทคโนโลยีที่มีอยู่จากระบบเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น หรือควรใช้เทคโนโลยีใหม่ทั้งหมด

- เทคโนโลยี ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ฐานข้อมูล การสื่อสารข้อมูล โดยต้องมีความมั่นใจว่าเทคโนโลยีนั้นมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัยและเชื่อถือได้ ง่ายต่อการใช้ สามารถหาได้จากที่ไหน (มีจำหน่ายแล้วหรือยังวิจัยอยู่) ระบบ เดิมที่มีอยู่สามารถปรับใช้เทคโนโลยีนี้ได้หรือไม่ เป็นต้น
- การประเมินการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค (Technical Feasibility) ปัจจัยที่จะถูกนำมาพิจารณาประกอบการศึกษา เช่น ความรู้ด้านการประยุกต์การใช้งาน ความรู้ด้านเทคโนโลยี ศักยภาพเทคนิคการผลิตและพัฒนาเทคโนโลยี รวมถึงสถานการณ์ทางการตลาด ความคุ้มค่าในการลงทุน ขนาดของโครงการ และความเข้ากันได้ เป็นต้น

2.1.1 ตัวอย่างกรณีศึกษา เพื่อศึกษาข้อมูลของระบบบริหารจัดการอาคารของอาคารอัจฉริยะจากการใช้เซนเซอร์ โดยแบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ ระบบบริหารจัดการอาคารในอาคารอัจฉริยะ และ นวัตกรรมเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)

สรุปหัวข้อการทบทวนวรรณกรรมกรณีศึกษาบางส่วน ดังต่อไปนี้

หัวข้องานวิจัย	ผู้เขียน
1. The Edge, Amsterdam Showcasing an exemplary IoT building	Aftab Jalia, Department of Architecture, University of Cambridge Ron Bakker, PLP Architecture, London Dr Michael Ramage, Department of Architecture, University of Cambridge
2. CU-BEMS, smart building electricity consumption and indoor environmental sensor datasets	Manisa Pipattanasomporn 1,2, Gopal Chitalia 1,3, Jitkomut Songsiri1, Chaodit aswakul4, Wanchalerm Pora1, Surapong Suwankawin1, Kulyos audomvongseree1,5 & Naebboon Hooncharеon1

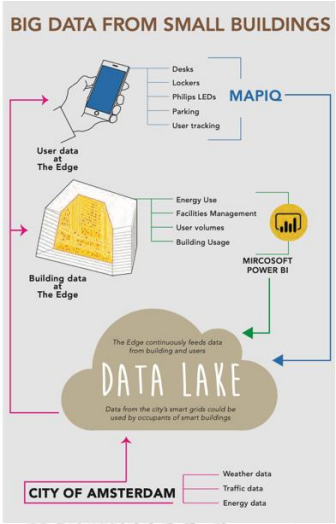
3. Adaptive-predictive control strategy for HVAC systems in smart buildings – A review	Maryam Gholamzadehmir , Claudio Del Pero , Simone Buffa , Roberto Fedrizzi , Niccolo' Aste
4. Leveraging Machine Learning and Big Data for Smart Buildings: A Comprehensive Survey	Basheer Qolomany, Graduate Student Member, IEEE, Ala Al-Fuqaha, Senior Member, IEEE, Ajay Gupta, Senior Member, IEEE, Driss Benhaddou, Member, IEEE, Safaa Alwajidi, Junaid Qadir, Senior Member, IEEE, Alvis C. Fong, Senior Member, IEEE

2.1.2 ระบบบริหารจัดการอาคารในอาคารอัจฉริยะ จากกรณีศึกษา

ผู้วิจัยศึกษาเกี่ยวกับระบบบริหารจัดการอาคารที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร ผ่านการใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ โดยความยั่งยืนของระบบที่ประสบความสำเร็จนั้นเกิดจากการออกแบบระบบและลักษณะของการบริหารจัดการอาคารที่มีพื้นฐานมาจากการใช้ข้อมูล Big Data เพื่อนำมาสร้างเป็นระบบการบริหารจัดการอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเกิดจากการบูรณาการข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังส่วนที่สำคัญที่สุด คือ ผู้ใช้งานอาคาร

กรณีศึกษาอาคารอัจฉริยะ The Edge , Amsterdam

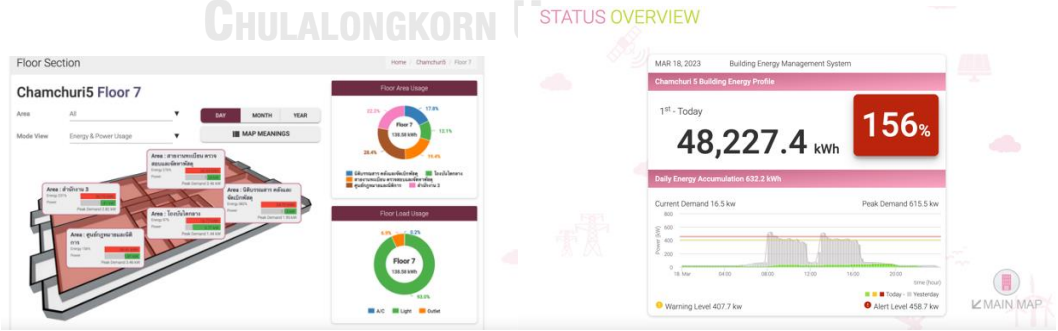
กลยุทธ์ในการบริหารจัดการอาคารได้อย่างยั่งยืนของอาคารนี้ เกิดขึ้นผ่านการนำข้อมูลจากการวัดค่าผ่านเซนเซอร์ที่มีในอาคารจากการเก็บข้อมูล Big Data มาวิเคราะห์เพื่อคาดเดาและพยากรณ์ถึงความเป็นไปได้ของระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร เช่น ระบบการระบายน้ำแบบหมุนเวียน ระบบไฟฟ้า ระบบการระบายอากาศภายในอาคาร โดยเกิดขึ้นควบคู่ไปพร้อมกับการออกแบบอาคารทางสถาปัตยกรรมมาตั้งแต่เริ่มก่อสร้างอาคาร ทำให้การแสดงค่าผลต่าง ๆ ภายในอาคารมีประสิทธิภาพและแม่นยำค่อนข้างสูง



ภาพที่ 4 การจัดตั้งระบบ Big data "DATA LAKE" , The Edge, Amsterdam 2020

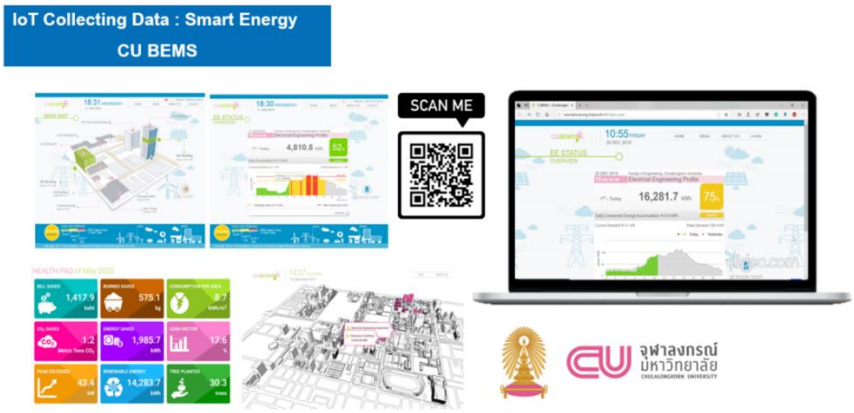
กรณีศึกษาอาคารอัจฉริยะ ระบบบริหารจัดการพลังงาน (CU BEMS) อาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกรณีศึกษาแนวทางเทคโนโลยีของระบบบริหารจัดการพลังงาน (CU BEMS) มีแนวคิดเพื่อนำเสนอข้อมูลแสดงค่าการใช้งานพลังงานของอาคารต่อผู้ใช้งานอาคาร เพื่อความยั่งยืนและการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีเซนเซอร์วัดค่าต่าง ๆ ภายในและนอกอาคารในระดับการเก็บข้อมูล Big Data ความถี่ต่อนาที อาทิเช่น เซนเซอร์วัดค่าฝุ่น PM2.5 เซนเซอร์วัดค่าไฟ (KW/h) เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ (C) เซนเซอร์วัดการใช้ไฟส่องสว่าง (LUX) เซนเซอร์วัดความชื้น เป็นต้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูล Big data ที่ประมวลผลแยกส่วนกันนำมาแสดงให้ทราบถึงการใช้พลังงานอาคาร



ภาพที่ 5 เว็บไซต์ CU BEMS

(ที่มา: http://www.bems.chula.ac.th/)



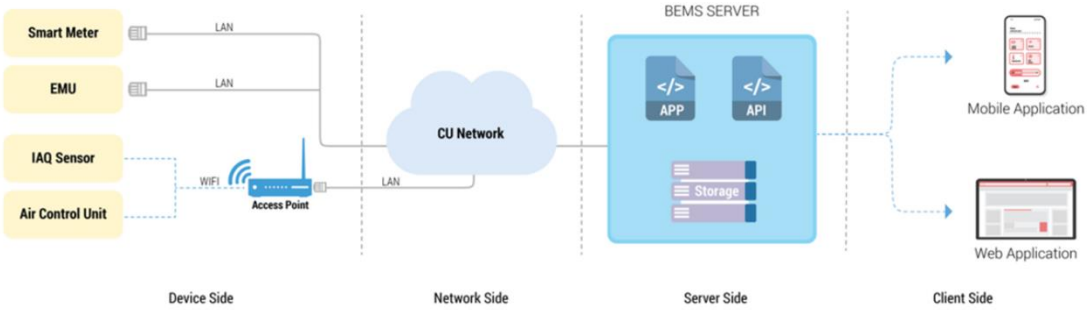
ภาพที่ 6 แพลตฟอร์มของระบบ CU BEMS

(ที่มา: https://ndrsolution.com/2019/07/10/cubems/)

จุดเด่นและคุณค่าของระบบ CU BEMS

- ทำให้ “มองเห็น” ปริมาณการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ โดย เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบและกำกับดูแลการใช้พลังงาน (Monitor) อยู่ตลอดเวลา
- มีฟังก์ชันการควบคุม โดยติดตั้งผ่านเครื่องมือในการบริหารจัดการพลังงาน (Management)
- มีจุดวัดข้อมูลของอาคารทั้งหมดมากกว่า 900 จุด
- สามารถย่อหรือขยายขนาดของระบบประมวลผลได้
- ส่งข้อความเตือนผ่าน โซเชียลมีเดีย เช่น Facebook ได้
- ใช้งานผ่านแพลตฟอร์ม Website และ ระบบ Android/IOS App ได้

แผนภาพโครงสร้างระบบ

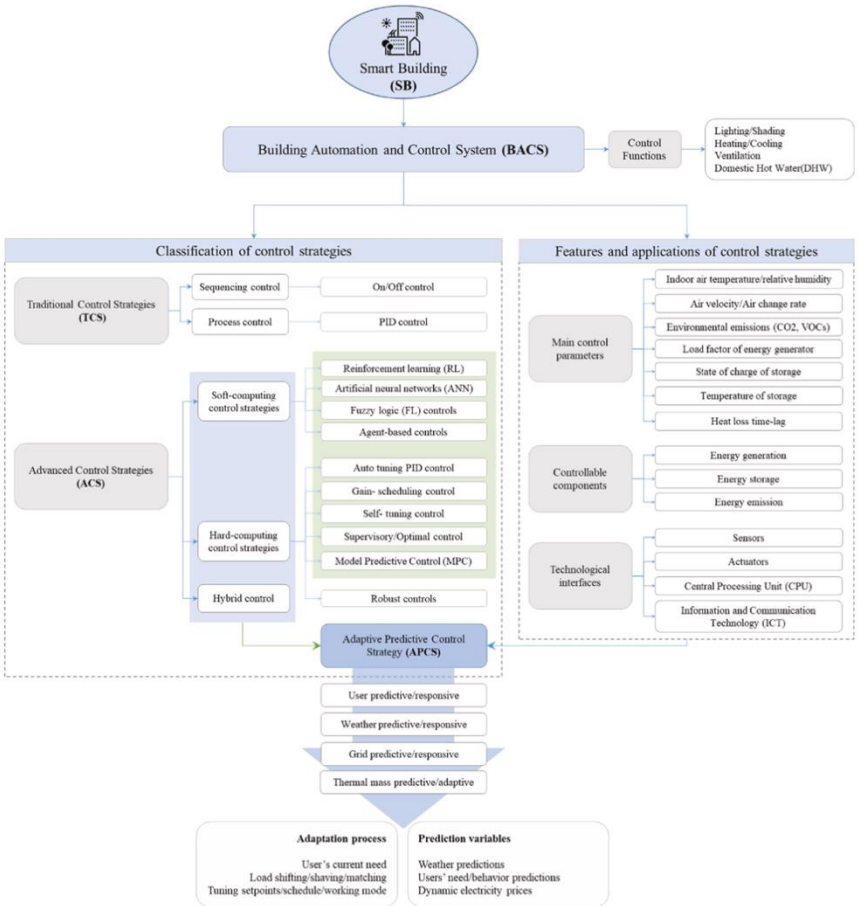


ภาพที่ 7 แผนภาพโครงสร้างของระบบ CU BEMS

(ที่มา: https://ndrsolution.com/2019/07/10/cubems/)

กรณีศึกษาระบบอาคารอัจฉริยะ สำหรับระบบ HVAC ของอาคาร

เนื่องจากกการทำงานประมวลผลของการวัดผลค่าเซนเซอร์ต่าง ๆ ภายในอาคาร ทำงานแยกส่วนกันตามระบบบริหารจัดการอาคารทั่วไป ทำให้ยังขาดการบูรณาการและนำข้อมูล Big data ที่เก็บได้จากการวัดค่าเซนเซอร์นำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิผล ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูล พบว่า ได้มีบทความวิจัยที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับการบูรณาการรระบบบริหารจัดการอาคารเพื่อปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพระบบอาคารอัจฉริยะให้ดีขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการบริหารระบบของอาคารอัจฉริยะที่เกี่ยวข้องกับกลยุทธ์การควบคุมพลังงานของการใช้ระบบ HVAC อาคารจากเซนเซอร์ โดยมีแนวคิดจัดสร้างระบบการพยากรณ์และการคาดการณ์ขึ้นผ่านการประมวลผลข้อมูลของระบบอาคารอัจฉริยะ

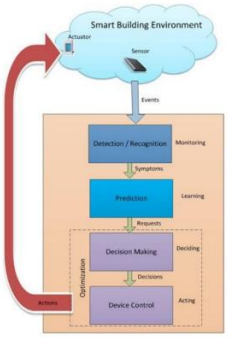


ภาพที่ 8 คุณสมบัติและฟังก์ชันการใช้งานของระบบ HVAC อาคาร จากระบบอาคาร BACS

กรณีศึกษาการใช้ประโยชน์การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) สำหรับอาคารอัจฉริยะ

ปัจจุบัน เทคโนโลยีการตรวจจับวัดค่าต่าง ๆ ด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์ที่หลากหลายในอาคารอัจฉริยะ สามารถถูกนำมาใช้เพื่อรวบรวมข้อมูลจำนวนมากที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปกระบวนการจัดเก็บข้อมูลในระยะยาวเป็นสิ่งที่ท้าทายในเชิงระบบ ซึ่งข้อมูลจะสามารถให้ข้อมูลเชิงบริบทเพิ่มเติมแก่เราได้เพื่อส่งผลให้ผู้ใช้งานอาคารได้รับการบริการจากระบบบริหารจัดการอาคารที่ดียิ่งขึ้น ในกรณีศึกษานี้ ผู้วิจัยนำข้อมูลมาศึกษาในส่วนของการบริหารจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ในเชิงระบบของอาคารอัจฉริยะ โดยเป็นการศึกษากระบวนการของระบบการจัดการข้อมูลสามารถประมวลผลและถ่ายโอนข้อมูลดิบที่รวบรวมจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ไปยังระบบอาคารโดยรวม ซึ่งประกอบไปด้วยแนวคิดหลัก 3 ส่วน คือ

- การทำงานร่วมกันของระบบข้อมูล 2 ส่วน ขึ้นไป (Interoperability) กล่าวคือ การนำข้อมูลมาประมวลผลร่วมกัน แม้ว่าจะไม่ได้ออกแบบมาให้ทำงานร่วมกัน เพื่อให้เทคโนโลยีและการนำเสนอข้อมูลสามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ
- ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ซึ่งเป็นหนึ่งในข้อที่เป็นส่วนสำคัญและข้อกังวลหลักของผู้พัฒนาระบบอาคารอัจฉริยะ และ ผู้ใช้งานอาคาร
- การบูรณาการข้อมูล (Integration) โดยกุญแจสู่ความสำเร็จในการพัฒนาระบบอาคารอัจฉริยะคือ การเชื่อมโยงระบบข้อมูล อย่างไรก็ตาม การรวมระบบหลายระบบเข้าด้วยกันเป็นสิ่งที่ท้าทายมากเนื่องจากแต่ละระบบมีสมมติฐานการประมวลผลข้อมูลและกลยุทธ์การทำงานภายในระบบในแต่ละส่วนแตกต่างกัน



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการใช้โมเดลการจัดการข้อมูล ในสภาพแวดล้อมของอาคารอัจฉริยะ

นอกจากนี้ได้กล่าวถึง อุปกรณ์ควบคุมอัจฉริยะที่รวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ประมวลผลข้อมูลนี้และเปิดใช้งานตัวกระตุ้นเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อมของอากาศที่ตรวจพบโดยเซ็นเซอร์ อุปกรณ์ควบคุมอัจฉริยะสามารถทำงานได้อย่างอิสระโดยไม่มีการควบคุมโดยเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลาง แต่มีอาจเป็นการสื่อสารที่จำเป็นระหว่างการควบคุมต่าง ๆ อุปกรณ์หรือสามารถเชื่อมต่อกันผ่านรูปแบบ Smart Gateway คือการรวบรวมข้อมูลเซนเซอร์ในหลายๆส่วน โดยการแสดงผลข้อมูลให้ผู้ใช้งานอาคารทราบ ด้วย อุปกรณ์เซนเซอร์อัจฉริยะ Smart Device มีตัวอย่างจากงานวิจัย เช่น Nest thermostat ซึ่งเป็นอุปกรณ์อัจฉริยะที่แสดงผลคุณภาพอากาศและอุณหภูมิภายในพื้นที่นั้น พัฒนาโดย Nest ซึ่งซื้อกิจการโดย Google จะปรับให้เข้ากับวิถีการใช้ชีวิตและสภาพอากาศที่เปลี่ยนไปโดยอัตโนมัติ เรียนรู้เกี่ยวกับระดับของอุณหภูมิที่ผู้ใช้งานอาคารชอบ ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจในแนวคิดรูปแบบการนำข้อมูลมาประยุกต์และแสดงผลข้อมูลให้แก่ผู้ใช้งานอาคารได้อย่างเหมาะสม ง่าย และ รวดเร็ว

TABLE III: VARIOUS SMART SENSORS USEFUL IN THE CONTEXT OF SBs

Sensor	Measurement	Category
Infrared sensor	User presence in a room	Environmental sensors
Video cameras	Human actions	Environmental sensors
RFID	Object identification	Environmental sensors
Motion sensor	Object/User presence/ location	Environmental sensors
Contact switch	Detect users' interaction with the object	Environmental sensors
Pressure sensor	Tracking movements and location of the user	Environmental sensors
Light sensor	Intensity of light	Environmental sensors
Temperature sensor	Temperature of surrounding environment	Environmental sensors
Humidity sensor	Detect the air humidity in a specific area	Environmental sensors
Power sensor	Detect the usage of electric devices	Environmental sensors
Accelerometer	The rate of acceleration accompanying a sensitive axis	Wearable inertial sensors
Gyroscope	Angular velocity and maintain orientation	Wearable inertial sensors
Electroencephalography	observing electrical brain activity	Wearable vital sign sensors
Electrooculography	observing eye movement of ocular activity	Wearable vital sign sensors
Electromyography	observing muscle activity	Wearable vital sign sensors
Electrocardiography	observing cardiac activity, pressure sensors for observing blood pressure	Wearable vital sign sensors
CO2 gas sensors	observing respiration	Wearable vital sign sensors
Thermal sensors	observing body temperature	Wearable vital sign sensors
galvanic skin response	observing skin sweating	Wearable vital sign sensors

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 10 อุปกรณ์เซนเซอร์ที่มีความสำคัญต่อสภาพแวดล้อมของอาคารอัจฉริยะ

ภาพที่ 11 อุปกรณ์เซนเซอร์ Nest thermostat โดย Google

2.1.3 นวัตกรรมเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) จากกรณีศึกษา

จากการศึกษาข้อมูล พบว่านวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่ใช้นั้นไม่ได้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นมาใหม่ แต่เป็นการนำข้อมูลที่มีอยู่จากการวัดค่าของเทคโนโลยีเซนเซอร์ และระบบบริหารจัดการอาคารเอง ผ่านการใช้ Big Data เพื่อมีจุดประสงค์ที่จะแสดงผลค่าการใช้งาน แสดงผลค่าที่มีความเกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมของอาคารอัจฉริยะนั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลเพื่อมาบูรณาการภายในระบบเพื่อให้เกิดเป็นระบบใหม่ขึ้นสำหรับการพัฒนาระบบบริหารจัดการอาคารอีกด้วย

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอาคารอัจฉริยะ (Smart Building)

2.2.1 ความหมายของอาคารอัจฉริยะ

อาคารอัจฉริยะ หรือ Smart Building เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและผู้ประกอบการอาคาร โดยเชื่อมโยงนวัตกรรมหลากหลายให้อาคารสามารถสื่อสารกับผู้ใช้งาน โต้ตอบ เรียนรู้ และปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างแม่นยำ อันจะนำมาสู่การบริหารพลังงานได้อย่างคุ้มค่าสำหรับเจ้าของผู้ประกอบและพนักงานดูแลอาคาร

องค์ประกอบของอาคารอัจฉริยะ

องค์ประกอบของอาคารอัจฉริยะในปัจจุบันประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ

1. ระบบบริหารอาคาร (Building Management System/BMS) มาจากแนวความคิดที่ว่า การใชระบบอัตโนมัติในการบริหารระบบและทรัพยากรของอาคารจากสวนกลาง BMS (Building Management System) คือ ระบบบริหารจัดการตึกและอาคาร ซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีการรวบข้อมูลและระบบควบคุมเข้าด้วยกัน เพื่อการทำงานแบบอัตโนมัติ การเฝ้าตรวจและควบคุมระบบปรับสภาพอากาศ แสงสว่าง และหน้าที่อื่น ๆ ในตึกและอาคาร จะสามารถชวยสรางประสิทธิภาพในการทำงานของอาคารโดยรวม เช่น ระบบการควบคุมการใช้พลังงานโดยรวม ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบบริหารสายสัญญาณ และ อื่น ๆ โดยจะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในตึกนั้น ๆ ได้แบบอัตโนมัติผ่านซอฟต์แวร์ชนิดพิเศษที่ทำงานควบคู่กับระบบ IoT

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. งานระบบอาคาร (Building System) งานระบบของอาคารอัจฉริยะจะถูกดูและควบคุมจากสวนกลาง แตในระบบยอยๆนั้นมักจะสามารถควบคมการทำงานดวยตนเองเสมอ สวนประกอบของงานระบบอาคาร เช่น ระบบควบคุมกลาง เป็นต้น

3. ระบบโครงสรางอาคาร (Building Structure) เป็นส่วนประกอบทางวิศวกรรมโครงสร้างอาคาร

4. สวนใหบริการลูกคา (Tenants Service) เปนสวนที่ใกลชิดกับผูใชอาคารมากที่สุด และเปนสวนที่สามารถสรางจุดขายทางการตลาดของอาคารไดอีกด้วย

รูปแบบของอาคารอัจฉริยะ

อาคารอัจฉริยะเป็นเหมือนสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีการรับรู้และการตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งเร้าทั้งภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งการกำหนดความเป็นอาคารอัจฉริยะ สามารถแบ่งลำดับความสำคัญและระดับความฉลาดของอาคารออกเป็น 5 ระดับ (Level) โดยอ้างอิงจากหนังสือ “The Intelligent Building Sourcebook มีรายละเอียดของแต่ละระดับดังนี้

- ระดับที่ 0 (Level 0)

  เป็นอาคารที่ถือว่าไม่มีความฉลาด ไม่มีระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการใช้พลังงานและระบบลิฟต์ และอาจไม่มีระบบควบคุมความปลอดภัยอาคารระดับนี้ไม่ถือว่าเป็นอาคารอัจฉริยะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ระดับที่ 1 (Level 1)

  อาคารในระดับนี้ มีระบบคอมพิวเตอร์ช่วยควบคุมการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ระบบลิฟต์ ระบบรักษาความปลอดภัย

- ระดับที่ 2 (Level 2)

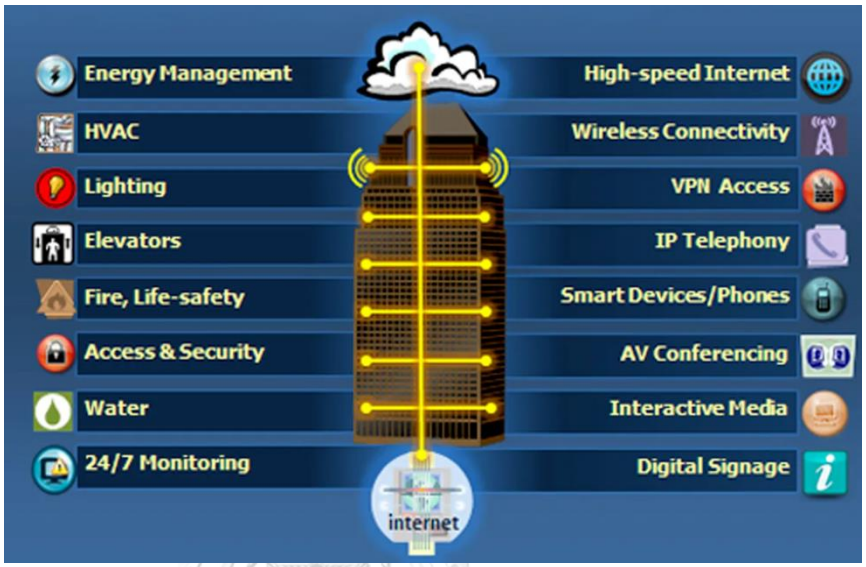
  ลักษณะเหมือนระดับที่ 1 โดยเพิ่มการให้บริการส่วนกลางต่างๆ เช่น ห้องประชุม ระบบท่าสำเนาเอกสารกลาง มีบริการระบบคอมพิวเตอร์จากส่วนกลาง

- ระดับที่ 3 (Level 3)

  ลักษณะเหมือนระดับที่ 2 โดยเพิ่มระบบสื่อสาร ระบบสื่อสารทางไกลด้านข้อมูลและเสียง และระบบโทรศัพท์ที่มีมาตรฐาน

- ระดับที่ 4 (Level 4)

ลักษณะเหมือนระดับที่ 3 โดยเพิ่มระบบสำนักงานอัตโนมัติแบบเต็มรูปแบบ เช่น คอมพิวเตอร์ในสำนักงาน ระบบสื่อสารที่ทันสมัย การประชุมทางวีดีโอทางไกล ระบบสื่อสารทางไกลความเร็วสูงที่สามารถส่งข้อมูลและเสียง ระบบอินเตอร์เน็ต



ภาพที่ 12 ฟังก์ชันของระบบโดยรวมภายในอาคารอัจฉริยะ

ตัวอย่างอาคารอัจฉริยะในประเทศไทยที่มีคุณภาพ มีคุณสมบัติและฟังก์ชั่นด้านต่างๆ มากมาย รวมถึงมีดีไซน์ทางสถาปัตยกรรมที่สวยงามล้ำสมัย และมีรางวัลการันตีจากหน่วยงานที่เป็นที่รู้จักกันดีในเรื่องสิ่งแวดล้อม คือ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design : LEED) ของสภาอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา เช่น

ศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ (Energy Complex : ENCO)

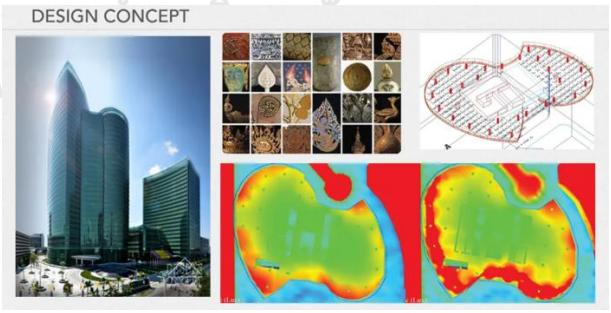
ศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานที่ได้รับรองมาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม หรือ LEED เป็นอาคารแห่งแรกของประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเป็นอาคารสำนักงานและพาณิชย์ (Office and Commercial Multiple Building Complex) มีพื้นที่ก่อสร้างรวมประมาณ 300,000 ตารางเมตร เป็นอาคารสำนักงานให้เช่าสำหรับบริษัทในกลุ่ม ปตท. กระทรวงพลังงาน และบริษัทในธุรกิจที่เกี่ยวเนื่อง รองรับจำนวนผู้ใช้อาคารประมาณ 8,000 คน ประกอบด้วย อาคารสำนักงาน 2 อาคาร อาคารบริการ 1 อาคาร อาคารจอดรถ 2 อาคาร และอาคารผลิตน้ำเย็น 1 อาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับอาคารศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ (Energy Complex : ENCO)

  ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร ประกอบด้วย

  - เซนเซอร์ระบบตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO2 Sensor ผ่านระบบ HVAC ส่งลมกลับ (Return Air Duct) โดยทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อพบว่ามีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ก็จะสั่งให้ระบบช่องรับอากาศเข้า (Fresh Air Intake Damper) เปิดรับอากาศบริสุทธิ์เข้ามา เพื่อให้เกิดสภาวะอากาศที่สบายและเหมาะกับการทำงานให้กับผู้ใช้อาคาร
  - ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วจากอากาศสู่อากาศ (Air to-Air Heat Exchanger) เพื่อนำอากาศเย็นที่ใช้แล้วมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการลดภาระของระบบปรับอากาศได้ดี จึงช่วยลดการใช้พลังงานและสามารถลดขนาดของเครื่องปรับอากาศลงได้ตลอดจนช่วยลดพื้นที่ติดตั้งสำหรับอุปกรณ์จ่ายความเย็น (Air Handling Equipment) อีกด้วย
  - หลังคาสีเขียว ด้วยการปลูกต้นไม้เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนธรรมชาติ เพิ่มอากาศบริสุทธิ์และสร้างสภาพแวดล้อมที่สวยงามผ่านการออกแบบทางสถาปัตยกรรม



ภาพที่ 13 อาคารศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ (Energy Complex : ENCO)

2.2.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากอาคารอัจฉริยะ

1. ช่วยเพิ่มคุณค่าให้กับอาคาร

2. การแก้ไขเทคโนโลยีหรือระบบการบริหารจัดการภายในอาคารในอนาคตจะสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากได้มีการวางระบบไว้ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างอาคาร

3. สามารถรวบรวมระบบต่าง ๆ ภายในอาคารได้ง่าย

4. ประหยัดพลังงานและมีความยั่งยืน

2.2.3 ประสิทธิภาพของอาคารอัจฉริยะ

1. อาคารอัจฉริยะมีความยั่งยืนในการลงทุนระยะยาว เนื่องจากสภาวะแวดล้อมของอาคารอัจฉริยะเอื้อต่อบริบทการเปลี่ยนแปลงของสังคมในปัจจุบัน

2. สามารถช่วยลด Building Operation Cost ได้ เนื่องจากได้มีการวางแผนระบบของอาคารไว้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดอัตราการจ้างผู้ดูแลระบบอาคารได้อีกด้วย

3. สามารถช่วยเพิ่มขอบเขตการแข่งขันของอุตสาหกรรมนี้ทางธุรกิจได้

2.3 ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับระบบเทคโนโลยีเซนเซอร์ภายในอาคารอัจฉริยะ

2.3.1 ความหมายของเทคโนโลยีเซนเซอร์

เซนเซอร์ หมายถึง ชุดอุปกรณ์ ระบบ หรือ วงจร ที่ทำหน้าที่ตรวจวัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การรับรู้ของ มนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นรูป รส กลิ่น เสียง หรือการสัมผัส โดยทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ หรือ ลักษณะของสารที่เป็นเป้าหมายในการวิเคราะห์ (Analytical Target) และแสดงผลในลักษณะสัญญาณที่สามารถ ตรวจวัดในเชิงปริมาณได้ ปัจจุบัน เซ็นเซอร์ขนาดเล็กสามารถตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้หลายด้าน ตั้งแต่การมีอยู่ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และก๊าซเรดอน กัมมันตภาพรังสี ไปจนถึงความเข้มข้นของ ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ เสียง และแสง เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยหลักการในการทำงานเบื้องต้นของเซนเซอร์ คือเป็นการตรวจจับสัญญาณแต่ละชนิดเช่นการเปลี่ยนแปลง มวล อุณหภูมิ ที่เกิดขึ้นระหว่างเป้าหมายที่ต้องการวัดกับตัวทำปฏิกิริยาที่จำเพาะ จากนั้นส่งผ่านเครื่องแปลง สัญญาณ (Transducer) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่เกิดขึ้นมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ตรวจสอบได้ และถูก วิเคราะห์ พร้อมทั้งนำเสนอโดยระบบประมวลและแสดงผลค่าออกมา (Detector and Display System)

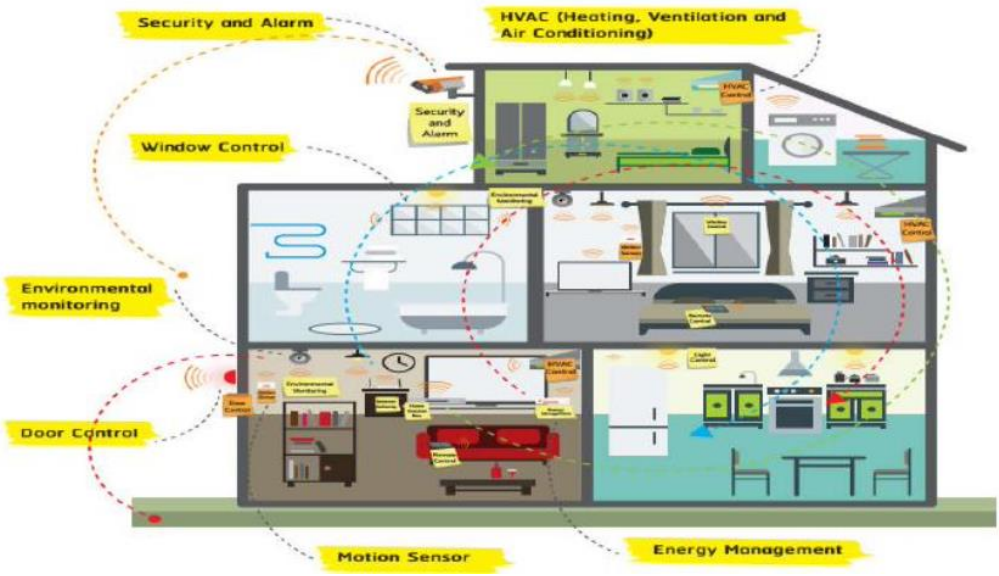
2.3.2 ส่วนประกอบของเทคโนโลยีเซนเซอร์

โดยทั่วไปเซนเซอร์จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

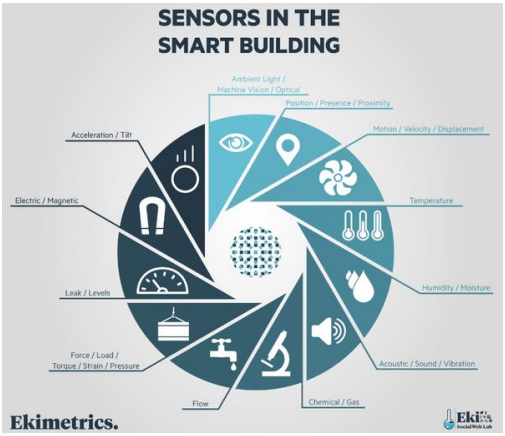
1. เครื่องมือตรวจวัดคุณสมบัติของระบบหรือสิ่งที่ต้องการจะวัด
2. ระบบประมวลผลและแสดงผลของการวัดในภาพรวมเซนเซอร์

2.3.3 เทคโนโลยี และแนวโน้มการประยุกต์ใช้เซนเซอร์กับ ด้านสิ่งแวดล้อมและที่อยู่อาศัย

การพัฒนาองค์ประกอบต่างๆ ให้เข้าสู่ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) หรืออาคารอัจฉริยะ (Smart Building) เพื่อเสริมสร้างคุณภาพชีวิต ของประชากร ทั้งด้านสุขภาพ ความปลอดภัย การประหยัดพลังงาน อาทิ การใช้ระบบเซนเซอร์ควบคุมระบบปรับ อากาศ ระบบส่องสว่างและการควบคุมพลังงาน ระบบตรวจและติดตามสิ่งแวดล้อม การแจ้งเตือนภัย การควบคุม การปิดเปิดของประตูและหน้าต่าง นอกจากนั้น การพัฒนาเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์สภาพแวดล้อมต่างๆ ในสังคมมีส่วนในการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชากร

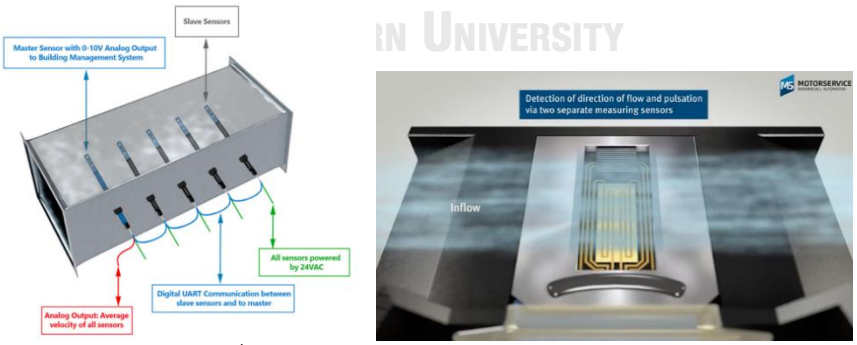


ภาพที่ 14 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในที่พักอาศัย แบบ Smart Home

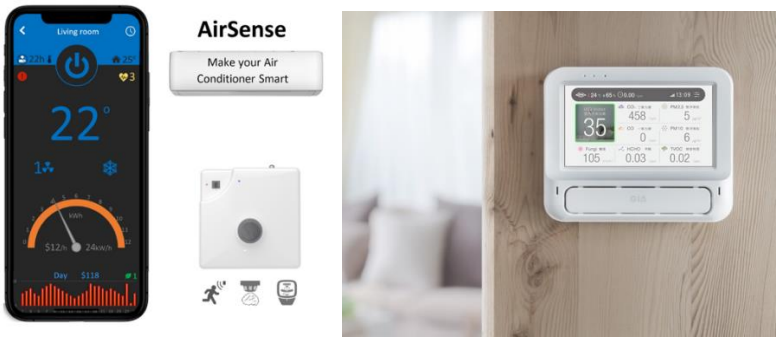


ภาพที่ 15 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ

เซนเซอร์กับระบบระบบปรับอากาศ และระบายอากาศ HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) ของอาคาร เป็นส่วนประกอบที่ทำงานควบคู่กับเพื่ออ่านค่าข้อมูลการวัดค่าเซนเซอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ โดยเซนเซอร์วัดค่าต่างๆจะถูกฝังเข้าภายในท่อของระบบ HVAC อาคารเป็นส่วนใหญ่ ติดตั้งได้ทั้ง ท่อน้ำ, ท่อลม, ผนังภายในและภายนอกอาคาร เพื่อประมวลผลค่าคุณภาพอากาศภายในอาคาร ผ่านอัตราการไหลของอากาศ อัตราความเข้มข้นของมลพิษต่างๆ เป็นต้น โดยมีคุณภาพดีและความแม่นยำสูง ครอบคลุมทุกการวัดไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน คุณภาพอากาศ และอัตราการไหล รองรับทั้งของเหลว และ แก๊ส ตัวอุปกรณ์มีความทนทานในการใช้งานสูง ลดปัญหาและต้นทุน ที่จะต้องเข้าเซอร์วิสบ่อยๆ นอกจากนี้ยังมีเซนเซอร์ที่แสดงผลค่าคุณภาพอากาศขนาดเล็กเพื่อแสดงผลสู่ผู้ใช้งานอาคารให้รับทราบได้ในระดับ Real Time อีกด้วย



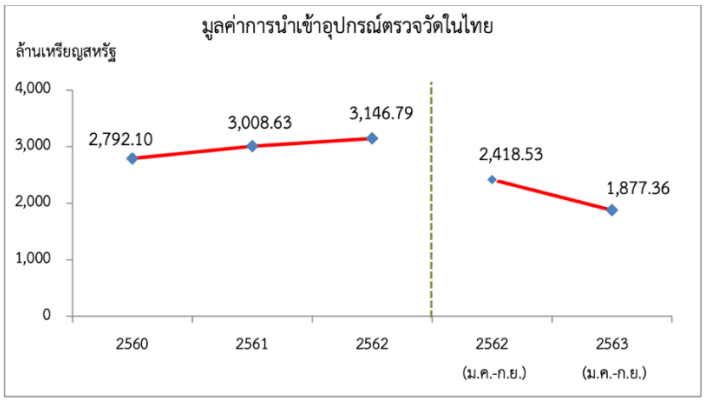
ภาพที่ 16 เซนเซอร์ที่ฝังในระบบ HVAC อาคาร



ภาพที่ 17 เซนเซอร์ขนาดเล็กที่แสดงผลคุณภาพอากาศอาคาร

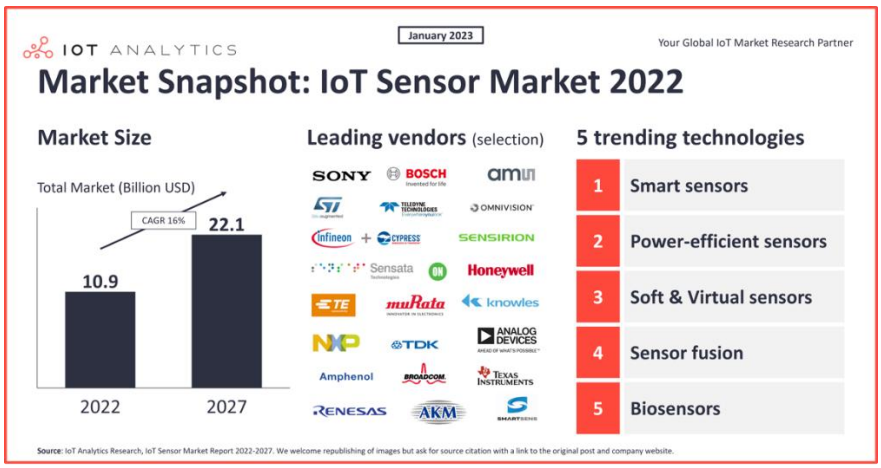
2.2.4 มูลค่าการนำเข้าเซนเซอร์อุปกรณ์ตรวจวัดในประเทศไทย

ความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับอาคารอัจฉริยะคาดว่าจะเพิ่มความต้องการเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะมากขึ้นสำหรับการใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่เพิ่มขึ้นในการจัดการและการบำรุงรักษา ทำให้ความต้องการใช้เซนเซอร์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วด้วยตัวเซนเซอร์เอง การนำเข้าอุปกรณ์เพื่อการพัฒนาระบบจึงได้รับความนิยมและเป็นที่ต้องการเป็นจำนวนมาก โดยในประเทศไทย มีมูลค่าอยู่ที่ประมาณ 3,146.79 ล้านเหรียญสหรัฐ คิดเป็นร้อยละ 1.33 ของมูลค่าการนำเข้ารวม



ภาพที่ 18 มูลค่าการนำเข้าอุปกรณ์ตรวจวัดในไทย

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สานักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร ข้อมูลการนาเข้ารวม ในปี 2562 = 236,259.87 ล้านเหรียญสหรัฐ



ภาพที่ 19 ตลาดเทรนด์เทคโนโลยีเซนเซอร์โดยรวม ปี ค.ศ.2022

2.4 ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศภายในอาคาร

2.4.1 มลพิษทางอากาศ

ฝุ่นและอนุภาคละเอียดอื่น ๆ จากท่อไอเสียรถยนต์ หม้อไอน้ำ การก่อสร้าง และกิจกรรมกลางแจ้งอื่น ๆ สามารถเข้ามาภายในอาคารได้ทางหน้าต่าง ประตู และช่องเปิดอื่น ๆ สิ่งที่เรียกว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้ยังสามารถถูกดูดเข้าไปภายในอาคารผ่านระบบ HVAC ของอาคารได้อีกด้วย นอกจากนี้ เชื้อรา ขนของสัตว์เลี้ยง รังแค และไรฝุ่นยังสามารถสะสมตัวได้เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศภายในอาคารได้ ต่อมาก็มีเชื้อโรค เช่น ไวรัส (รวมถึงไวรัสโคโรนา ที่ทำให้เกิดโรคโควิด-19) และแบคทีเรียที่สามารถคงอยู่บนพื้นผิวและในอากาศ ทำให้เกิดโรคติดต่อได้ เชื้อโรคเหล่านี้อาจกระจายไปทั่วอาคารโดยระบบ HVAC หมุนเวียนผ่านทางท่อของอาคาร

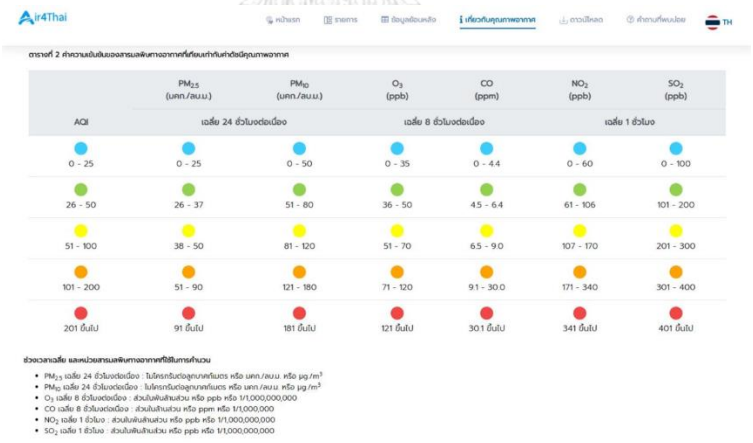
นอกจากนี้ คุณลักษณะบางอย่างของอาคารที่สร้างใหม่ซึ่งออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น โครงสร้างที่กันอากาศเข้าและฉนวนที่ได้รับการปรับปรุง สามารถเพิ่มมลพิษทางอากาศภายในอาคารทั้งหมดนี้ได้โดยการจำกัดการไหลของอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่อาคาร

- **ดัชนีวัดคุณภาพอากาศ (Air quality index : AQI)** เป็นการรายงานข้อมูลสภาพอากาศ ณ บริเวณนั้น ๆ โดยค่าน้อยจะบ่งบอกถึงคุณภาพอากาศที่ดี ค่า AQI ที่แสดงนี้ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารพิษ 6 ชนิด ประกอบไปด้วย

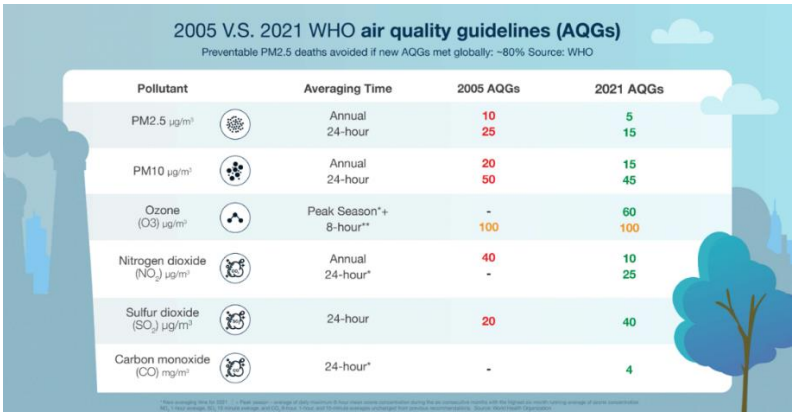
- Particulate Matter 2.5 m (PM2.5)
- Particulate Matter 10 m (PM10)
- Ozone (O_3)
- Carbon Monoxide (CO)
- Nitrogen Dioxide (NO_2)
- Sulfur Dioxide (SO_2)

โดยเกณฑ์การวัดคุณภาพอากาศของแต่ละประเทศว่าอากาศดีหรือไม่ดีจะแตกต่างกันไป และที่สำคัญการคำนวณความเข้มข้นของสารพิษแต่ละชนิดจะใช้ช่วงเวลาเฉลี่ยและหน่วยที่แตกต่างกันเนื่องจากความอันตรายของสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ช่วงเวลาเฉลี่ยในการวัดค่ากับเกณฑ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย เป็นดังนี้

- PM2.5 และ PM10 จะเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- O_3 จะเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง หน่วยจะเป็นหนึ่งในพันล้านส่วน (ppb)
- CO จะเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง หน่วยจะเป็นหนึ่งในล้านส่วน (ppm)
- NO_2 และ SO_2 จะเฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง หน่วยจะเป็นหนึ่งในพันล้านส่วน (ppb)



ภาพที่ 20 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานเดิมที่คงใช้ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 โดย เว็บไซต์ Air4Thai



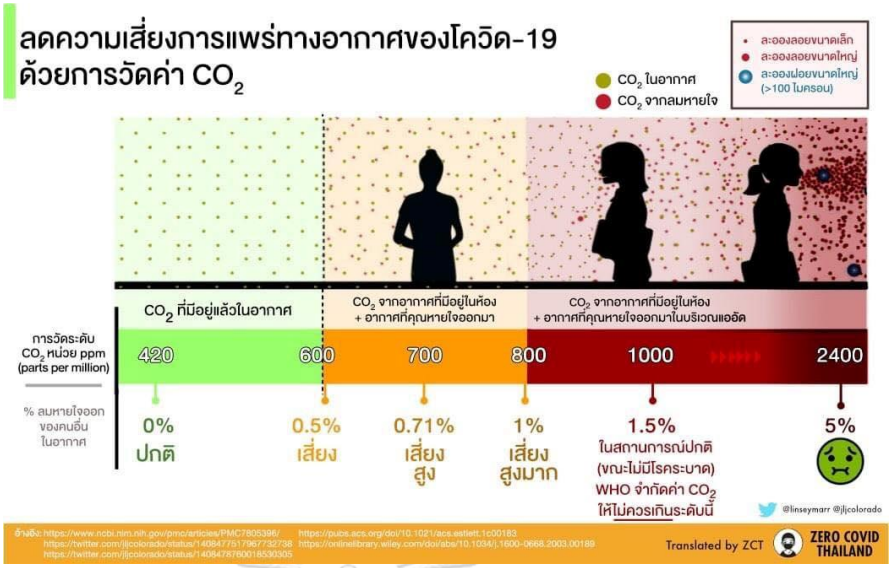
ภาพที่ 21 แนวทางค่าคุณภาพอากาศทั่วโลกแบบใหม่ (AQGs) โดย WHO ปี ค.ศ.2021

นอกจากค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพซึ่งประกอบด้วย Particulate Matter 2.5 m (PM2.5) Particulate Matter 10 m (PM10) Ozone (O3) Carbon Monoxide (CO) Nitrogen Dioxide (NO_2) และ Sulfur Dioxide (SO_2) ปัจจัยทางมลพิษที่เพิ่มมาคือคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยพื้นที่ภายนอกและภายในอาคาร มีแหล่งผลิตและได้รับ CO_2 แตกต่างกัน โดยภายนอกอาคารจะถูกสร้างขึ้นมาจากอุตสาหกรรมและไอเสียของรถยนต์เป็นหลัก แต่พื้นที่ในอาคารมักเกี่ยวข้องกับการหายใจออกและการใช้เชื้อเพลิงของมนุษย์ เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ภายนอกอาคารสูง อาจเข้าสู่อาคารและทำให้คุณภาพอากาศแย่ลงได้ อย่างไรก็ตาม การปิดผนึกอาคารอย่างแน่นหนากับอากาศภายนอกสามารถนำไปสู่การสะสมของ CO_2 ภายในอาคารมากยิ่งขึ้น เมื่อปิดหน้าต่างเพื่อรักษาความร้อนในวันที่อากาศเย็น การระบายอากาศที่ลดลงก็อาจเพิ่ม CO_2 ได้เช่นกัน นอกจากนี้ ค่าความเข้มข้นของ CO_2 จะบ่งบอกคุณภาพอากาศบริเวณที่จะส่งผลต่อการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ได้อีกด้วย โดยเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงที่จะสูดจากลมหายใจเก่าของคนอื่นที่มีไวรัสอยู่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

CO_2 [ppm]	Air Quality
2100	BAD Heavily contaminated indoor air Ventilation required
2000	
1900	
1800	
1700	
1600	
1500	MEDIOCRE Contaminated indoor air Ventilation recommended
1400	
1300	
1200	
1100	
1000	FAIR
900	
800	GOOD
700	
600	EXCELLENT
500	
400	

ภาพที่ 22 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)



ภาพที่ 23 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)กับการแพร่ระบาดของโควิด-19

ดัชนีคุณภาพอากาศและกฎหมายอากาศบริสุทธิ์ (Clean Air Act)

ในปัจจุบันประเทศไทยและหลายประเทศทั่วโลกประสบปัญหา ค่ามลพิษ PM2.5 ภายในเมืองที่มีค่าเกินมาตรฐานมลพิษ AQI เป็น ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นประจำและเป็นปัญหาต่อเนื่องในหลายพื้นที่ ซึ่งส่งผลกระทบ โดยตรงต่อด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐกิจ และด้านปัญหาสุขภาพ ของประชาชน รวมถึงผู้ใช้งานอาคาร โดยค่ามาตรฐานมลพิษ (Air Quality Index AQI) จะต้องอยู่ในระดับที่ไม่เกิน 50-100 ug.

ภาพที่ 24 แถบสีบ่งชี้ค่ามาตรฐานมลพิษ

ดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานของประเทศไทย

(Air Quality Index Thailand: TH AQI)

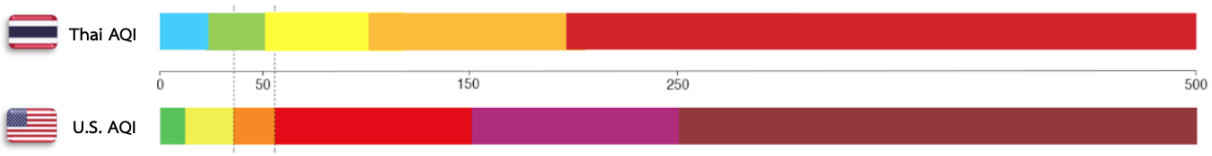
จะมีค่ามาตรฐาน Thai AQI ค่าเฉลี่ยราย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 50 ug./m3 และค่าเฉลี่ยราย 1 ปี ไม่เกิน 25 ug./m3 โดยปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มี กฎหมายอากาศบริสุทธิ์ (Clean Air Act: CAA) แต่ มีการร่วมมือกันจัดตั้ง เครือข่ายอากาศสะอาดเพื่อบริหารจัดการปัญหาหมอกควันพิษให้มีประสิทธิภาพมีความจำเป็นที่จะต้องออกกฎหมาย เพื่อรับรองและ

คุ้มครองสิทธิของประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ และปัจจุบันได้มีการยื่นเสนอ “ร่างพระราชบัญญัติ” โดยภาคประชาชนเพื่อให้รัฐสภาพิจารณา เห็นชอบบังคับใช้เป็นกฎหมาย (Thailand Clean Air Network, 2021)

ดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (United States Air Quality Index: US AQI)

จะมีค่ามาตรฐาน U.S. AQI ค่าเฉลี่ยราย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 35 ug./m3 ค่าเฉลี่ยราย 1 ปี ไม่เกิน 12 ug./m3 กฎหมายอากาศบริสุทธิ์ (Clean Air Act: CAA) โดยเป็นกฎหมายของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาปี ค.ศ. 1975เพื่อจัดการกับความเสี่ยงด้านสาธารณสุขและสวัสดิการที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ และเพื่อการควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศจากแหล่งกาเนิดเพื่อให้สานักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ (US EPA) นำมากำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศแวดล้อมแห่งชาติ

คุณภาพอากาศเป็นตัวบ่งชี้ว่าอากาศสะอาดหรือมีมลพิษมากน้อยเพียงใด วัดด้วยดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ที่ใช้ตัวเลขตั้งแต่ 0 (คุณภาพอากาศดี) ถึง 500 (คุณภาพอากาศที่เป็นอันตรายซึ่งแสดงถึงภาวะฉุกเฉิน) เพื่อระบุความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ ณ สถานที่เฉพาะนั้น ๆ



ภาพที่ 25การเปรียบเทียบแถบสีบ่งชี้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา

ดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานของประเทศไทย (Air Quality Index Thailand: TH AQI)

ดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานของสหรัฐอเมริก (United State Air Quality Index : US AQI)

ภาพที่ 26 ดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2563, United States Environmental Protection Agency, 2012

2.4.2 คุณภาพอากาศภายในอาคารและการระบาดของโรคโควิด-19

คุณภาพอากาศภายในอาคารได้รับความสนใจจากปัจจัยของการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 เมื่อไม่นานมานี้ การแพร่ระบาดของไวรัสกระจายไปทุกที่ในห้องแบบปิดภายในสองถึงสามนาที เนื่องจากเป็นการแพร่เชื้อในลักษณะของ air-borne ซึ่งหมายความว่า ผู้ติดเชื้อเพียงคนเดียวก็เพียงพอที่จะทำให้ทุกคนในห้องนั้นติดเชื้อไปด้วย ไม่ว่าจะสวมหน้ากากหรือไม่ก็ตาม รักษาระยะห่างหรือไม่ก็ตาม

การศึกษาแสดงให้เห็นว่าไวรัสโคโรนา (COVID-19) จะไม่ทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงในขณะที่ความชื้นต่ำและอุณหภูมิต่ำมากเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสำหรับการแพร่เชื้ออุณหภูมิที่สูงกว่า 20 °C ระดับความชื้นสูง และระดับ ต่ำจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดภายในอาคารเพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายของ CO_2 ไวรัส

ในบริบทของระบบ HVAC ของอาคารอัจฉริยะ เหตุผลที่การตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยผ่านการตรวจสอบจากการวัดค่าเมตริกต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของ CO_2 นอกจากนี้สิ่งที่จะสามารถปรับปรุงคุณภาพและลดการแพร่ระบาดภายในอากาศได้ เช่น การเปิดหน้าต่าง เป็นต้น .

2.4.3 ความสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร

คุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่ดีก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอย่างมากและส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้งานอาคาร เนื่องจากเราหายใจออก คาร์บอกนไดออกไซด์ (CO_2) ทุกครั้งที่หายใจ ระดับ CO_2 จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่เหมาะสมที่สุดในการ "ใช้" อากาศในห้อง คุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่ถูกต่อสุขภาพ เริ่มต้นที่ 1,000 ถึงประมาณ 1,400 ppm ของ CO_2 ในอากาศ นอกจากนี้ ในช่วงปี ค.ศ. 1980 องค์การอนามัยโลกได้ยอมรับว่ามีกลุ่มอาการเจ็บป่วยจากตึก (Sick building syndrome)เป็นโรคที่เกิดขึ้นจริงโดย มักเกิดจากระบบระบายอากาศที่ติดตั้งไม่ถูกต้องหรือดูแลไม่ดี แต่โรคนี้อาจเกิดจากฝุ่น ที่มีส่วนประกอบทางเคมีจากวัสดุ (อาคาร) ที่มีอยู่ ความชื้น และเชื้อรา เนื่องจากอากาศที่ไม่ดีต่อสุขภาพในอาคารที่ไม่ได้ประสิทธิภาพ

ผลลัพธ์ของคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่ดี เช่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ปฏิกิริยาทางร่างกาย เช่น ปวดหัว คอแหง คลื่นไส้ เหนื่อยล้า ผื่นผิวหนัง เป็นต้น
- สูญเสียสมาธิ
- ผลผลิตในการทำงานภายในอาคารของผู้ใช้งานอาคารลดลง
- อัตราการขาดงานของผู้ใช้งานอาคารที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเจ็บป่วย

ข้อมูลการตรวจวัดค่าจากเซนเซอร์ภายในอาคารไม่สามารถแก้ไขสิ่งที่แสดงค่าวัดออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบตรวจสอบตามเวลาจริง ให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ในระดับ Real-time สิ่งนี้จะช่วยแจ้งเตือนผู้ใช้งานอาคารอย่างรวดเร็วถึงความผิดปกติของคุณภาพอากาศ และจะช่วยให้ใช้แนวทางเชิงรุกที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารได้

การตรวจสอบคุณภาพอากาศยังสามารถช่วยระบุและแก้ไขปัญหาในพื้นที่ปิดล้อมที่เฉพาะเจาะจง ตัวอย่างเช่น การติดตั้งเคลื่อนย้ายเฟอร์นิเจอร์ใหม่เข้ามาในห้องประชุม โดยเซ็นเซอร์ตรวจจับปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่เพิ่มสูงขึ้นจากการเคลื่อนย้ายเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพในระยะสั้นและระยะยาว อาจเป็นเพราะเฟอร์นิเจอร์ใหม่มีการปล่อยก๊าซออกมา โดยสามารถสรุปได้ว่า เพื่อเป็นการป้องกันควรเพิ่มการระบายอากาศจนกว่าระดับจะกลับสู่ปกติ เป็นต้น

ประโยชน์ของการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารมีข้อดี ดังต่อไปนี้

- สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น คือ โดยทั่วไปแล้วผู้คนจะรู้สึกดีขึ้นจากห้องที่มีอากาศถ่ายเทเนื่องจากมีปัญหาทางร่างกายน้อยลง
- การป้องกันที่ดีกว่าจากการติดเชื้อ คือ การตรวจสอบคุณภาพอากาศช่วยลดความเสี่ยงของการติดเชื้อไวรัสและเชื้อโรคอื่น ๆ
- ผลผลิตการทำงานที่เพิ่มขึ้น คือ เนื่องจากระดับออกซิเจนในอากาศที่สูงขึ้นผู้คนจึงมีสมาธิได้ดีขึ้น
- การลาป่วยที่ลดลง คือ มีวันที่พนักงานขาดงานน้อยลงหรือผู้ใช้งานอาคารเข้ามาใช้งานอาคารนานขึ้น

- ต้นทุนที่ลดลง คือ การระบายอากาศและอากาศที่มีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของอาคาร ลดพลังงานได้ดีขึ้นเช่นกัน

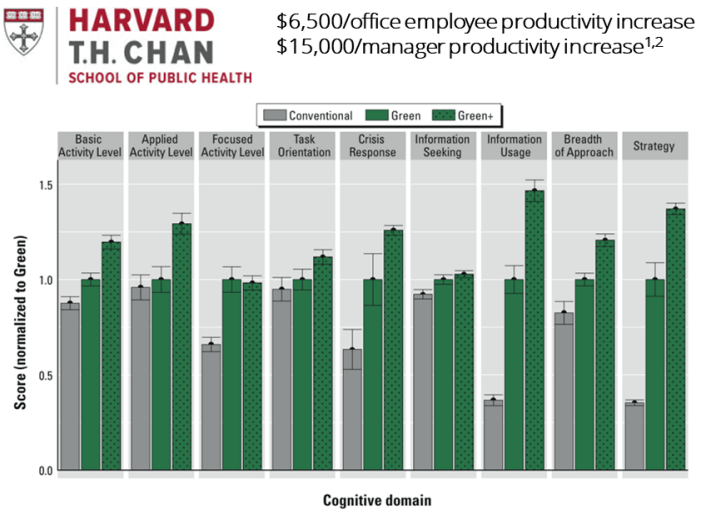
พฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

มลพิษที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารได้รับการยอมรับมากขึ้นว่ามีส่วนส่งผลต่อสุขภาพโดยรวมของผู้ใช้งานอาคาร ซึ่งเชื่อมโยงกับด้านคุณภาพอากาศในอาคาร การทำงานของการรับรู้และอารมณ์ของผู้ใช้งานอาคารเกิดจากการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่สูงขึ้น และมลพิษภายในอาคารสะสมอยู่ โดยสามารถเป็นส่วนขัดขวางความสามารถในการจดจ่อ มีสมาธิ และตอบสนองต่อประสิทธิภาพการทำงานหรือการใช้พื้นที่ในอาคารลดลงได้

การศึกษาวิจัยโดยทีมงานจากมหาวิทยาลัยของ Harvard T. H. Chan School of Public Health, SUNY Upstate Medical University และ มหาวิทยาลัย Syracuse University ในปี พ.ศ.2558 นักวิจัยได้จำลองสภาพแวดล้อมที่มีระดับการระบายอากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และการปล่อยก๊าซจากผลิตภัณฑ์สำนักงานทั่วไปในระดับต่างๆ มีผู้เข้าร่วมทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สถาปนิก วิศวกร นักออกแบบ โปรแกรมเมอร์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการตลาด ทำงานตามปกติต่อไปเป็นเวลา 6 วันโดยไม่ได้รับการสัมผัสมลพิษภายในอากาศ ในขณะที่อีกกลุ่มต้องสัมผัสกับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในระดับสูงขณะทำงาน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม Green+ คือกลุ่มที่ไม่ได้รับมลพิษทางอากาศขณะทำงานภายในอาคาร มีระดับสารอินทรีย์ระเหยต่ำและได้รับการปรับปรุงการระบายอากาศ โดยผู้เข้าร่วมทั้งหมดทำการทดสอบความรู้ความเข้าใจเมื่อสิ้นสุดแต่ละวัน

คะแนนการทำงานด้านความรู้ความเข้าใจของผู้เข้าร่วม Green+ นั้นสูงเป็นสองเท่าโดยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับคะแนนของพนักงานที่อยู่ในสภาพที่ได้รับสารจากการปนเปื้อนในอากาศระดับสูง เมื่อตรวจสอบขอบเขตความรู้ความเข้าใจ 9 ประการ นักวิจัยพบความแตกต่างเป็นอย่างมาก โดยมีคะแนนสูงกว่า 131 เปอร์เซ็นต์ในกลุ่ม Green+ ได้คะแนนกลยุทธ์สูงขึ้น 288 เปอร์เซ็นต์และการใช้ข้อมูลสูงขึ้น 299 เปอร์เซ็นต์

โดยสามารถสรุปได้ว่าส่วนใหญ่คนมักจะมองข้ามคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่ดี แต่อย่างไรก็ตาม เมื่ออาคารมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องมากขึ้นเรื่อย ๆ หมายความว่าจะมีการแลกเปลี่ยนอากาศผ่านเปลือกอาคารน้อยลง และสารมลพิษทางอากาศสามารถติดค้างอยู่ภายในอาคารได้ การระบายอากาศและปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารจึงเป็นกลยุทธ์ที่เป็นส่วนนำทางในการส่งเสริมคุณภาพอากาศภายในอาคาร แต่มักถูกมองข้ามความสำคัญ ค่าใช้จ่ายในการจัดหาสภาพแวดล้อมที่มีคุณภาพดีขึ้นในสถานที่ทำงานอาจถือเป็นปัจจัยที่จำกัดไม่ให้องค์กรดำเนินการเปลี่ยนแปลง แต่ว่าอย่างไรก็ตาม การวิจัยพบว่าการใช้จ่ายเพียง 40 ดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อคนต่อปีให้กับการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารส่งผลให้ผลิตภาพของพนักงานเพิ่มขึ้น 6,500 ดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งการค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคารเป็นสิ่งสำคัญสำหรับองค์กรที่ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานและความเป็นอยู่ที่ดีของพนักงานได้



ภาพที่ 27 ผลคะแนนเปรียบเทียบการวิจัยทดลองพฤติกรรมผู้ใช้งานอาคารกับคุณภาพอากาศ โดย มหาวิทยาลัย Harvard T. H. Chan School of Public Health

สิ่งบ่งชี้ถึงการก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบ HVAC ที่เป็นอันตรายต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

เมื่อระบบ HVAC ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมและอยู่ภายใต้โปรแกรมการบำรุงรักษาที่เพียงพอ ระบบจะปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารและให้ความ

สะดวกสบายแก่ผู้อยู่อาศัย อย่างไรก็ตาม ระบบ HVAC ยังสามารถทำลายคุณภาพอากาศได้ หากออกแบบไม่ดีหรือขาดการบำรุงรักษา

โดยมีหลายวิธีที่ระบบ HVAC สามารถลดคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ ดังนี้

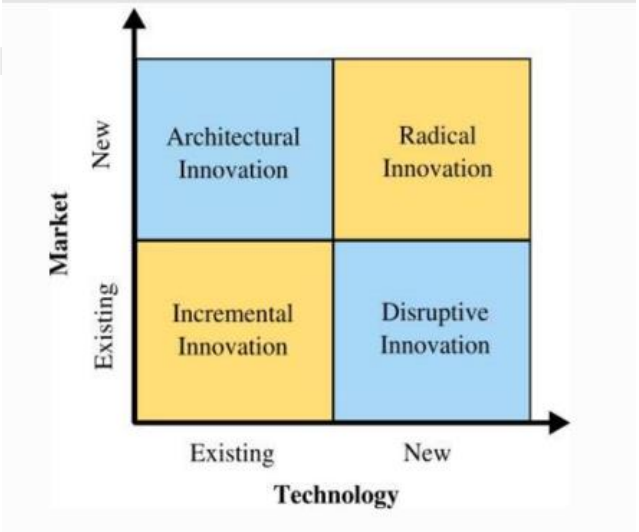
- กระจายฝุ่นละออง แบคทีเรีย สารก่อภูมิแพ้หรือสารอันตรายอื่น ๆ
- ทำให้อากาศร้อนหรือเย็นลงมากเกินไป เมื่อมีลมด้วยความเร็วที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดความร้อนได้
- ความชื้นในอากาศไม่เพียงพอ โดยอากาศที่ชื้นหรือแห้งเกินไป มักจะทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายและอาจเกิดปัญหาสุขภาพได้ ความชื้นยังสามารถทำให้เชื้อราเติบโตได้

2.5 ทฤษฎีนวัตกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ทฤษฎีนวัตกรรม

นวัตกรรมเป็น แนวคิดหรือแนวปฏิบัติที่สร้างสิ่งใหม่ๆขึ้นจนเป็นที่ยอมรับโดยตัวเทคโนโลยีเองอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล จากแนวคิดในการจัดทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการและต่อยอดเทคโนโลยีเดิมที่มีอยู่ สามารถเชื่อมโยงเข้ากับทฤษฎีนวัตกรรมได้ ดังต่อไปนี้

ประเภทของนวัตกรรม



ภาพที่ 28 ประเภทของนวัตกรรม

ประกอบไปด้วย 4 ประเภท คือ

1. นวัตกรรมแบบต่อยอด (Architectural Innovation)

คือ นวัตกรรมที่ไม่ได้ใหม่มาก และส่งผลกระทบกับผู้ใช้ต่ำ เป็นการต่อยอดจากสิ่งที่มีอยู่ในองค์กร เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพในหลายๆด้านให้ดีขึ้น ความใหม่ของนวัตกรรมอยู่ในระดับองค์กร

2. นวัตกรรมแบบค่อยเป็นค่อยไป (Incremental Innovation)

คือ นวัตกรรมมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบให้ดีขึ้น นวัตกรรมไม่ได้ใหม่มาก แต่มีผลกระทบต่อตลาดหรือผู้ใช้งานสูง

3. นวัตกรรมแบบรุนแรง/สุดขีด (Radical Innovation)

คือ นวัตกรรมที่มีความใหม่สูง แต่ไม่ได้ส่งผลกระทบ หรือสร้างการเปลี่ยนแปลงให้กับตลาดหรือผู้ใช้งานมากนัก

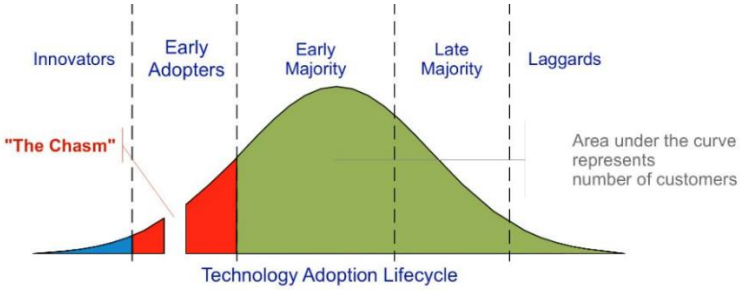
4. นวัตกรรมแบบผกผัน (Disruptive Innovation)

คือ นวัตกรรมที่มีความใหม่สูง และส่งผลกระทบ สร้างการเปลี่ยนแปลงให้กับตลาดหรือผู้ใช้งานสูง เป็นนวัตกรรมที่เกิดมาแล้วสามารถก่อกวน ทดแทน ทำลาย ตลาดเดิม อย่างที่ไม่มีมาก่อน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลถึงนวัตกรรมการประยุกต์และบูรณาการการใช้ประโยชน์จากเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะเพื่อนำมาประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคาร อาจมีความไม่ชัดเจนในประเภทของนวัตกรรมเนื่องจากมีความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีและนวัตกรรมในยุคปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามสามารถประเมินได้จากการนำตัวเทคโนโลยีมาทำการศึกษาวิจัยต่อ ทำให้พบว่า ตัวนวัตกรรมเป็นแบบลักษณะการต่อยอดจากสิ่งที่มีอยู่เดิม กล่าวคือ เซนเซอร์จากระบบบริหารจัดการอาคารอัจฉริยะเดิม และพัฒนาประสิทธิภาพต่อ และในขณะเดียวกัน ก็สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสามารเป็นนวัตกรรมที่มีความผกผันสูงได้ด้วย โดยมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างแนวคิดการบูรณาการเซนเซอร์ของระบบบริหารจัดการอาคารมาต่อยอดเป็นสิ่งใหม่ แต่ยังคงอยู่ในอุตสาหกรรมและตลาดเดิมอยู่เช่นเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทฤษฎีการแพร่กระจายของนวัตกรรมกับหุบเหวมรณะ



ภาพที่ 29 การแพร่กระจายของนวัตกรรมกับหุบเหวมรณะ

Everette Rogers มีแนวคิดทฤษฎีการแบ่งประเภทของการยอมรับนวัตกรรม ซึ่งเขาได้นำเสนอทฤษฎีการแพร่กระจายของนวัตกรรม (Diffusion of Innovation) ได้แบ่งกลุ่มผู้ใช้ออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มล้ำสมัย (Pioneer หรือ Innovators) โดยคนกลุ่มนี้มีอยู่ประมาณ 2.5% ของประชากรทั้งหมด คนกลุ่มนี้เป็นกลุ่มแนวหน้าที่ยอมรับและใช้นวัตกรรมใหม่ มีแรงกระตุ้นจากความใหม่ของสินค้าหรือบริการ
2. กลุ่มนำสมัย (Early Adopters) โดยกลุ่มนี้มีประมาณ 13.5% ของประชากรทั้งหมด กลุ่มที่สองที่จะเปิดรับและเริ่มใช้สิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่เพิ่งนำออกสู่ตลาด อาจมีแรงกระตุ้นต่อสินค้าหรือบริการใหม่ไม่เท่ากับกลุ่มล้ำสมัย
3. กลุ่มทันสมัย (Early Majority) กลุ่มคนกลุ่มนี้มีอยู่ประมาณ 34% ของประชากรทั้งหมด ซึ่งเป็นกลุ่มคนที่เปิดใจรับของใหม่ได้รวดเร็ว เมื่อเห็นว่ามีคนเริ่มใช้งานสิ่งประดิษฐ์ใหม่กันอย่างจริงจังมากขึ้น
4. กลุ่มตามสมัย (Late Majority) คนกลุ่มนี้มีอยู่ประมาณ 34% เช่นเดียวกันกับกลุ่มทันสมัย คนกลุ่มนี้เป็นกลางขบวนและเกือบท้ายขบวนของกลุ่มประชากรในการใช้สินค้า
5. กลุ่มสุดปลายสมัย (Laggards) กลุ่มปลายสมัยเป็น กลุ่มคนปลายสมัยนั้นมีประมาณ 16% ของประชากรทั้งหมด คนกลุ่มนี้เป็นกลุ่มสุดท้ายของประชากรที่จะเปิดรับสิ่งประดิษฐ์

นอกจากนี้ Rogers ได้มีการกล่าวถึง Chasm หรือ หุบเหวมรณะ ที่ผู้คิดนวัตกรรมจะต้องหาวิธีแก้ไขเพื่อก้าวผ่านช่องระหว่าง กลุ่มนำสมัย ไปยังกลุ่มทันสมัย ให้ได้เพื่อทำให้นวัตกรรมเป็นที่ยอมรับ ของตลาดส่วนใหญ่ และหากนวัตกรรมหรือสิ่งนั้นๆ ไม่สามารถทำให้เกิดการยอมรับใน กลุ่มทันสมัยได้ ได้ นวัตกรรมนั้นก็อาจจะหายไปจากตลาดไม่สามารถเติบโตได้ในอุตสาหกรรมนั้นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงจุดประสงค์ในการศึกษาการบูรณาการเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมของระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ และศึกษาปัจจัยความสัมพันธ์ที่มีผลต่อการยอมรับนวัตกรรม เพื่อการออกสู่เชิงพาณิชย์ มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

(1) การกำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย
(2) ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
(3) การออกแบบ Framework สำหรับการวิจัย
(4) การตั้งสมมุติฐาน
(5) การออกแบบวิธีเก็บข้อมูล
(6) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์
(7) การประเมินความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์
(8) การสรุปแผนการดำเนินการศึกษา

3.2 การกำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย

การกำหนดวัตถุประสงค์งานวิจัยประเมินจากสถานการณ์ปัจจุบันของตลาดและการแพร่หลาย ของเทคโนโลยีของอาคารอัจฉริยะ เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะเพื่อนำมาพัฒนาการประมวลผลเซนเซอร์ในเชิงระบบ โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

(1) เพื่อศึกษาองค์ประกอบและการประมวลผลระบบเซนเซอร์ในการวิเคราะห์และคาดเดาคุณภาพอากาศของอาคารอัจฉริยะ (Smart Building)
(2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ (Smart building)
(3) เพื่อประเมินศักยภาพตลาดและความเป็นไปได้ของธุรกิจการประยุกต์ใช้ระบบเซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ (Smart building)

3.1.1 **ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

(1) ความสำคัญและคำนิยามของอาคารอัจฉริยะ

(2) เทคโนโลยีระบบเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะ

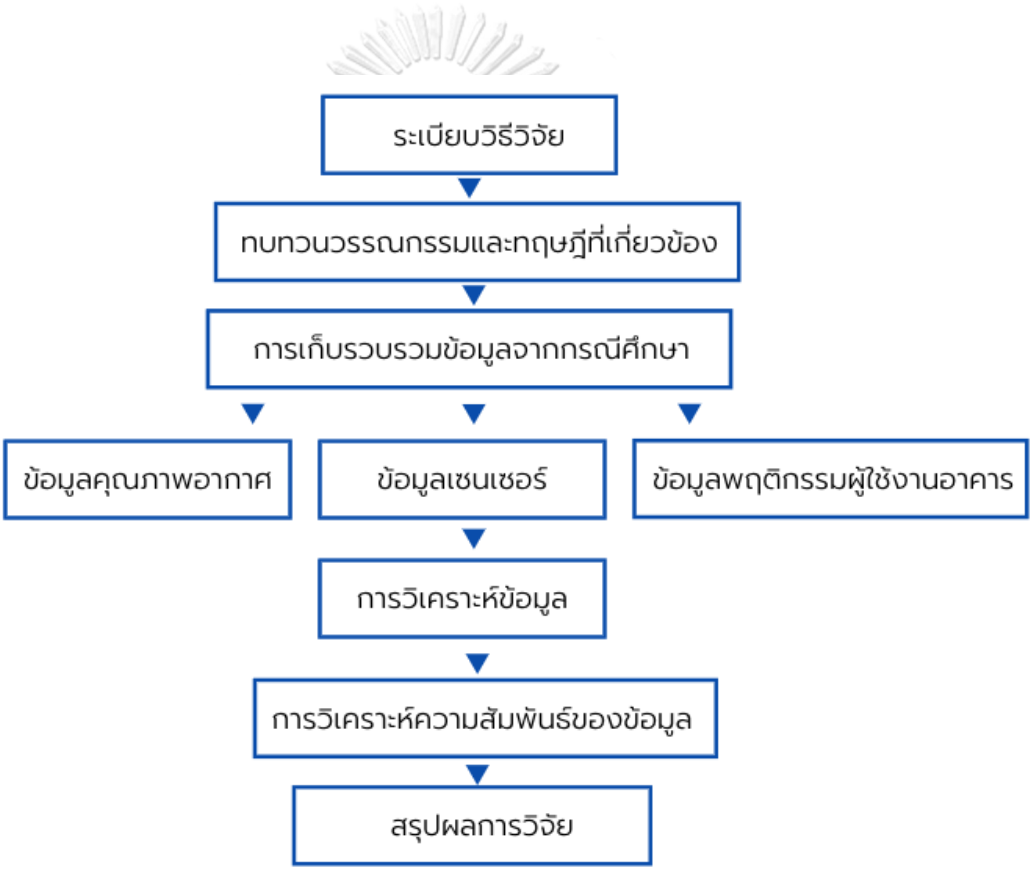
(3) กรณีศึกษาระบบบริหารจัดการอาคารอัจฉริยะ

(4) กระบวนการสร้างนวัตกรรม

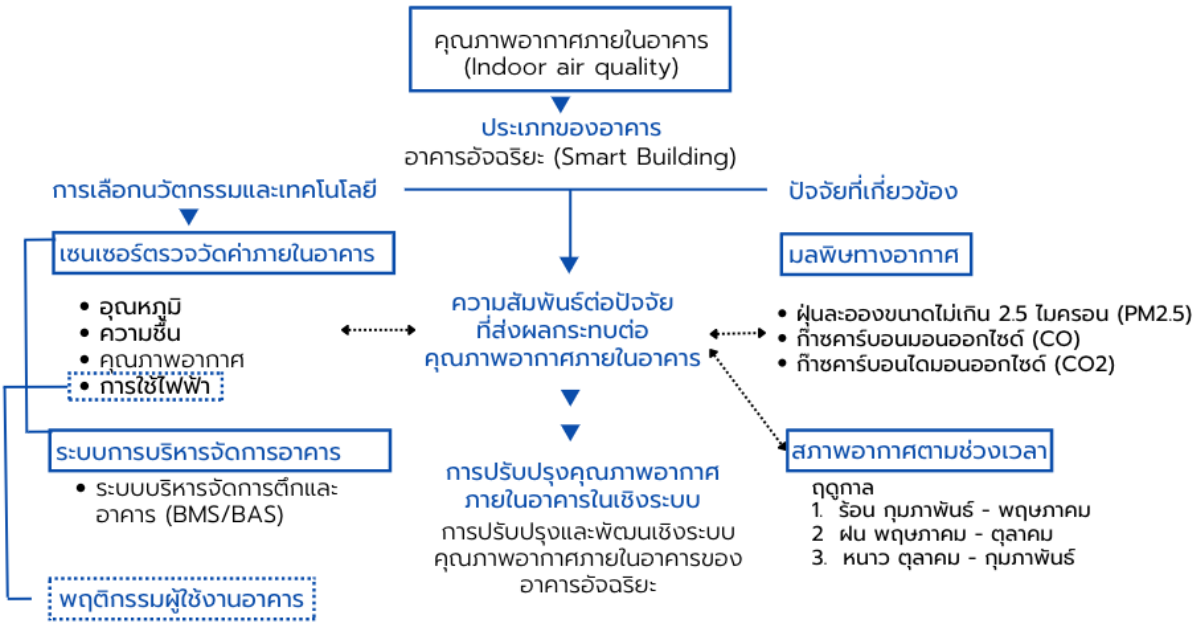
3.3 การออกแบบ Framework สำหรับการวิจัย

(1) ระเบียบวิธีวิจัย

(2) Conceptual Framework



ภาพที่ 30 แผนภาพแสดงระเบียบวิธีวิจัยของผู้วิจัย



ภาพที่ 31 แผนภาพแสดง Conceptual Framework

3.4 การตั้งสมมุติฐาน

การตั้งสมมติฐานมาจากการสืบค้นข้อมูล และงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ค้นคว้า เพื่อสร้างสมมติฐานต่อการยอมรับนวัตกรรมและกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการบูรณาการระบบประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ จากแนวคิดของ 3 Lens of innovation ของบริษัท IDEO เป็นบริษัทออกแบบชื่อดังของประเทศสหรัฐอเมริกาโดยก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ.1991 ซึ่งถูกพัฒนาความคิดมาจาก Design Thinking Process ของ Herbert Simmon ที่กล่าวถึงกระบวนการออกแบบความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Herbert Simmon,1969) โดยมีกระบวนการ ดังนี้

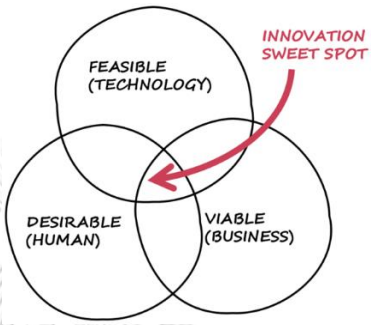
แนวคิดของ 3 Lens of innovation มีทั้งหมด 3 ส่วน คือ

1. Desirability คือ ความต้องการของกลุ่มเป้าหมายว่าต้องการอะไร และสิ่งที่คิดขึ้นมาตอบโจทย์ถึงปัญหาที่ต้องการจะแก้ไขหรือไม่
2. Feasibility หรือ ความเป็นไปได้เมื่อสร้างขึ้นมา หรือข้อจำกัดที่เกิดขึ้นที่อาจทำให้ไม่สามารถทำได้ เช่น ข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยี ด้านจริยธรรม หรือด้านกฎหมาย เป็นต้นซึ่งสัมพันธ์กับ

การวิจัยของผู้วิจัยที่ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการบูรณาการระบบเซนเซอร์เพื่อประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคาร

3. Viability คือ ความยั่งยืนทางธุรกิจที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการความคิดสร้างสรรค์ และการประเมินความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์

โดย เมื่อนำ 3 ส่วนมารวมกันก็จะเกิดเป็นกระบวนการคิดสร้างนวัตกรรมขึ้นจากจุดเริ่มต้น



ภาพที่ 32 แผนภาพแนวคิด 3 Lens of innovation (IDEO,1991)

จากแนวคิดดังกล่าว นำมาสู่กระบวนการตั้งสมมติฐานจากรูปแบบแนวคิดการสร้างนวัตกรรมซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. Desirability การพัฒนานวัตกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารจะช่วยแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารเพื่อผู้ใช้งานอาคารได้ และตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งานอาคาร
2. Feasibility ความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากการบูรณาการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ของเทคโนโลยีเซนเซอร์ระบบบริหารจัดการตึกและอาคาร (BMS)
3. Viability ความยั่งยืนในการสร้างธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้ได้จริงในเชิงระบบ

การตั้งสมมติฐานการวิจัยของผู้วิจัยเกิดจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวขึ้นไป อยู่ในรูปแบบของสมมติฐานเชิงบรรยาย (Descriptive hypothesis) หรือ อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา โดยเป็นแบบ สมมติฐานแบบไม่มีทิศทาง (Non-directional hypothesis) ว่าสมมติฐานและคำถามการวิจัย มีความสัมพันธ์กัน หรือ ไม่สัมพันธ์กัน ดังต่อไปนี้

คำถามการวิจัย

ระบบเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบบริหารจัดการตึกและอาคาร (BMS) โดยมีการทำงานประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) แยกส่วนกัน สามารถนำมาบูรณาการระบบเพื่อนำมาการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารในเชิงระบบได้หรือไม่ อย่างไร

สมมติฐานการวิจัย

1. เซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร เช่น อุณหภูมิ การใช้ไฟฟ้า ความชื้น แปรผันตามความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ
2. เซนเซอร์ค่าอัตราการใช้ไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้งานอาคารซึ่งสัมพันธ์กับค่าคุณภาพอากาศภายในอาคาร
3. การบูรณาการระบบเซนเซอร์ภายในอาคารสามารถคาดเดาและพยากรณ์คุณภาพอากาศเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารได้

ข้อจำกัดในการวิจัย

การศึกษาแหล่งข้อมูลเซนเซอร์จากอาคารอัจฉริยะในการวิจัยครั้งนี้ ได้นำกรณีศึกษาของอาคารอัจฉริยะ ระบบบริหารจัดการพลังงาน (CU BEMS) อาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพียงแหล่งข้อมูลเดียว ซึ่งผู้วิจัยเห็นถึงศักยภาพความครบถ้วนของการเก็บข้อมูลการประมวลผลของเซนเซอร์ย้อนหลังรายปีที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ช่วงปีที่นำมาศึกษาขึ้นอยู่กับปีที่มีการเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนที่สุด โดยอยู่ในช่วงปีที่ทำการศึกษาข้อมูลในปี พ.ศ.2562-2563

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 การออกแบบวิธีเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลใช้วิธีการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อนำมากำหนดกลุ่มเป้าหมายจากฐานข้อมูลที่ผู้วิจัยอ้างอิงผ่านข้อมูลสำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล (DEPA) เรื่อง การคาดการณ์อนาคตเทคโนโลยีดิจิทัล ประเทศไทย 2035 ด้านข้อมูลการคาดการณ์การพัฒนาเมืองในรูปแบบ Smart Cities ในประเทศไทย โดยระบุการคาดการณ์ถึง Smart building และ smart cities ที่จะพัฒนาเพิ่มของประเทศไทยในอนาคต ทั้งหมด 120 ที่ทั้ง 76 จังหวัดและกรุงเทพมหานคร เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่พบการรวบรวมข้อมูลของ Smart Building ภายในประเทศไทยทั้งหมดที่ชัดเจน โดยใช้สูตรคานวณของทาโร่ ยามาเน่ (Yamane,1973) ดังต่อไปนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากรทั้งหมด

e = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

จากนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample size) จากประชากรกลุ่มผู้ที่มีแนวโน้มใช้งานอาคาร Smart building ทั้งกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดทั่วไป จากจำนวนการพัฒนา Smart building และ Smart cities จำนวน 120 ที่ และกำหนดความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 5%

$$n = \frac{120}{(1 + 120 \cdot 0.05^2)}$$

$$n = 92.30769231$$

ดังนั้นขนาดของกลุ่มตัวอย่างจึงมีปริมาณเท่ากับ 92 รายโดยเป็นกลุ่มเป้าหมายที่ที่มีแนวโน้มใช้งานอาคาร Smart building ทั้งกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดในระดับบุคคลทั่วไป เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการประเมินความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คุณภาพอากาศภายในอาคารและผลกระทบต่อความเป็นอยู่ที่ดีของผู้คนและประสิทธิภาพการทำงานในที่ทำงาน ทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของ การทำงานประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) จากเทคโนโลยีเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ นอกจากนี้ ข้อมูลจากเซนเซอร์และการวิเคราะห์สามารถได้รับข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพอากาศของอาคารได้ และรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยใช้ข้อมูลเชิงลึกที่ได้จากข้อมูลเซ็นเซอร์ โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็นตัวแปรต้น หรือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และตัวแปรตาม (dependent Variable) ดังต่อไปนี้

1. **ตัวแปรต้น หรือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)** ตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องต่อคุณภาพอากาศแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ มลพิษทางอากาศกับพฤติกรรมผู้ใช้อาคาร และเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

- **มลพิษทางอากาศ**

ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยมี มลพิษทางอากาศ เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศโดยรวม (AQI) ซึ่งมีปัจจัยที่หลากหลายที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ที่มีความเกี่ยวข้องสูงสุด 5 ส่วน คือ

1. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm)

ความเข้มข้นของ CO_2 ในอาคารมักสัมพันธ์กับระดับการใช้งานอาคารหรือกิจกรรมภายในพื้นที่ปิด ที่ความเข้มข้นเกิน 1,000 ppm ผู้ใช้งานอาคารจะเริ่มประสบกับคุณภาพของอากาศที่ลดลง และที่สำคัญกว่านั้น อาจส่งผลให้เกิดภาวะแทรกซ้อนทางสุขภาพที่รุนแรงได้

2. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 25 ไมครอน (PM2.5) (หน่วยการวัดค่าเป็น µ/m2)

มลพิษจากฝุ่นละอองเป็นปัญหาใหญ่ทั่วโลก ประมาณ 91% ของประชากรโลกอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่ระดับคุณภาพอากาศเกินขีดจำกัดขององค์การอนามัยโลก โดยอนุภาคของแข็งหรือของเหลวขนาดจิ๋วสามารถลอยอยู่ในอากาศได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น ละอองเกสร ฝุ่น และสปอร์ของเชื้อรา อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้สามารถเข้าไปในปอดของเรา ทำให้เกิดอาการแพ้ ระคายเคือง หรือติดเชื้อได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. โอโซน (O_3) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm)

ก๊าซโอโซนคือสารเคมีที่มีสถานะเป็นก๊าซเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยโอโซนจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์หากมีความเข้มข้นเกิน 4 ppm เป็นเวลาต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีระบบการตรวจจับและวัดค่าโอโซนเพื่อแจ้งเตือนและจัดระบบการระบายอากาศให้เหมาะสม

4. สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)

VOCs เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ซึ่งสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง มีแหล่งที่มาที่ก่อให้เกิดสาร VOCs ที่อาจเป็นอันตรายภายในอาคารมากมาย เป็นสารเคมีที่มักถูกปล่อยออกมาจากวัสดุและผลิตภัณฑ์จากภายในอาคาร ซึ่ง

แตกต่างจากฝุ่นละอองตรงที่ส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากภายนอกอาคาร ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด สี น้ำยาปรับผ้านุ่ม เครื่องพิมพ์ และกาว เป็นต้น

5. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี เกิดจากการเผาไหม้คาร์บอนที่ไม่สมบูรณ์ในเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น ฟอสซิล การเผาถ่าน เตาเผา ไฟไหม้ เครื่องยนต์ สารเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีบางชนิด ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซพิษที่ส่งผลเสียต่อร่างกายมนุษย์ หากได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากเกินไป อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต

2. ตัวแปรตาม (dependent Variable) ตัวบ่งชี้คุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีความสำคัญ ประกอบด้วย

1. เซนเซอร์วัดค่าฝุ่น PM2.5 (หน่วยการวัดค่าเป็น µ/m2)

เซ็นเซอร์ตรวจจับฝุ่นละออง (PM2.5) สามารถช่วยแจ้งเตือนถึงการมีอยู่ของฝุ่นละอองในอากาศ และกระตุ้นอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร หากชั้นใดชั้นหนึ่งหรือบางส่วนในอาคารมีคุณภาพอากาศแย่กว่าชั้นอื่น ๆ ระบบ HVAC จะต้องได้รับการปรับปรุงคุณภาพอากาศทันที

ข้อบ่งชี้สำคัญของระบบ HVAC ภายในอาคาร ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร ระบบจะดึงอากาศภายนอกเข้ามาเพื่อจ่ายให้กับอาคารทำให้ฝุ่นละอองสามารถทำให้อากาศภายในเป็นมลพิษได้ง่าย

2. เซนเซอร์วัดค่าไฟ (หน่วยวัดค่าเป็น KW/h)

ข้อมูลของการใช้ไฟฟ้าโดยรวมมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของผู้ใช้งานภายในอาคาร ซึ่งจะบ่งบอกถึงปริมาณการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ ผลิตภัณฑ์ภายในอาคารที่สร้างค่าไฟฟ้าขึ้น

3. เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิภายในอาคาร (หน่วยวัดค่าเป็น °C)

อุณหภูมิมักมีความเกี่ยวข้องกับความชื้น และส่งผลต่อความเป็นอยู่ที่ดีภายในอาคาร และสุขภาพโดยรวม อุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ความชื้น และความเร็วลม

4. เซนเซอร์วัดความชื้น (หน่วยวัดค่าเป็น % RH)

การวัดความชื้นในอากาศ ซึ่งควรรักษาให้อยู่ระหว่าง 40-60 เปอร์เซ็นต์ เพื่อความสบายสูงสุด อย่างไรก็ตาม ความชื้นที่ต่ำกว่านี้อาจทำให้ผิวหนัง ตา หรือทางเดินหายใจแห้งได้ ในขณะที่ความชื้นที่มากเกินไปอาจทำให้เชื้อราเติบโตได้และส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

5. เซนเซอร์วัดความเร็วลม หรือ เซนเซอร์วัดการไหลของอากาศ (หน่วยวัดค่าเป็น m/s)

การตรวจสอบการไหลผ่านตัวกรองยังสามารถเป็นตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ของตัวกรองอากาศภายในระบบ HVAC ของอาคาร เมื่อตัวกรองหมดอายุการใช้งาน อัตราการไหลจะลดลง และเมื่อตัวกรองอุดตัน ก็จะหยุดทำงาน เซ็นเซอร์วัดการไหลของอากาศจะวัดอัตราที่อากาศถูกผลักออกจากเครื่อง HVAC ตัวอย่างเช่น การลดลงของความเร็วลม หรือ การไหลของอากาศช้าลง บ่งชี้ว่ามีความจำเป็นต้องเปลี่ยนตัวกรองอากาศภายในระบบ

พฤติกรรมของผู้ใช้งานภายในอาคาร

จากปัจจัยทางด้านมลพิษที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ทำให้ผู้ใช้งานภายในอาคารได้รับผลกระทบในการใช้งานอาคาร รวมถึงความหนาแน่นของผู้ใช้งานภายในอาคารก็เป็นส่วนที่ก่อให้เกิดผลกระทบ ต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารได้เช่นกัน เช่น การก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Vocs) ที่มาจากผู้ใช้งานอาคาร ไม่ว่าจะเป็นจากตัวมนุษย์เองและวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้งานภายในอาคารที่ก่อให้เกิดมลพิษข้างต้น แต่อาจจะไม่มากเท่ากับมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่ออาคาร

นอกจากนี้พฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้งานอาคารส่งผลต่อค่าระดับเซนเซอร์ต่างๆ ภายในอาคารอย่างมีนัยยะสำคัญด้วยเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็น เซนเซอร์วัดค่าการใช้ไฟ (KW/h) ที่มาจากการใช้งานของผู้ใช้งานที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆในอาคาร หรือเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ (°C) ที่แปรผันตามคามหนาแน่นของจำนวนผู้ใช้งานภายในอาคารอีกด้วย

ปัจจัยของสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมภายนอก

เนื่องด้วยผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ทำให้การศึกษาในส่วนสภาพอากาศตามฤดูกาลของประเทศไทย ในช่วงระยะเวลาที่จะทำการศึกษาเป็นส่วนหนึ่งในปัจจัยที่จะนำมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อให้ข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพอากาศในแต่ละฤดู รวมถึงพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารที่จะมีความสัมพันธ์ต่อสภาพอากาศในช่วงนั้นๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาได้ครบถ้วนมากที่สุด โดยอ้างอิงฤดูกาลจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังนี้ ฤดูกาลในประเทศไทยแบ่งเป็น ฤดูร้อน ช่วงเดือน กุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ฤดูฝนช่วงเดือน พฤษภาคม – ตุลาคม และ ฤดูหนาว ช่วงเดือน ตุลาคม – กุมภาพันธ์

3.7 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์

จากข้อมูลการกำหนดตัวแปรที่จะนำมาศึกษาหาความสัมพันธ์ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในทางด้านเทคนิคการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน คือ

(1) การรวบรวมข้อมูลดิบ (Raw data) ที่เกี่ยวข้องจากเซนเซอร์
(2) การวิเคราะห์ K-mean Cluster Analysis
(3) การวิเคราะห์ Associate Rules Mining
(4) การสรุปผลจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล่าวโดยสรุป คือ จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบและการประมวลผลระบบเซนเซอร์ในการวิเคราะห์และคาดเดาคุณภาพอากาศของอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) เครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการตอบวัตถุประสงค์ คือ ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมข้อมูลดิบ (Raw data) ที่เกี่ยวข้องจากเซนเซอร์ จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ (Smart building) เครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการตอบวัตถุประสงค์ คือการวิเคราะห์ K-mean Cluster Analysis และ การวิเคราะห์ Associate Rules Mining ร่วมกับการวิเคราะห์ Pearson Correlation และสุดท้าย จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 เพื่อประเมินศักยภาพตลาดและความเป็นไปได้ของธุรกิจการประยุกต์ใช้ระบบเซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ (Smart building) จะนำผลลัพธ์จากการศึกษาที่ได้ไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป

(1) การรวบรวมข้อมูลดิบ (Raw data) ที่เกี่ยวข้องจากเซนเซอร์

จากการค้นหาข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในทางด้านเทคนิคการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ได้มีการเก็บข้อมูลดิบ (Raw Data) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ค่าเซนเซอร์จากการวัดค่าในส่วนต่างๆจากระบบอาคารอัจฉริยะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร และ ค่าการวัดมลพิษทางอากาศจากภายนอก เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

โดยข้อจำกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังต่อไปนี้

- ใช้กรณีศึกษาข้อมูลดิบ (Raw Data) จากเซนเซอร์ของระบบบริหารจัดการพลังงาน (CU BEMS) อาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เลือกใช้ข้อมูลเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศของอาคารทั้งหมด 3 ส่วน คือ
  - เซนเซอร์วัดค่าไฟ (หน่วยวัดค่าเป็น KW/h)
  - เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ (หน่วยวัดค่าเป็น °C)
  - เซนเซอร์วัดความชื้น (หน่วยวัดค่าเป็น % RH)
- เลือกใช้ข้อมูลเซนเซอร์ของมลพิษทางอากาศที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศนอกอาคารทั้งหมด 3 ส่วน คือ
  - เซนเซอร์วัดค่าฝุ่น PM2.5 (หน่วยการวัดค่าเป็น μ/m2)
  - เซนเซอร์วัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm)
  - เซนเซอร์วัดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm)
- เลือกศึกษาช่วงระยะเวลา 1 ช่วงปี ให้เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษาอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คือ ตามช่วงปีการศึกษาของมหาวิทยาลัย โดยกำหนดเป็นช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนกรกฎาคมของปีถัดไป
- เลือกศึกษาช่วงระยะเวลา 1 ช่วงปี ใน ปี พ.ศ.2563-พ.ศ.2564 เนื่องจากมีความครบถ้วนของข้อมูลดิบที่เป็นข้อมูลย้อนหลังมากที่สุด ทั้งส่วนข้อมูลเซนเซอร์ของอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ข้อมูลบันทึกย้อนหลังของข้อมูลค่ามลพิษ ซึ่งสามารถนำส่วนต่างๆ มาวิเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลดิบของค่าเซนเซอร์ภายในอาคารจากอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในช่วงปี พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2564 แบ่งเป็น

- เซนเซอร์วัดค่าไฟ (หน่วยวัดค่าเป็น KW/h)
- เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ (หน่วยวัดค่าเป็น °C)
- เซนเซอร์วัดความชื้น (หน่วยวัดค่าเป็น % RH)

โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังผ่านระยะเวลาการใช้งานอาคารจามจุรี 5 อ้างอิงตามช่วง 1 ปีการศึกษา ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากการสรุปข้อมูลย้อนหลังของเซนเซอร์วัดค่าไฟและค่าอื่นๆในอาคาร ของเว็บไซต์ CU BEMS มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- นำข้อมูลเซนเซอร์จากตารางสรุปรายวันในแต่ละเดือนของข้อมูลย้อนหลังของค่าเซนเซอร์ ทั้ง 3 ส่วน จากเว็บไซต์ CU BEMS มาจัดเรียง และหาค่าเฉลี่ยของผลค่าเซนเซอร์ภายในอาคารต่อเดือน เป็นระยะเวลา 12 เดือน โดยผู้วิจัยสรุปข้อมูลค่าเซนเซอร์ได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 1ข้อมูลดิบค่าเซนเซอร์ภายในอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Month/ Sensors	Electricity (kw/h)	Temperature (°C)	Humidity (%)
Year 2020			
Aug_2020	49,254.10	28.8	60.5
Sep_2020	49,113.20	28.9	62.3
Oct_2020	48,212.50	28.5	67.5
Nov_2020	50,014.20	30.1	66.43
Dec_2020	49,302.30	30.5	68.5
Year 2021			
Jan_2021	48,021.30	30.2	65.2
Feb_2021	47,212.40	30.1	65.5
Mar_2021	48,227.40	31.0	64.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Month/ Sensors	Electricity (kw/h)	Temperature (°C)	Humidity (%)
April_2021	47,902.02	33.8	64.92
May_2021	46,237.20	32.3	69.54
June_2021	40,125.50	30.2	68.32
Jul_2021	39,830.20	29.1	62.21

ข้อมูลเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายนอก แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- ค่ามลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร ในช่วงปี พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2564 ของสถานีวัดค่ามลพิษจากเซนเซอร์บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งนำรายงานสรุปค่ามลพิษเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลคุณภาพอากาศย้อนหลัง จาก กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง,กรมควบคุมมลพิษ ของสถานีวัดค่าคุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ซึ่งมีระยะขอบเขตครอบคลุมจากสถานีหัวลำโพงสามย่าน ตลอดจนถึง ถนนสุขุมวิท ประกอบด้วย
  - เซนเซอร์วัดค่าฝุ่น PM2.5 (หน่วยการวัดค่าเป็น µ/m2)
  - เซนเซอร์วัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm)
  - เซนเซอร์วัดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm)

ข้อมูลดิบการวัดค่ามลพิษทางอากาศภายนอกอาคารย้อนหลังจากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง,กรมควบคุมมลพิษ ในช่วงปี พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2564 โดยนำค่ามลพิษที่เลือกใช้เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน มาวิเคราะห์ข้อมูล มีดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 2 ข้อมูลดิบค่าเซนเซอร์คุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี 2563

คุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี 2563

เดือน	ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)				ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)				ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})				ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)			
	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppm)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ug/m^3)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ug/m^3)			ค่าเฉลี่ย
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.	รายเดือน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.	รายเดือน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	วัน > std.	รายเดือน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	วัน > std.	รายเดือน
มกราคม	85	7	0/709	34	3.28	0.24	0/709	1.42	123	38	1/31	70	82	19	8/31	42
กุมภาพันธ์	81	7	0/653	29	3.17	0.00	0/653	1.05	123	35	1/28	78	76	16	12/28	44
มีนาคม	84	4	0/710	18	2.82	0.01	0/709	0.96	78	39	0/31	49	44	16	0/31	25
เมษายน	58	3	0/682	18	2.18	0.00	0/680	0.84	63	26	0/29	43	39	19	0/30	23
พฤษภาคม	55	2	0/710	16	3.42	0.02	0/710	0.95	56	21	0/31	36	25	10	0/31	17
มิถุนายน	52	3	0/687	18	2.54	0.01	0/687	1.06	46	20	0/30	32	20	8	0/30	14
กรกฎาคม	50	4	0/712	19	2.18	0.04	0/712	1.01	46	22	0/31	33	24	12	0/29	16
สิงหาคม	61	4	0/710	18	2.45	0.10	0/710	1.19	56	23	0/31	38	27	12	0/31	18
กันยายน	59	3	0/687	20	2.36	0.03	0/687	1.10	53	21	0/30	33	29	8	0/30	17
ตุลาคม	87	7	0/714	27	2.41	0.00	0/713	1.34	88	21	0/31	42	47	12	0/31	22
พฤศจิกายน	64	6	0/214**	27	3.15	0.01	0/689	1.11	84	33	0/30	52	48	16	0/30	28
ธันวาคม	N/A	N/A	N/A	N/A	3.46	0.01	0/710	1.20	106	35	0/31	65	66	20	4/29	36
ค่ามาตรฐาน	170			-	30			-	120			-	50			-

หมายเหตุ : เป็นข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบในระดับเบื้องต้น
** : ข้อมูลน้อยกว่าร้อยละ 50
N/A : เครื่องมือขัดข้อง

ส่วนแผนงานและประมวลผล
กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
5 กุมภาพันธ์ 2564

ตาราง 3 ข้อมูลดิบค่าเซนเซอร์คุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน ปี 2564

คุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ปี 2564

เดือน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)				ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)				คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)				ก๊าซโอโซน (O_3)						ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})				ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)			
	ค่าเฉลี่ย 1 ชม (ppb)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 1 ชม (ppb)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 1 ชม (ppm)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 1 ชม (ppb)		ค่าเฉลี่ย 8 ชม (ppb)		วัน > std.	ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชม (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชม (มคก./ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด			ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	วัน > std.		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	วัน > std.	
มกราคม	-	-	-	-	#	#	#	#	3.61	0.06	0/712	1.15	-	-	-	-	-	-	144	43	2/31	75	89	20	8/31	44
กุมภาพันธ์	-	-	-	-	#	#	#	#	3.26	0	0/643	0.89	-	-	-	-	-	-	104	51	0/28	75	62	29	8/28	45
มีนาคม	-	-	-	-	#	#	#	#	2.82	0	0/709	0.63	-	-	-	-	-	-	84	33	0/31	54	47	16	0/31	29
เมษายน	-	-	-	-	#	#	#	#	2.89	0	0/674	1.25	-	-	-	-	-	-	66	27	0/30	43	34	13	0/30	23
พฤษภาคม	-	-	-	-	#	#	#	#	3.02	0	0/597	1.25	-	-	-	-	-	-	53	20	0/31	34	29	10	0/31	18
มิถุนายน	-	-	-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	65	25	0/30	34	28	11	0/30	16
กรกฎาคม	-	-	-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	45	19	0/31	27	24	10	0/31	14
สิงหาคม	-	-	-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	40	17	0/31	28	20	9	0/29	14
กันยายน	-	-	-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	61	22	0/30	33	35	11	0/30	16
ตุลาคม	-	-	-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	58	19	0/31	38	33	10	0/31	19
พฤศจิกายน	-	-	-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	63	33	0/28	48	32	16	0/28	24
ธันวาคม	-	-	-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	99	40	0/31	63	67	19	4/31	36
ค่ามาตรฐาน	300			-	170			-	30			-	100		70		-	-	120			-	50			-

หมายเหตุ : เป็นข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบในระดับเบื้องต้น
* : ข้อมูลร้อยละ 50-75
** : ข้อมูลน้อยกว่าร้อยละ 50
# : ไม่มีข้อมูล
- : ไม่มีเครื่องมือตรวจวัด

ส่วนแผนงานและประมวลผล
กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
3 ก.พ. 2565

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลดิบการวัดค่ามลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร ทั้งหมด 3 ส่วน คือ เซนเซอร์วัดค่าฝุ่น PM2.5 (หน่วยการวัดค่าเป็น µ/m2) เซนเซอร์วัดค่า

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm) และ เซนเซอร์วัดค่า
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (หน่วยการวัดค่าเป็น ppm) นำข้อมูลมาสรุปรวม มีดังต่อไปนี้

ตาราง 4 ตารางข้อมูลดิบการวัดค่ามลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร

Month/ Sensors	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
Year 2020			
Aug_2020	17	251	1.19
Sep_2020	18	237	1.1
Oct_2020	27	253	1.21
Nov_2020	22	274	1.34
Dec_2020	36	282	1.2
Year 2021			
Jan_2021	44	301	1.15
Feb_2021	45	339	0.89
Mar_2021	29	274	0.63
April_2021	23	350	1.25
May_2021	18	379	1.25
June_2021	16	380	0
Jul_2021	14	361	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
HULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าอุณหภูมิตามฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงปี พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2564 จากข้อมูลการวัดค่าเซนเซอร์ของสถานีวัดค่าเซนเซอร์บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานีวัดค่า สำนักงานเขตปทุมวัน ซึ่งเป็นการสรุปลักษณะสภาวะ

อากาศของประเทศไทยเฉลี่ยรายเดือนย้อนหลัง ของปี พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2564 จากศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา โดยประกอบด้วย

ตาราง 5 ค่าอุณหภูมิตามฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงปี พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2564

Month/Year	อุณหภูมิภายนอกห้อง Server (C)	รหัสสถานี	ชื่อสถานี
Year 2020			
Aug_2020	36.2	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Sep_2020	34.1	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Oct_2020	35.7	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Nov_2020	34.3	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Dec_2020	35.4	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Year 2021			
Jan_2021	33.7	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Feb_2021	34.4	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Mar_2021	34.3	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
April_2021	35.2	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
May_2021	32.8	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
June_2021	34.4	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน
Jul_2021	35.1	WS08	สำนักงานเขตปทุมวัน

ตาราง 6 ตารางช่วงฤดูกาลในประเทศไทยกับการวัดค่าเซนเซอร์ในแต่ละส่วนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2563-2564

Building Sensor Yearly 2020-2021	Rainy Season		Winter Season			Summer Season				Rainy Season		
	Semester 1					Semester 2					Semester _Summer	
Sensors/month/season	Aug 2020	Sep 2020	Oct 2020	Nov 2020	Dec 2020	Jan 2021	Feb 2021	Mar 2021	April 2021	May 2021	June2021	Jul 2021
Electricity (kw/h)	49,254.1	49,113.2	48,212.5	50,014.2	49,302.3	48,021.3	47,212.4	48,227.4	47,907.02	46,237.2	40,125.5	39,830.2
Temperature (°C) Indoor	28.8	28.9	28.5	30.1	30.5	30.2	30.1	31	33.8	32.3	30.2	29.1
Temperature (°C) Outdoor	36.2	34.1	35.7	34.3	35.4	33.7	34.4	34.3	35.2	32.8	34.4	35.1
Humidity (%)	60.5	62.3	67.5	66.43	68.5	65.2	65.5	64.01	64.92	69.54	68.32	62.21
PM2.5 (ug./m3)	17	18	27	22	36	44	45	29	23	18	16	14
CO2 (ppm)	251	237	253	274	282	301	339	274	350	379	380	361
CO (ppm)	1.19	1.1	1.21	1.34	1.2	1.15	0.89	0.63	1.25	1.25	0	0

(2) การวิเคราะห์ K-mean Cluster Analysis

ผู้วิจัยนำการรวบรวมข้อมูลดิบ (Raw Data) และจัดกลุ่มข้อมูลของตัวแปรที่กำหนดข้างต้นผ่านการใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) เป็นวิธีการหนึ่งใน Data mining ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ Unsupervised Learning หรือเป็นการเรียนรู้แบบไม่ต้องสอน K-means เป็นอัลกอริทึมเทคนิคการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนที่ง่ายที่สุด เพราะเป็นการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มที่รู้จักกันโดยทั่วไป โดยอัลกอริทึม K-Means จะตัดแบ่ง (Partition) วัตถุออกเป็น K กลุ่ม และแทนค่าแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ซึ่งใช้เป็นจุดศูนย์กลาง (centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่ม โดยจะเป็นการจัดตัวแปร ออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนกัน หรือคล้ายกัน ส่วนตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน และเลือกการจำแนกกลุ่มแบบ K-Means Cluster Analysis โดย Hartigan (1975) หรือที่เรียกอีกอย่างว่า การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis)

คำนิยามศัพท์ ของ การวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis)

- **K-Mean** หมายถึง การแบ่งกลุ่มในลักษณะที่ใช้พื้นฐานทางสถิติ ซึ่งจะมีตัวเลขประกอบ อย่างน้อย 2 ตัวแปรขึ้นไป โดย K คือ การเลือกจำนวนกลุ่มมาวิเคราะห์
- **การจัด Case หรือเป็นการจัดตัวแปร** หมายถึง ออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป Case ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนกัน หรือคล้ายกัน ส่วน Case ที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน
    - ตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จะมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน
    - ตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน จะมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

โดยวิธีนี้ผู้วิจัยจะกำหนดการแบ่งกลุ่มเพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ผู้วิจัยได้ศึกษาขั้นตอนการวิเคราะห์ของวิธี K-Means และสามารถสรุปได้ดังนี้

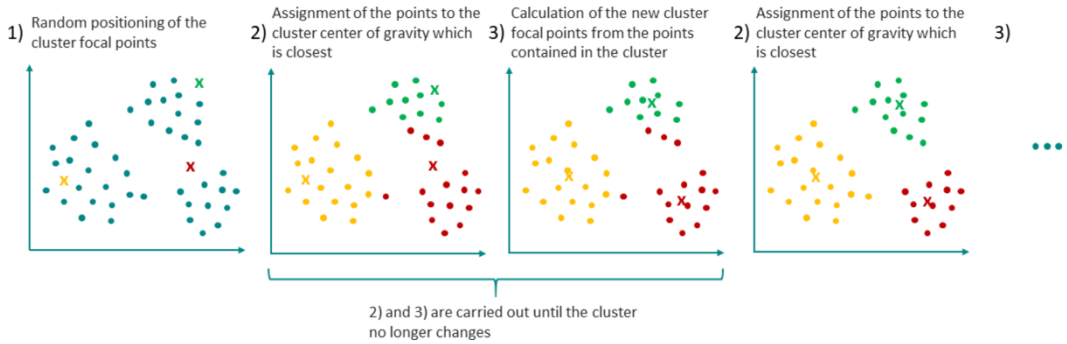
ขั้นตอนการจัดกลุ่ม ประกอบด้วย

ขั้นที่ 1 กำหนดการจัดกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวน k กลุ่ม ซึ่งมีการแบ่งแบบสุ่มจากผู้วิจัยเอง

ขั้นที่ 2 กำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้น K จุด เรียกว่า Cluster Centers หรือ Centroid โดยการหา ค่าจุดศูนย์กลาง (Centroid) หรือค่าเฉลี่ยที่เป็นกลาง ของแต่ละกลุ่ม

ขั้นที่ 3 นำวัตถุทั้งหมดที่จัดเข้ากลุ่ม โดยทำการหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล กับจุดศูนย์กลาง หากข้อมูลไหนใกล้ค่าจุดศูนย์กลาง(Centroid) มากที่สุดอยู่ กลุ่มนั้น

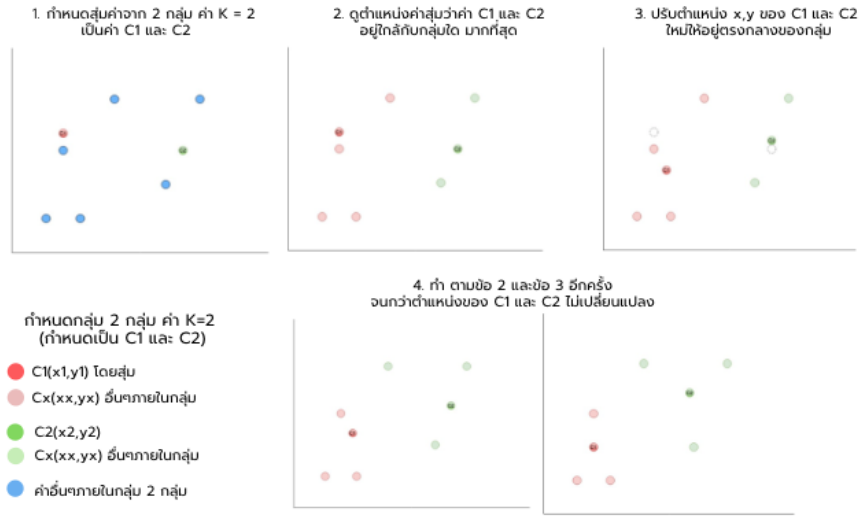
ขั้นที่ 4 หาค่าเฉลี่ย แต่ละกลุ่ม ให้เป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่ ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 ใหม่ จนกระทั่งค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลาง (Centroid) ในแต่ละกลุ่มจะไม่เปลี่ยนแปลงจึงหยุดทำ และนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป



ภาพที่ 33 รูปแบบการวิเคราะห์ค่า K-Mean จากวิธีการทำ k-Mean Cluster Analysis

ตัวอย่างวิธีการของ การวิเคราะห์ K-means มี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่มขึ้นมา เช่น 2 กลุ่มหรือคือ ค่า K=2 (กำหนดเป็น C1 และ C2) และสุ่มตำแหน่งแกน x,y ให้กับ C1 และ C2 จะได้ C1(x1,y1) และ C2(x2,y2)
2. ดูตำแหน่งของสมาชิกแต่ละสมาชิกว่าอยู่ใกล้ใครมากกว่ากันก็ให้คนนั้นเป็นสมาชิกของ C นั้น จากตรงนี้เราจะรู้แล้วว่าสมาชิกแต่ละคนอยู่ในกลุ่มใดระหว่าง C1 และ C2
3. ปรับตำแหน่ง x,y ของ C1 และ C2 ใหม่ให้อยู่ตรงกลางของกลุ่ม
4. ทำ ตามข้อ 2 และข้อ 3 อีกครั้งจนกว่าตำแหน่งของ C1 และ C2 ไม่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 34 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า K-Mean

(3) การวิเคราะห์ Associate Rules Mining

หลังจากได้กลุ่มข้อมูลของวิธีการทำ K-means แล้ว ผู้วิจัยใช้เครื่องมือ Association rule หรือ กฎความสัมพันธ์ เป็นหนึ่งในการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) นำมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของเหมืองข้อมูลและนำผลลัพธ์ของความสำคัญมาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

คำนิยามศัพท์ ของ Association rule

- **กฎความสัมพันธ์ (Association rule)** หมายถึง กฎของความสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มของ 2 กลุ่ม โดยการค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่เพื่อนำไปหารูปแบบที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ (Frequent Pattern) และใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ
  - มีรูปแบบการเขียน คือ
    Itemset LHS (Left-hand side) => Itemset RHS (Right-hand side)
    แสดงถึง การที่ลูกค้าซื้อกลุ่มของสินค้า LHS แล้วจะซื้อกลุ่มของสินค้า RHS ร่วมด้วย หรือ การพบกลุ่มของสินค้า RHS ในตะกร้าที่มีกลุ่มของสินค้า LHS
- **Item Set คือ** กลุ่มของสินค้า ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ เซต {X}

- **การวิเคราะห์ตะกร้าตลาด (Market Basket Analysis)** คือการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้เป็นกฎความสัมพันธ์ (Association Rule) สามารถเขียนได้ ในรูปเซตของรายการ ที่เป็นเหตุ ไปสู่เซตของรายการที่เป็นผลได้
- ค่าความถี่ (Frequency) คือ ความถี่ของจำนวน item sets ที่เกิดขึ้น
- ค่าสนับสนุน (Support) คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวน Item sets ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในฐานข้อมูล โดยมีการซื้อขายที่มี itemset อยู่ด้วยเป็นสัดส่วนเท่าไหร่ ในการซื้อขายทั้งหมด

  โดยสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังต่อไปนี้

$$Support\ (Itemset) = \frac{จำนวนตะกร้าซื้อขายที่มี\ itemset}{จำนวนตะกร้าซื้อขายทั้งหมด}$$

- ค่าความเชื่อมั่น (Confidence) คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวน Item sets ทั้งหมดที่เกิดขึ้นใน ฐานข้อมูล ต่อ จำนวน Item sets ที่เกิดขึ้นทางด้านซ้ายมือของกฎ โดยจากกฎของความสัมพันธ์ LHS => RHS ค่าของ confidence สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังต่อไปนี้

$$Confidence\ (LHS \Rightarrow RHS) = \frac{Support(LHS, RHS)}{Support(LHS)} = \frac{จำนวนตะกร้าซื้อขายที่มีทั้ง\ LHS\ และ\ RHS}{จำนวนตะกร้าซื้อขายที่มี\ LHS}$$

- ค่าวัดประสิทธิภาพ (Lift) คือ ตัววัดประสิทธิภาพสำหรับ association rule ทำการเปรียบเทียบ ความน่าจะเป็นที่จะพบกลุ่มของสินค้า RHS ค่า Lift เปรียบเทียบให้ทราบว่า “ความน่าจะเป็นที่ลูกค้าจะหยิบกลุ่มสินค้า RHS หลังจากที่ลูกค้าหยิบกลุ่มสินค้า LHS ลงตะกร้าไปแล้ว เพิ่มหรือลดเป็นจำนวนกี่เท่าของความน่าจะเป็นที่ลูกค้าจะซื้อกลุ่มสินค้า RHS โดยปกติ” ซึ่งมีหลักเกณฑ์คือ
  - หากค่า Lift > 1 (เท่า) แสดงว่า กลุ่มสินค้า A ส่งเสริม กลุ่มสินค้า B

- หากค่า Lift = 1 แสดงว่า กลุ่มสินค้า A และ กลุ่มสินค้า B ไม่ขึ้นต่อกัน (independent)
- หากค่า Lift < 1 (เท่า) แสดงว่า กลุ่มสินค้า A ไม่ส่งเสริม กลุ่มสินค้า B

จากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล ความสัมพันธ์จะแสดงในรูปของกฎความสัมพันธ์ (Association Rule) ดังนี้

$$A \rightarrow B[\text{Support, Confident}] \text{โดยที่ A, B แทนรายการสินค้า}$$

ภาพที่ 35 สูตรการหาความสัมพันธ์

TID	Items
1	Bread, Milk
2	Bread, Diaper, Beer, Eggs
3	Milk, Diaper, Beer, Coke
4	Bread, Milk, Diaper, Beer
5	Bread, Milk, Diaper, Coke

	Beer	Bread	Milk	Diaper	Eggs	Coke
T_1	0	1	1	0	0	0
T_2	1	1	0	1	1	0
T_3	1	0	1	1	0	1
T_4	1	1	1	1	0	0
T_5	0	1	1	1	0	1

ภาพที่ 36 ตัวอย่างการหาความสัมพันธ์แบบ Association Rules Mining

(4) การสรุปผลจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

จากการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องมือการวิเคราะห์ด้วย K-mean Cluster Analysis และ Associate rules mining เพื่อนำมาศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูล ผู้วิจัยจะนำผลการวิเคราะห์จาก K-mean Cluster Analysis เพื่อแสดงผลจำนวนการแบ่งกลุ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลและนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือ Associate Rules mining เพื่อทำการเชื่อมโยงกลุ่มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน และนำมาสรุปผลการศึกษาที่ได้จากการวิจัยมาประเมินความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.8 การประเมินความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์

การนำข้อมูลที่เก็บมาจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์และประเมินหาโอกาสในการนำเทคโนโลยีสู่ การค้าเชิงพาณิชย์ โดยมีหัวข้อดังนี้

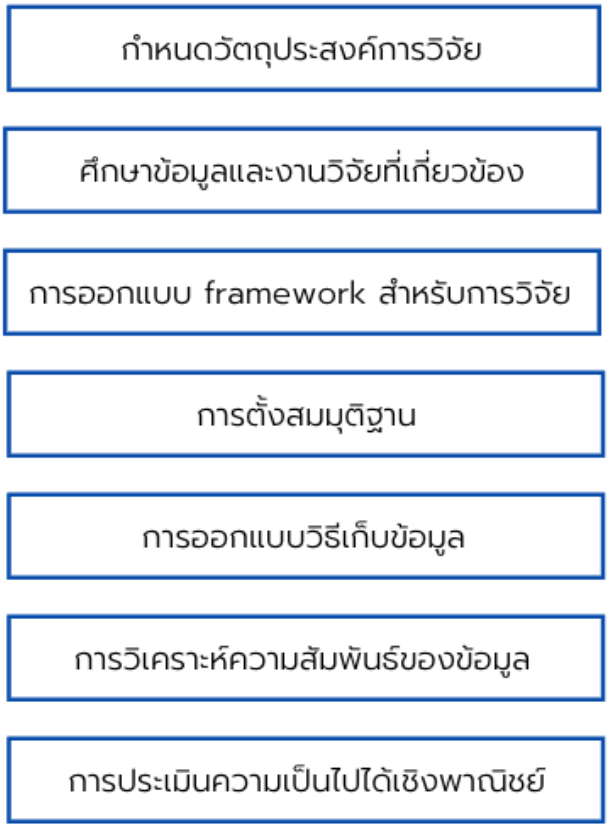
การประเมินศักยภาพทางการตลาด ซึ่งประกอบด้วย

- การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายนอก (PESTEL Analysis)
- การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อม (5 Forces Analysis)\
- การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายใน (SWOT Analysis)

การประเมินความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ ซึ่งประกอบด้วย

- การประเมินเทคโนโลยี (Technology Assessment)
- การประเมินตลาด (Market Assessment)
- การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี (Technology exploitation)
- การนำเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์ (Technology Commercialization)
- ความเป็นไปได้ทางการเงิน (Financial Feasibility)

3.9 การสรุปแผนดำเนินการศึกษา



บทที่ 4
ผลการศึกษา

หลังจากการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อนำมาศึกษาความเป็นไปได้ทานด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากข้อมูลดิบของเซนเซอร์ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ ซึ่งประกอบด้วย

(1) ผลการศึกษาการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มของข้อมูล
(2) ผลการศึกษาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล
(3) ผลการศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้งานอาคารจากแบบสอบถาม
(4) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถาม

4.1 ผลการศึกษาการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มของข้อมูล

จากการศึกษาการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มของข้อมูลจากเซนเซอร์ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 จากการกำหนดจัดกลุ่มข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ประกอบไปด้วย จำนวนกลุ่มข้อมูล (Case) ทั้งหมด 12 Case ซึ่งมีตัวแปรค่าเซนเซอร์ทั้งหมด 7 เซนเซอร์ รวมเป็นข้อมูลทั้งหมด 84 ข้อมูล ดังนี้

ตาราง 7 ตารางการจัดกลุ่มข้อมูลค่าเซนเซอร์

Cases	Electricity (kw/h)	Temperature (°C) Indoor	Temperature (°C) Outdoor	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
1	49254.1	28.8	36.2	60.5	17	251	1.19
2	49113.2	28.9	34.1	62.3	18	237	1.1
3	48212.5	28.5	35.7	67.5	27	253	1.21
4	50014.2	30.1	34.3	66.43	22	274	1.34
5	49302.3	30.5	35.4	68.5	36	282	1.2
6	48021.3	30.2	33.7	65.2	44	301	1.15

Cases	Electricity (kw/h)	Temperature (°C) Indoor	Temperature (°C) Outdoor	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
7	47212.4	30.1	34.4	65.5	45	339	0.89
8	48227.4	31	34.3	64.01	29	274	0.63
9	47907.02	33.8	35.2	64.92	23	350	1.25
10	46237.2	32.3	32.8	69.54	18	379	1.25
11	40125.5	30.2	34.4	68.32	16	380	0
12	39830.2	29.1	35.1	62.21	14	361	0

จากการกำหนดจัดกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวน k กลุ่ม โดยผู้วิจัยกำหนดสุ่มค่า k=3 (ค่ากลุ่ม k=3) และทำการการหา ค่าจุดศูนย์กลาง (Centroid) หรือค่าเฉลี่ยที่เป็นกลาง มีผลดังต่อไปนี้

- กลุ่มที่ 1 มีค่าจุดศูนย์กลางของ ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 39,977.85 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 29.65 °C ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 34.75 °C ค่าความชื้นอยู่ที่ 65.27% ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 15 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 370.5 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 0 ppm
- กลุ่มที่ 2 มีค่าจุดศูนย์กลางของ ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 47,072.11 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 33.05 °C ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 34.00 °C ค่าความชื้นอยู่ที่ 67.23% ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 20.5 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 364.5 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 1.25 ppm
- กลุ่มที่ 3 มีค่าจุดศูนย์กลางของ ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 48,669.98 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 29.76 °C ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 34.76 °C ค่าความชื้นอยู่ที่ 64.99% ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 29.75 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 267.38 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 1.09 ppm

ตาราง 8 ตารางผลการจัดกลุ่มข้อมูลค่าเซนเซอร์ โดยกำหนดสุ่มค่า k=3

Cluster	Electricity (kw/h)	Temperature (°C) Indoor	Temperature (°C) Outdoor	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
1	39,977.85	29.65	34.75	65.27	15	370.5	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2	47,072.11	33.05	34	67.23	20.5	364.5	1.25
3	48,669.68	29.76	34.76	64.99	29.75	276.38	1.09

4.1.2 ทำการหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล กับปรับจุดศูนย์กลาง โดยข้อมูลใดใกล้ค่าจุดศูนย์กลางตัวไหนที่สุดจะอยู่กลุ่มนั้น และทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) แต่ละกลุ่มให้เป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่ โดยผู้วิจัยได้ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 ใหม่ จนกระทั่งค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลาง (Centroid) ในแต่ละกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลงใช้จำนวนการทำซ้ำเป็นจำนวนทั้งหมด 10 ครั้งโดยข้อมูลการทำซ้ำในครั้งที่ 5 มีดังต่อไปนี้

- กลุ่มที่ 1 ปรับค่าจุดศูนย์กลางใหม่โดยมีค่าเฉลี่ย คือ ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 40,125.5 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 30.2 °C ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 34.4°C ค่าความชื้นอยู่ที่ 68.32 % ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 16 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 380 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 0 ppm

- กลุ่มที่ 2 มีค่าจุดศูนย์กลางของ ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 46,237.20 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 32.30 °C ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 32.80 °C ค่าความชื้นอยู่ที่ 69.54% ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 18 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 379 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 1.25 ppm

- กลุ่มที่ 3 มีค่าจุดศูนย์กลางของ ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 50,014.20 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 30.10 °C ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 34.30 °C ค่าความชื้นอยู่ที่ 66.43% ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 22 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 274 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 1.34 ppm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 9 ตารางผลค่าเฉลี่ย (Mean)ของแต่ละกลุ่ม จากการทำซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้ง

Cluster	Electricity (kw/h)	Temperature (°C) Indoor	Temperature (°C) Outdoor	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
1	40,125.5	30.2	34.4	68.32	16	380	0
2	46,237.2	32.3	32.8	69.54	18	379	1.25
3	50,014.2	30.1	34.3	66.43	22	274	1.34

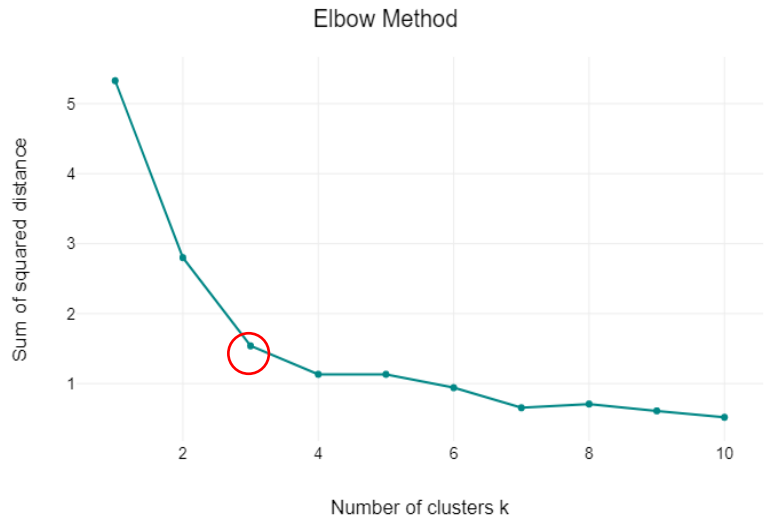
4.1.3 ต่อมาผู้วิจัยทำการหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล กับปรับจุดศูนย์กลางใหม่เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) แต่ละกลุ่มให้เป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่อีกครั้ง โดยผู้วิจัยได้ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 ใหม่ จนกระทั่งค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลาง (Centroid) ในแต่ละกลุ่มโดยข้อมูลการทำซ้ำในครั้งที่ 10 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงผู้วิจัยจึงหยุดการทำซ้ำที่จำนวนทั้งหมดรวม 10 ครั้งมีดังต่อไปนี้

ตาราง 10 ตารางผลค่าเฉลี่ย (Mean)ของแต่ละกลุ่ม จากการทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้ง

Cluster	Electricity (kw/h)	Temperature (°C) Indoor	Temperature (°C) Outdoor	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
1	47636.3	30.98	34.35	66.11	31	316	1.06
2	39977.85	29.65	34.75	65.27	15	370.5	0
3	49420.95	29.58	35	64.43	23.25	261	1.21

4.1.4 จากข้อมูลการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม การกำหนดค่า K เริ่มต้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ ค่า K-mean มาจากการกำหนดสุ่มค่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำวิธี Elbow method ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้การวัดข้อผิดพลาด (Error measurement) ของผลรวมของระยะห่างระหว่าง Object กับ Centroid โดยกำหนดการเลือกค่า k ที่เหมาะสมหรือการหาค่า Optimal cluster number ให้ เมื่อความผิดพลาดลดน้อยลง เส้นโค้งที่มีความชันจะเริ่มโค้งและราบเรียบ (Smooth) จนเกิดเป็นมุมลักษณะเหมือน Elbow หรือจุดหักศอก ณ จุดนี้เป็นจุดที่ให้ค่าจำนวนกลุ่ม Cluster เป็นจำนวนที่ดีที่สุด ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ข้อมูลผ่าน data tab ซึ่งเป็นเว็บไซต์วิเคราะห์ข้อมูลออนไลน์ ได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 37 ผลการกำหนดกลุ่มค่า K จากวิธี Elbow method

จากกราฟผลสรุปข้อมูลค่า K ที่มีความเหมาะสมที่สุดโดยค่า k มีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งหมายความว่า จำนวนกลุ่มข้อมูลที่มีความเหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 3 กลุ่ม ต่อมาผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้ผลสรุปจากการวิเคราะห์จัดกลุ่มข้อมูลความสัมพันธ์ จำนวน 3 กลุ่มซึ่งมีข้อมูลดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 11 ตารางผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลจากการวิเคราะห์ K-mean

Cluster	Electricity (kw/h)	Temperature (°C) Indoor	Temperature (°C) Outdoor	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)
3	49254.1	28.8	36.2	60.5	17	251	1.19
3	49113.2	28.9	34.1	62.3	18	237	1.1
1	48212.5	28.5	35.7	67.5	27	253	1.21
3	50014.2	30.1	34.3	66.43	22	274	1.34
3	49302.3	30.5	35.4	68.5	36	282	1.2
1	48021.3	30.2	33.7	65.2	44	301	1.15
1	47212.4	30.1	34.4	65.5	45	339	0.89
1	48227.4	31	34.3	64.01	29	274	0.63
1	47907.02	33.8	35.2	64.92	23	350	1.25
1	46237.2	32.3	32.8	69.54	18	379	1.25
2	40125.5	30.2	34.4	68.32	16	380	0
2	39830.2	29.1	35.1	62.21	14	361	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 12 ตารางสรุปจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มจากการวิเคราะห์ K-mean

Cluster	Cases
1	6
2	2
3	4
Valid	12
Missing	0

จากข้อมูลตารางที่ 10 และ 11 สรุปการแบ่งกลุ่ม จากกลุ่มข้อมูล (Case) ทั้งหมด 12 กลุ่มข้อมูลแบ่ง เป็นกลุ่มที่ 1 จำนวน 6 กลุ่ม กลุ่มที่ 2 จำนวน 2 กลุ่ม และ กลุ่มที่ 3 จำนวน 4 กลุ่ม และได้ผลค่าเฉลี่ย (Mean) ของข้อมูลซึ่งผู้วิจัยสามารถจำแนกระบุข้อมูลแต่ละกลุ่ม ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 13 ตารางสรุปผลค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มจากการวิเคราะห์ K-mean

Cluster	1	2	3
Electricity (kw/h)	47,636.3	39,977.85	49,420.95
Temperature (°C) Indoor	30.98	29.65	29.58
Temperature (°C) Outdoor	34.35	34.75	35
Humidity (%)	66.11	65.27	64.43
PM2.5 (µg./m3)	31	15	23.25
CO2 (ppm)	316	370.5	261
CO (ppm)	1.06	0	1.21

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.5 ผลการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มข้อมูลจาก K-mean

เมื่อพิจารณาตารางที่ 12 สามารถสรุปลักษณะที่สำคัญในแต่ละกลุ่มได้ดังต่อไปนี้

- กลุ่มที่ 1 (จำนวน 6 กลุ่ม) มีค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ในแต่ละส่วน คือ ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 47,636.3 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 30.98 ℃ ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 34.35℃ ค่าความชื้นอยู่ที่ 66.11 % ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 31 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 316 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 1.06 ppm
- กลุ่มที่ 2 (จำนวน 2 กลุ่ม) มีค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ในแต่ละส่วน คือ ค่าเฉลี่ยไฟฟ้าอยู่ที่ 39,977.85 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 29.65 ℃ ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 34.75℃ ค่าความชื้นอยู่ที่ 65.27 % ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 15 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 370.5 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 0 ppm
- กลุ่มที่ 3 (จำนวน 4 กลุ่ม) มีค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ในแต่ละส่วน คือ ค่าเฉลี่ยไฟฟ้าอยู่ที่ 49,420.95 kw/h ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 29.58 ℃ ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 35℃ ค่าความชื้นอยู่ที่ 64.43 % ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 23.25 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 261 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 1.21 ppm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 14 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปกลุ่มจากการวิเคราะห์ K-mean

Building Sensor Yearly 2020-2021		Sensors/month	Electricity (kw/h)	Temperature (°C) Indoor	Temperature (°C) Outdoor	Humidity (%)	PM2.5 (ug./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	Cluster
Rainy Season	Semester 1	Aug_2020	49254.1	28.8	36.2	60.5	17	251	1.19	3
		Sep_2020	49113.2	28.9	34.1	62.3	18	237	1.1	3
Winter Season		Oct_2020	48212.5	28.5	35.7	67.5	27	253	1.21	1
		Nov_2020	50014.2	30.1	34.3	66.43	22	274	1.34	3
		Dec_2020	49302.3	30.5	35.4	68.5	36	282	1.2	3
	Semester 2	Jan_2021	48021.3	30.2	33.7	65.2	44	301	1.15	1
Summer Season		Feb_2021	47212.4	30.1	34.4	65.5	45	339	0.89	1
		Mar_2021	48227.4	31	34.3	64.01	29	274	0.63	1
		April_2021	47907.02	33.8	35.2	64.92	23	350	1.25	1
		May_2021	46237.2	32.3	32.8	69.54	18	379	1.25	1
Rainy Season	Semester_Summer	June_2021	40125.5	30.2	34.4	68.32	16	380	0	2
		Jul_2021	39830.2	29.1	35.1	62.21	14	361	0	2

4.1.5 ผลสรุปการแบ่งกลุ่มข้อมูลจาก K-means

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มข้อมูลของเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร กรณีศึกษาระหว่างปีค.ศ. 2020-2021 จากข้อมูลทั้งหมด 12 Case 7 ค่าเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ รวม84 ข้อมูล ด้วยวิธี K-means โดยพิจารณาจำนวนกลุ่มที่ เหมาะสมด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเซนเซอร์และการตรวจสอบจำนวนกลุ่มจากวิธี Elbow method ซึ่งคือจำนวน 3 กลุ่ม ซึ่งการตัดสินใจเลือก เทคนิคการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มนั้นขึ้นอยู่กับผู้วิจัยที่พิจารณาเลือกใช้ตามลักษณะของข้อมูลและความสนใจ โดย แต่ละวิธีจะให้ผลในการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มที่แตกต่างกัน ดังนั้นการตรวจสอบความเหมาะสมของการ วิเคราะห์แบ่งกลุ่มจึงเป็นสิ่งสำคัญในการวัดคุณภาพ ผลการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม ซึ่งผลการตรวจสอบความ เหมาะสมของการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม โดยเปรียบเทียบระหว่าง K-means และ Elbow method พบว่าสอดคล้องกับเทคนิคที่งานวิจัยนี้เลือกใช้คือ K-means นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับ ผลการเลือกจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมด้วย แสดงว่าข้อมูลที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม ที่มีความคล้ายคลึงอย่างมีความหมาย โดยตอบสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ว่า เซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารในระบบบริหารจัดการตึกและอาคาร (BMS) เช่น อุณหภูมิ การใช้ไฟฟ้า ความชื้น คุณภาพอากาศโดยรวม (AQI) แปรผันตาม ปัจจัยด้านมลพิษทางอากาศ และ เซนเซอร์ค่าอัตราการใช้ไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้งาน ของผู้ใช้งานอาคารซึ่งสัมพันธ์กับค่าคุณภาพอากาศภายในอาคาร อย่างมีนัยยะสำคัญ

โดยแต่ละกลุ่มสามารถสรุปลักษณะคำจำกัดความโดยผู้วิจัย ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 (จำนวน 6 กลุ่ม) มีจำนวนกลุ่มมากที่สุด ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มข้อมูลของเซนเซอร์ที่อยู่ในช่วงฤดูร้อน โดยเป็นช่วงการเปิดภาคการศึกษาของมหาวิทยาลัยในภาคการศึกษาที่ 2 ของปี มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงตามพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารช่วงเปิดเทอม ที่เป็นกรณีศึกษาอาคารจามจุรี 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ค่าไฟฟ้าสูงเป็นอันดับที่ 2 และค่าเซนเซอร์มลพิษทางอากาศ เช่น ค่าฝุ่น PM2.5 ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณสูง รวมถึงอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกอาคารสูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงนิยามกลุ่ม 1 คือ **“กลุ่มมีความเสี่ยงต่อคุณภาพอากาศจากมลพิษทางอากาศ”**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- กลุ่มที่ 2 (จำนวน 2 กลุ่ม) มีจำนวนกลุ่มน้อยที่สุด ส่วนทั้ง 2 กลุ่มนี้อยู่ในกลุ่มข้อมูลของเซนเซอร์ที่อยู่ในช่วงฤดูฝน มีค่าเฉลี่ยค่าความชื้นอยู่ที่ 65.27 % ซึ่งมีปริมาณสูงแปรผันตามฤดูกาล ของเซนเซอร์ในแต่ละส่วนมีค่าเฉลี่ยไฟฟ้าอยู่ที่ 39,977.85 kw/h มีค่าต่ำสุดในกลุ่มทั้งหมด 3 กลุ่มซึ่งแปรผันตรงกับพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารโดยเป็นช่วงการปิดภาคการศึกษาของมหาวิทยาลัย การใช้งานอาคารน้อย ทำให้มีค่าอุณหภูมิภายในไม่สูงมากรวมถึง ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่กลางๆ เนื่องจากขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในฤดูฝน ทำให้ ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 15 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 370.5 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 0 ppm ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงมาก ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศมากนัก ดังนั้นจึงนิยามกลุ่ม 2 คือ **“กลุ่มคุณภาพอากาศดี”**
- กลุ่มที่ 3 (จำนวน 4 กลุ่ม) ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มข้อมูลของเซนเซอร์ที่อยู่ในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว โดยเป็นช่วงการเปิดภาคการศึกษาของมหาวิทยาลัยในภาคการศึกษาแรก ซึ่งจะแปรผันตรงกับพฤตกรรมการใช้งานของผู้ใช้งานอาคารที่มีการใช้งานเป็นจำนวนมาก มีค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ค่าเฉลี่ยไฟฟ้าอยู่ที่ 49,420.95 kw/h ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดในกลุ่ม ค่าอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ที่ 29.58 ℃ ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 35°C ค่าความชื้นอยู่ที่ 64.43 % ค่าฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 23.25 µg./m. ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 261 ppm และ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ 1.21 ppm ซึ่งเป็นค่าที่สูงระดับปานกลาง อาจไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศมากนัก ดังนั้นจึงนิยามกลุ่ม 3 คือ **“กลุ่มมีความเสี่ยงต่อคุณภาพอากาศไม่ดี”**

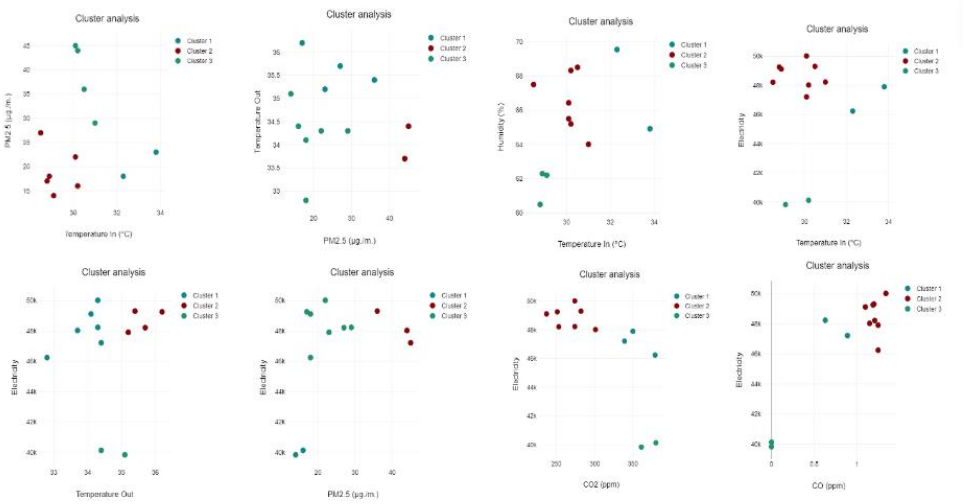
การกำหนดลักษณะคำจำกัดความกลุ่มพิจารณาจากค่ามาตรฐานความเข้มข้นของมลพิษในตัวชี้วัดเซนเซอร์ต่างๆ รวมถึงดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐาน จากการสรุปในกลุ่มที่ 1 โดยเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อคุณภาพอากาศจากมลพิษทางอากาศ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอยู่ในระดับปกติแต่มีความเสี่ยงสูงที่จะนำไปสู่ความเสี่ยงการเกิดคุณภาพอากาศที่ไม่ดีได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้การอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 เป็นหลักเกณฑ์การตัดสินใจคุณภาพของอากาศที่ไม่ดี จากข้อมูลสรุปกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มคุณภาพอากาศดี โดยเทียบกับค่ามาตรฐานค่าตัวชี้วัดของทั้งส่วนเซนเซอร์และส่วนมลพิษทางอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อยู่ในระดับค่าปกติตามมาตรฐานคุณภาพอากาศที่ดี และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อคุณภาพอากาศที่ไม่ดี โดยค่าเฉลี่ยส่วนเซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น และค่าการใช้ไฟฟ้ามีค่าสูงเกินกว่าระดับปกติรวมถึงค่ามาตราฐานของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีค่าสูง ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดความเสี่ยงต่อคุณภาพอากาศที่ไม่ดีสูง

4.2 ผลการศึกษาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

(1) จากการทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการใช้ K-mean Cluster Analysis แล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธี Associate rules mining โดยผู้วิจัยได้ทดสอบหาคู่ความสัมพันธ์จากการทำ k-mean cluster ทดสอบตัวอย่างกลุ่มข้อมูลเป็นคู่ ทั้งหมด 8 คู่ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของข้อมูล มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 38 ผลการทดสอบความสัมพันธ์กลุ่มค่า K เป็นคู่

(2) จากการทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวด้วยการใช้ K-mean Cluster Analysis แล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลมาทำการทดสอบสมมุติฐานการวิจัยที่ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ที่ประกอบด้วย มลพิษทางอากาศ และ พฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้อาคาร ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารแตกต่างต่างกัน ผ่านการหาค่าสหความสัมพันธ์อัตโนมัติ ด้วยการวิเคราะห์ Pearson Correlation จากเว็บไซต์การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลผ่าน เว็บไซต์ออนไลน์ Data tab มีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

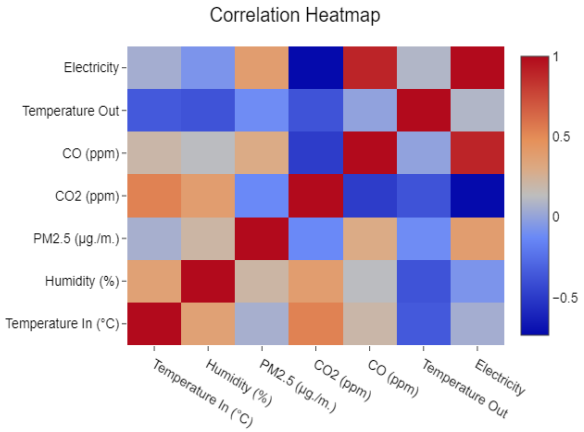
ตาราง 15 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปการทำ correlation

Correlation		Temperature In (°C)	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	Temperature Out	Electricity
Temperature In (°C)	Correlation	1	0.37	0.06	0.54	0.2	-0.36	0.05
Humidity (%)	Correlation	0.37	1	0.21	0.39	0.12	-0.39	-0.07
PM2.5 (µg./m3)	Correlation	0.06	0.21	1	-0.13	0.3	-0.11	0.39
CO2 (ppm)	Correlation	0.54	0.39	-0.13	1	-0.5	-0.38	-0.73
CO (ppm)	Correlation	0.2	0.12	0.3	-0.5	1	-0.01	0.9
Temperature Out	Correlation	-0.36	-0.39	-0.11	-0.38	-0.01	1	0.09
Electricity	Correlation	0.05	-0.07	0.39	-0.73	0.9	0.09	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางสรุปข้อมูลการหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ด้วย "สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์" โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.00 ถึง 1.00. ถ้ามีค่าติดลบหมายความว่า ตัวแปร 2 ตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าค่าเป็นบวก โดยเข้าใกล้ค่า 1.00 จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด

(3) เพื่อการนำข้อมูลการหาค่าความสัมพันธ์มาใช้ ผู้วิจัยได้สรุปข้อมูลเพื่อให้ให้ในการดึงข้อมูลมาเพื่อทำการวิเคราะห์ Associate rules mining ต่อ โดยการนำข้อมูลไปแปลงเป็น Correlation Heat map โดยจากผลตาราง correlation โดยทำมาแปลงค่าผลเป็น Correlation heat map แทนด้วยสี ซึ่งสีแดงแทนค่า 0.00 ถึง 1.00 หมายความว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และ สีฟ้าแทนค่า 0.00 ถึง -1.00 หมายความว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ดังนี้



ภาพที่ 39 ผล Correlation Heat map

(4) การวิเคราะห์ Associate rules mining ผู้วิจัยนำรูปแบบมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ตะกร้าตลาด (Market basket analysis) คือ ดึงข้อมูลจาก Correlation Heat map มาแปลงความสัมพันธ์โดย กำหนดความสัมพันธ์ที่ว่า หากเซนเซอร์ใดมีความสัมพันธ์กันหรือเกี่ยวข้องกันมากที่สุด จากระดับค่าเป็น 1-0.5 ตามผลวิเคราะห์จาก correlation heat map แทนค่า =1 และ หากเซนเซอร์ใดไม่มีความสัมพันธ์กันหรือเกี่ยวข้องกันน้อยที่สุด จากระดับค่าเป็น 0-0.5 ตามผลวิเคราะห์จาก correlation heat map แทนค่า =0 สรุปออกมาเป็นตาราง ดังนี้

ตาราง 16 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปการทำ correlation

TID	Temperature (°C) IN	Humidity (%)	PM2.5 (µg./m3)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	Temperature (°C) OUT	Electricity
1	0	0	1	0	1	0	1
2	0	0	0	0	0	1	0
3	1	0	1	0	1	0	1
4	1	1	0	1	0	0	0
5	0	0	1	0	1	0	1
6	1	1	0	1	0	0	0
7	1	1	0	1	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(5) ต่อมาผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ Associate rules mining ผ่าน เว็บไซต์ออนไลน์ Data tab มีผลสรุป Frequent Item set ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

โดยกำหนด ค่า minimal support = 0.14

ค่า Minimal Confident = 0.3

ตาราง 17 ตารางการเชื่อมโยงข้อมูลสรุปการทำ correlation

Lhs	Rhs	Frequency	Support	Confidence	Lift
CO (ppm),Electricity	PM2.5 (µg./m3)	3	0.43	1	2.33
Electricity	CO (ppm)	3	0.43	1	2.33
Humidity (%),CO2 (ppm)	Temperature (°C) IN	3	0.43	1	1.75
Humidity (%)	CO2 (ppm)	3	0.43	1	2.33
CO (ppm), Temperature (°C) IN	PM2.5 (µg./m3),Electricity	1	0.14	1	2.33
CO2 (ppm), Humidity (%)	Temperature (°C) IN	3	0.43	1	1.75
PM2.5 (µg./m3), Temperature (°C) IN	CO (ppm), Electricity	1	0.14	1	2.33
Temperature (°C) IN	CO2 (ppm), Humidity (%)	3	0.43	0.75	1.75
PM2.5 (µg./m3),CO (ppm)	Temperature (°C) IN	1	0.14	0.33	0.58
Electricity, PM2.5 (µg./m3)	Temperature (°C) IN	1	0.14	0.33	0.58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

CO (ppm)	Electricity, Temperature (℃) IN	1	0.14	0.33	2.33
CO (ppm), Electricity, PM2.5 (µg./m3)	Temperature (℃) IN	1	0.14	0.33	0.58

(6) จากตารางผลสรุปสามารถอธิบายจากกฎความสัมพันธ์ (Association rule) ความสัมพันธ์ในตะกร้าตลาดของข้อมูลจากสูตร Itemset LHS (Left-hand side) => Itemset RHS (Right-hand side) กฎที่สามารถเป็นไปได้ว่า

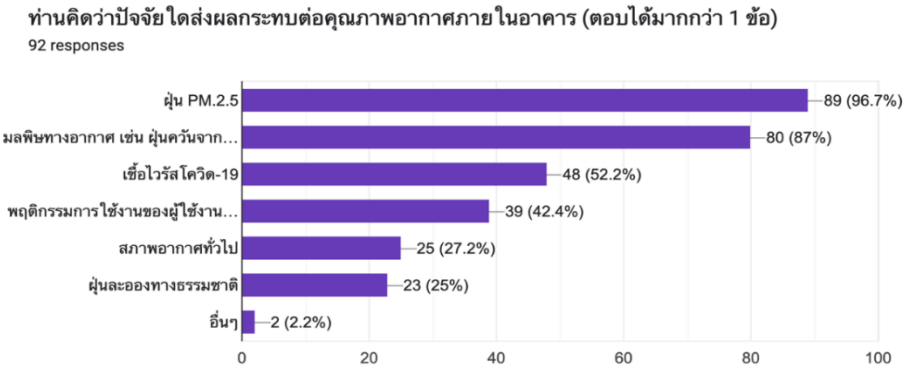
- {ค่าเซนเซอร์ CO (ppm), ค่าเซนเซอร์ไฟฟ้า Electricity (Kw/h)} => ค่าเซนเซอร์ PM2.5 (µg./m3)} มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.43 เป็น 1 โดย มีค่า (Lift = 2.33)
- {ค่าเซนเซอร์ไฟฟ้า Electricity (Kw/h)} => ค่าเซนเซอร์ CO (ppm)} มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.43 เป็น 1 โดย มีค่า (Lift = 2.33)
- {ค่าเซนเซอร์ Humidity (%), ค่าเซนเซอร์ CO_2 (ppm)=> ค่าเซนเซอร์ Temperature (℃) IN มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.43 เป็น 1 โดย (Lift = 1.75)
- {ค่าเซนเซอร์ Humidity (%) => ค่าเซนเซอร์ CO_2 (ppm) มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.43 เป็น 1 โดย (Lift = 2.33)
- {ค่าเซนเซอร์ CO (ppm), ค่าเซนเซอร์ Humidity (%) => ค่าเซนเซอร์ไฟฟ้า Electricity (Kw/h) มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.14 เป็น 1 โดย (Lift = 2.33)
- {ค่าเซนเซอร์ CO_2 (ppm), ค่าเซนเซอร์ Humidity (%) => ค่าเซนเซอร์ Temperature (℃) IN มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.43 เป็น 1 โดย (Lift = 1.75)
- {ค่าเซนเซอร์ PM2.5 (µg./m3), ค่าเซนเซอร์ Temperature (℃) IN => ค่าเซนเซอร์ CO (ppm), ค่าเซนเซอร์ไฟฟ้า Electricity (Kw/h) มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.14 เป็น 1 โดย (Lift = 2.33)

- {ค่าเซนเซอร์ PM2.5 (µg./m3), ค่าเซนเซอร์ CO (ppm) => ค่าเซนเซอร์ Temperature IN (℃) มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.14 เป็น 0.33 โดย (Lift = 0.58)
- {ค่าเซนเซอร์ PM2.5 (µg./m3), ค่าเซนเซอร์ไฟฟ้า Electricity (Kw/h) => ค่าเซนเซอร์ Temperature IN (℃) มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.14 เป็น 0.33 โดย (Lift = 0.58)
- {ค่าเซนเซอร์ CO (ppm) => ค่าเซนเซอร์ไฟฟ้า Electricity (Kw/h), ค่าเซนเซอร์ Temperature IN (℃) มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.14 เป็น 0.33 โดย (Lift = 2.33)
- {ค่าเซนเซอร์ CO (ppm), ค่าเซนเซอร์ไฟฟ้า Electricity (Kw/h), ค่าเซนเซอร์ PM2.5 (µg./m3) => ค่าเซนเซอร์ Temperature IN (℃) มีความน่าจะเป็นที่จะสัมพันธ์กันจาก 0.14 เป็น 0.33 โดย (Lift = 0.58)

4.3 ผลการศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้งานอาคารจากแบบสอบถาม

จากผลการทำแบบสอบถามในส่วนของพฤติกรรมผู้ใช้งานอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาสนับสนุนการตอบคำถามการตั้งสมมตฐานการวิจัยข้อที่ 2 ว่า เซนเซอร์ค่าอัตราการใช้ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้งานอาคารซึ่งสัมพันธ์กับค่าคุณภาพอากาศภายในอาคารและ วิเคราะห์พฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคาร โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณในคำถาม ส่วนที่ 2 ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร มีผลสรุปข้อมูลดังต่อไปนี้

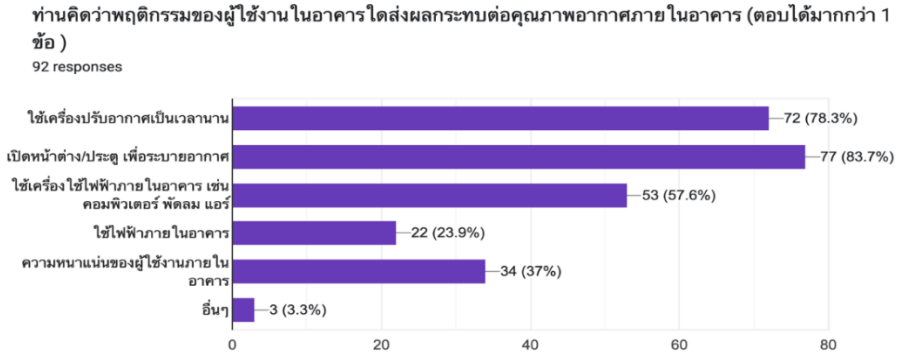
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 40 แผนภูมิที่ 1

แผนภูมิแสดงปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเห็นว่าส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

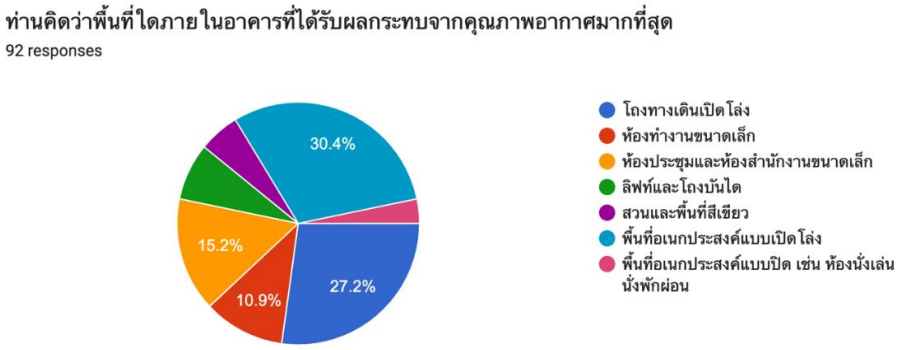
จากแผนภูมิที่ 1 ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร 3 อันดับแรกคือ ฝุ่น PM.2.5 96.7% มลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นควันจากรถยนต์ ควันพิษจากการเผาไหม้ 87% และเชื้อไวรัสโควิด-19 52.2% ตามลำดับ



ภาพที่ 41 แผนภูมิที่ 2

แผนภูมิแสดงพฤติกรรมของผู้ใช้งานในอาคารใดส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

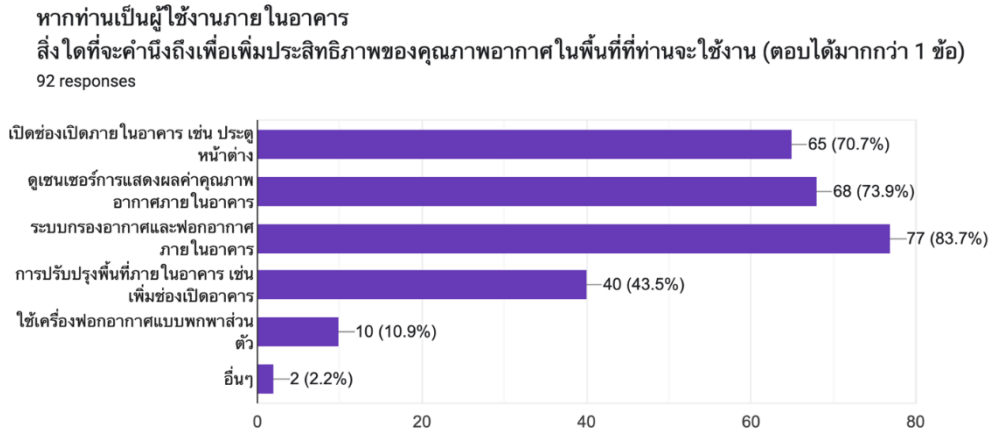
จากแผนภูมิที่ 2 พฤติกรรมของผู้ใช้งานในอาคารใดส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร 3 อันดับแรกคือ การใช้เครื่องปรับอากาศเป็นเวลานานคิดเป็น 78.3% เปิดหน้าต่าง/ประตู เพื่อระบายอากาศคิดเป็น 83.7% และการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร เช่น คอมพิวเตอร์ พัดลม หรือแอร์ภายในอาคาร คิดเป็น 57.6% ตามลำดับ



ภาพที่ 42 แผนภูมิที่ 3

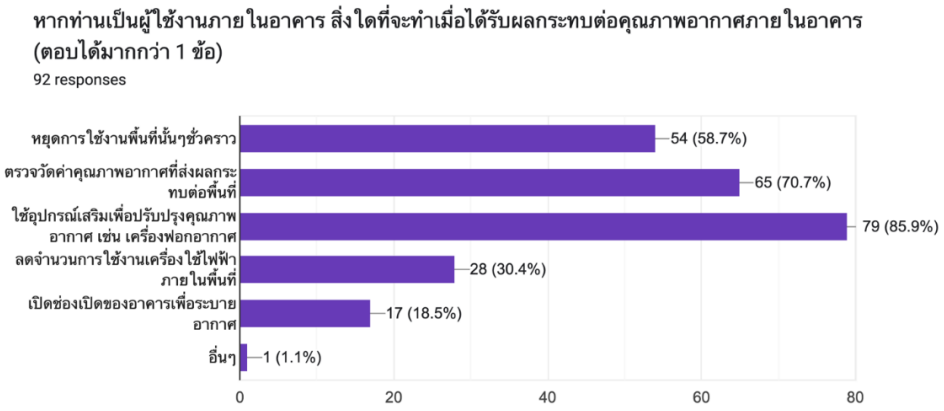
แผนภูมิแสดงพื้นที่ภายในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศมากที่สุด

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเห็นว่าพื้นที่ภายในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ พื้นที่อเนกประสงค์แบบเปิดโล่ง 30.4% โถงทางเดินเปิดโล่ง 27.2% และห้องประชุมและห้องสำนักงานขนาดเล็ก 15.2% ตามลำดับ



ภาพที่ 43 แผนภูมิที่ 4

แผนภูมิแสดงผู้ใช้งานภายในอาคาร คำนึงถึงสิ่งใดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพอากาศในพื้นที่



ภาพที่ 44 แผนภูมิที่ 5

แผนภูมิแสดงผู้ใช้งานภายในอาคาร คำนึงถึงสิ่งใดเมื่อได้รับผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

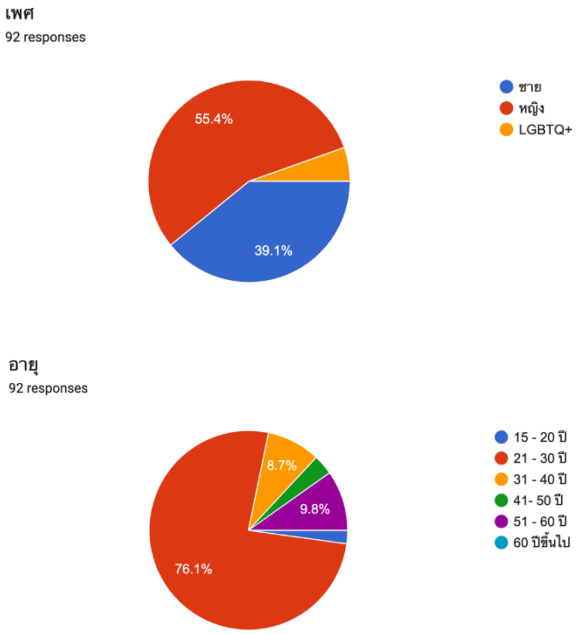
จากข้อมูลการสรุปในแผนภูมิที่ 4 และ แผนภูมิที่ 5 ผู้ใช้งานภายในอาคารมีความเข้าใจถึงการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ว่า สิ่งที่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศคือระบบกรองอากาศและระบายอากาศ 83.7% รวมถึง มีพฤติกรรมแนวโน้มที่จะใช้อุปกรณ์เสริมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพอากาศ เช่น เครื่องฟอกอากาศ ถึง 85.9%

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถาม

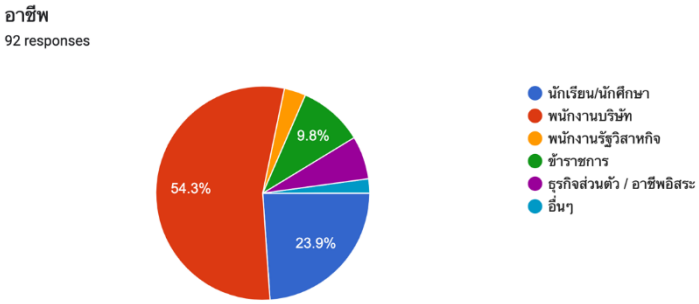
จากการทำแบบสอบถามเชิงปริมาณเพื่อทำการสำรวจในการวิจัยเรื่องความต้องการและการยอมรับนวัตกรรมของระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ จำนวน 92 ชุด โดยมีแบบสอบถามประกอบไปด้วยทั้งหมด 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 พฤติกรรมของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร และส่วนที่ 3 ความสนใจในนวัตกรรมของระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยประกอบไปด้วยข้อมูล เพศ อายุ อาชีพ พื้นที่อยู่อาศัย ประเภทที่อยู่อาศัยของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยสามารถสรุปเป็นแผนภูมิและอธิบายข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

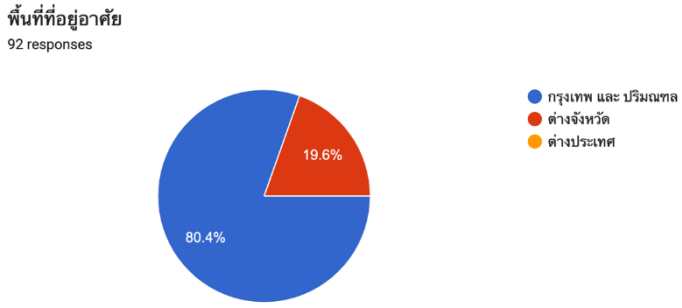


ภาพที่ 45 แผนภูมิที่ 6 แผนภูมิแสดงเพศและอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม



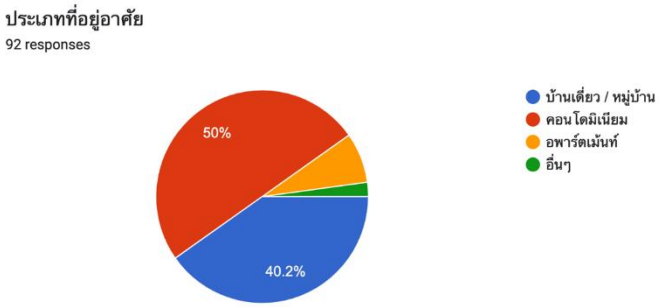
ภาพที่ 46 แผนภูมิที่ 7 แผนภูมิแสดงอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากแผนภูมิที่ 6 และ แผนภูมิที่ 7 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ประกอบอาชีพพนักงานบริษัท 54.3%โดยกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 21-30 ปี



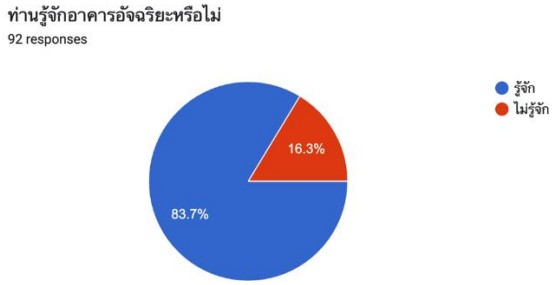
ภาพที่ 47 แผนภูมิที่ 8 แผนภูมิแสดงพื้นที่อยู่อาศัยของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากแผนภูมิที่ 8 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีพื้นที่อยู่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล คิดเป็น 80.4% และพื้นที่ต่างจังหวัด 19.6%



ภาพที่ 48 แผนภูมิที่ 9 แผนภูมิแสดงประเภทที่อยู่อาศัยของผู้ตอบแบบสอบถาม

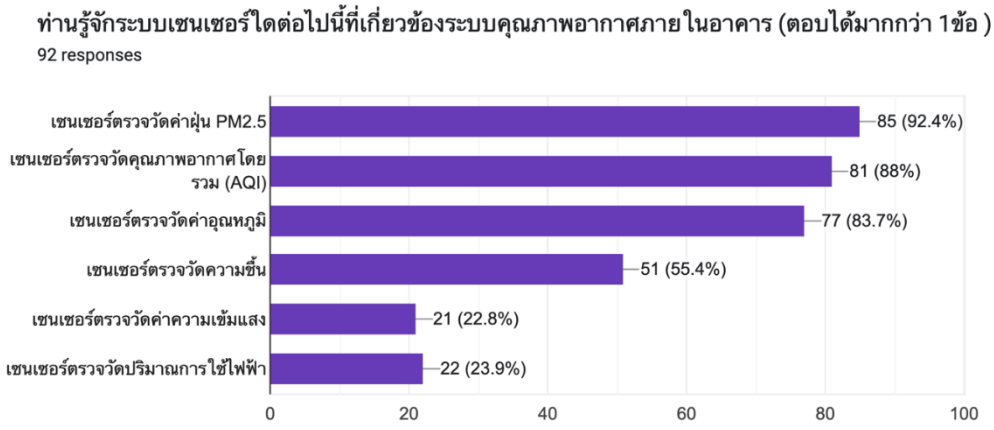
จากแผนภูมิที่ 9 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีประเภทที่อยู่อาศัยเป็นคอนโดมิเนียม คิดเป็น 50% บ้านเดี่ยว หมู่บ้าน คิดเป็น 40.2% และนอกเหนือจากนั้นคือประเภทที่อยู่อาศัยอื่น ๆ เช่น พอหักนักศึกษา เป็นต้น



ภาพที่ 49 แผนภูมิที่ 10 แผนภูมิแสดงคำตอบการรู้จักอาคารอัจฉริยะของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากแผนภูมิที่ 10 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้จักอาคารอัจฉริยะกว่า 83.7% โดยมีเพียง 16.3% ไม่รู้จักอาคารอัจฉริยะ

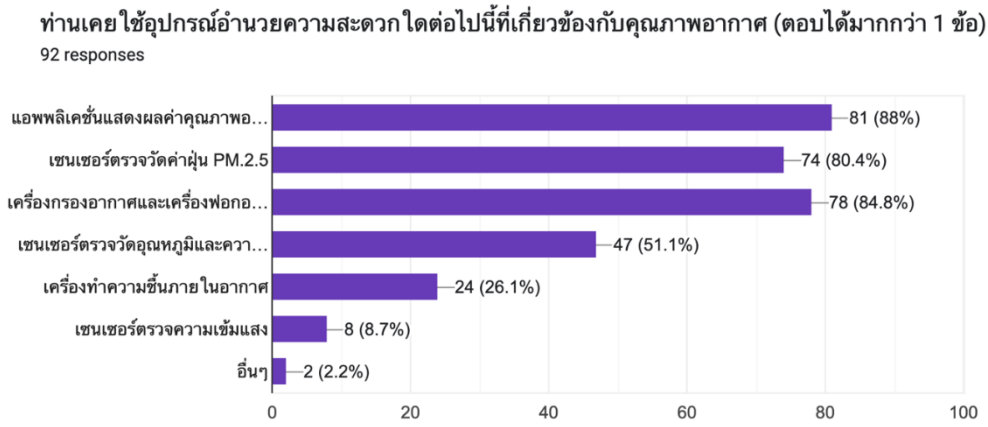
ส่วนที่ 2 พฤติกรรมของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร ประกอบไปด้วยการรู้จักระบบเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องระบบคุณภาพอากาศภายในอาคาร ปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเห็นว่าส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร และพื้นที่ภายในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศมากที่สุด โดยสามารถสรุปเป็นแผนภูมิและอธิบายข้อมูลได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 50 แผนภูมิที่ 11

แผนภูมิแสดงการรู้จักระบบเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องระบบคุณภาพอากาศภายในอาคารของผู้ตอบแบบสอบถาม

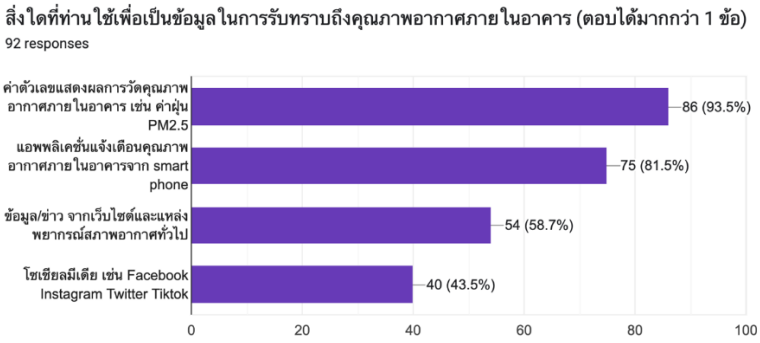
จากแผนภูมิที่ 11 ผู้ตอบแบบสอบถาม 92.4% รู้จักเซ็นเซอน์ตรวจวัดค่าฝุ่น PM2.5 และรองลงมาคือเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศโดยรวม (AQI) 88% และเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ 83.7% ตามลำดับ



ภาพที่ 51 แผนภูมิที่ 12

แผนภูมิแสดงการใช้อุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศของผู้ตอบแบบสอบถาม

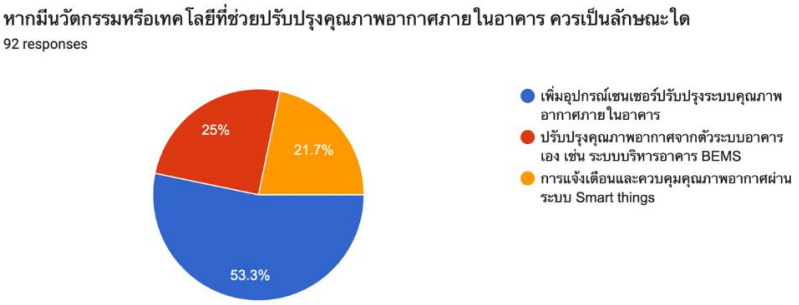
จากแผนภูมิที่ 12 ผู้ตอบแบบสอบถาม 88% ใช้แอพพลิเคชั่นแสดงผลค่าคุณภาพอากาศ (AQI) เซนเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น PM.2.5 คิดเป็น 80.4% และเคยใช้เครื่องกรองอากาศและเครื่องฟอกอากาศ 84.8% ตามลำดับ



ภาพที่ 52 แผนภูมิที่ 13

แผนภูมิแสดงสิ่งที่ใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการรับทราบถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

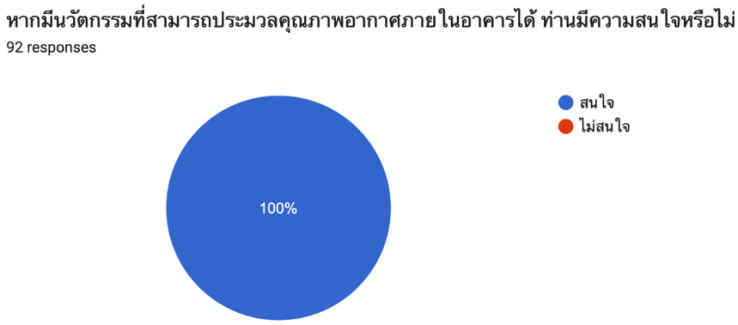
จากแผนภูมิที่ 13 ผู้ตอบแบบสอบถาม 93.5 มีความเห็นว่าการรับทราบถึงคุณภาพอากาศภายในอาคารมาจากค่าการวัดตัวเลขแสดงผลคุณภาพอากาศภายในอาคาร เช่น ค่าฝุ่น PM2.5 เป็นต้น



ภาพที่ 53 แผนภูมิที่ 14

แผนภูมิแสดงคำตอบนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

แผนภูมิที่ 14 แผนภูมิแสดงคำตอบของผู้ตอบแบบสอบถามในด้านนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร ควรเป็นลักษณะใด โดยผู้ตอบแบบสอบถามอยาก เพิ่มอุปกรณ์เซนเซอร์ปรับปรุงระบบคุณภาพอากาศภายในอาคาร การแจ้งเตือนและควบคุมคุณภาพอากาศผ่านระบบ Smart things ปรับปรุงคุณภาพอากาศจากตัวระบบอาคารเอง เช่น ระบบบริหารอาคาร BMS

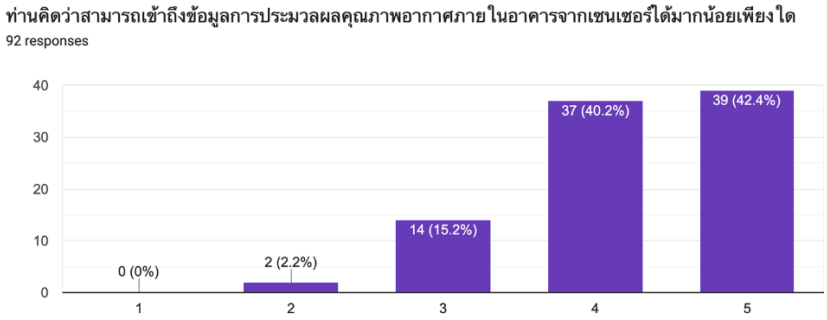


ภาพที่ 54 แผนภูมิที่ 15

แผนภูมิที่ 15 หากมีนวัตกรรมที่สามารถประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ ท่านมีความสนใจหรือไม่

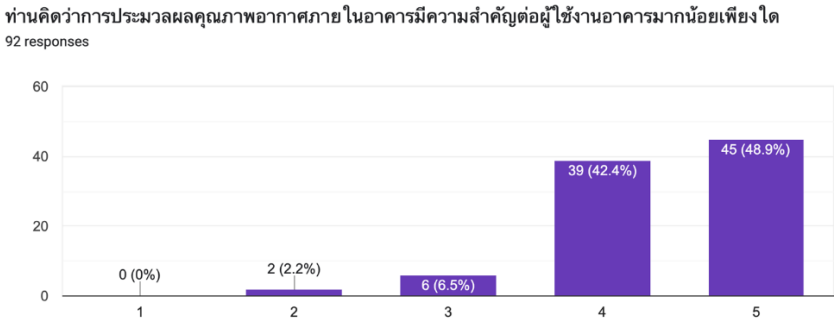
จากการตอบแบบสอบถาม ผู้ตอบแบบสอบถาม 100% มีความสนใจในนวัตกรรมที่สามารถประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ส่วนที่ 3 ความสนใจในนวัตกรรมของระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ ประกอบไปด้วยการประเมินความสามารถเข้าถึงข้อมูลการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ การประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีความสำคัญต่อผู้ใช้งานอาคาร และความสนใจในนวัตกรรมของการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารดีขึ้นโดยเป็นผลมาจากระบบการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยสามารถสรุปเป็นแผนภูมิและอธิบายข้อมูลได้ดังต่อไปนี้



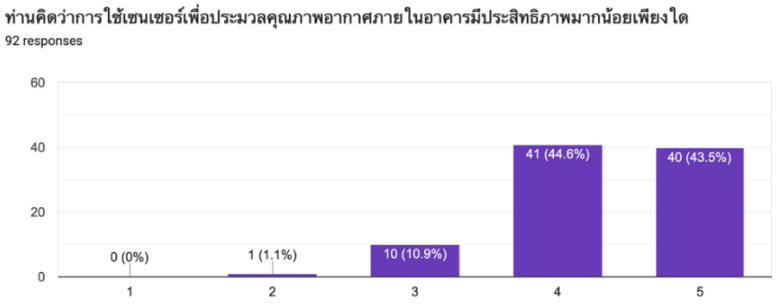
ภาพที่ 55 แผนภูมิที่ 16

แผนภูมิที่ 16 ท่านคิดว่าสามารถเข้าถึงข้อมูลการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ได้มากน้อยเพียงใด



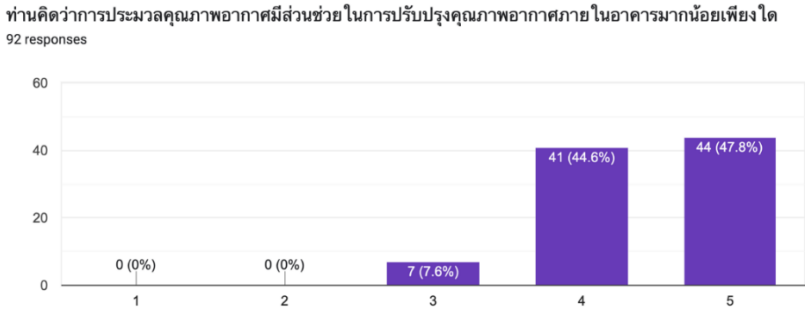
ภาพที่ 56 แผนภูมิที่ 17

แผนภูมิที่ 17 ท่านคิดว่าการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารมีความสำคัญต่อผู้ใช้งานอาคารมากน้อยเพียงใด



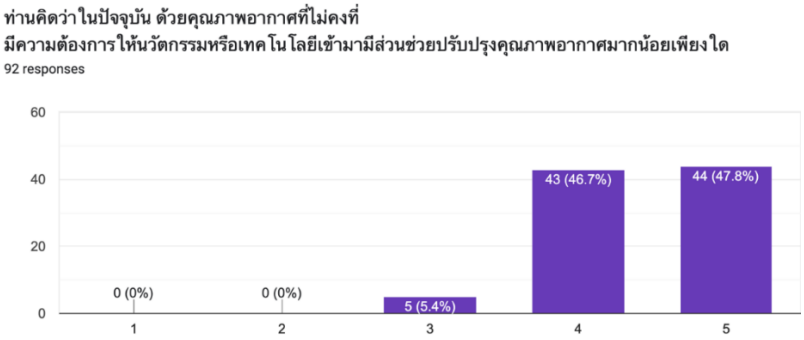
ภาพที่ 57 แผนภูมิที่ 18

แผนภูมิที่ 18 ท่านคิดว่าการใช้เซนเซอร์เพื่อประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด



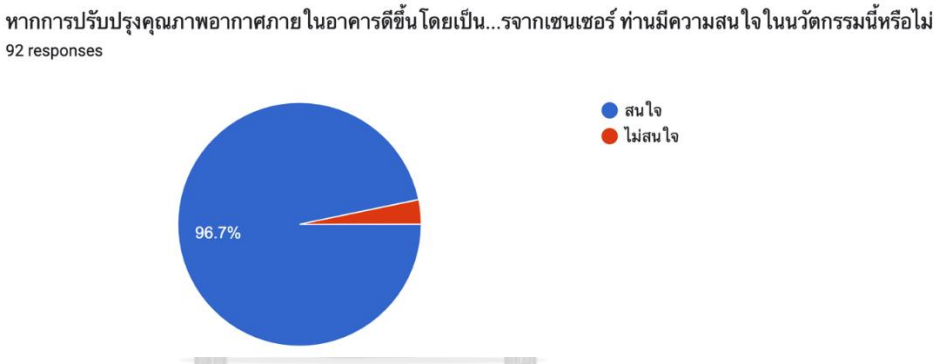
ภาพที่ 58 แผนภูมิที่ 19

แผนภูมิที่ 19 ท่านคิดว่าการประมวลคุณภาพอากาศมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 59 แผนภูมิที่ 20

แผนภูมิที่ 20 ท่านคิดว่าในปัจจุบัน ด้วยคุณภาพอากาศที่ไม่คงที่ มีความต้องการให้นวัตกรรมหรือเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 60 แผนภูมิที่ 21

แผนภูมิที่ 21 หากการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารดีขึ้นโดยเป็นผลมาจากระบบการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ ท่านมีความสนใจในนวัตกรรมนี้หรือไม่

จากการตอบแบบสอบถามผู้ตอบแบบสอบถาม 96.7 % มีความสนใจในนวัตกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ หากมีการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

บทที่ 5
การประเมินศักยภาพทางตลาด

5.1 การวิเคราะห์สถานการณ์ตลาดปัจจุบัน

ขนาดตลาดอาคารอัจฉริยะทั่วโลกมีมูลค่า 69.80 พันล้านดอลลาร์ในปี 2564 และคาดว่าจะสูงถึง 201.16 พันล้านดอลลาร์ภายในปี 2574 เติบโตที่ CAGR 11.3% ระหว่างปี 2565 ถึง 2574 ในส่วนขนาดตลาดเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะทั่วโลกจะเติบโตมากกว่า 11.5% CAGR จนถึงปี 2569 โดยเป็นเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมภายในจากโครงสร้างพื้นฐานเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ยังได้รับความนิยมสูงในกลุ่มที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน และอาคารสาธารณะ เนื่องจากปัจจุบัน ผู้บริโภคมีความระมัดระวังมากขึ้นต่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ส่วนฝั่งเอเชียแปซิฟิก CAGR มีอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วถึง 11.9% จากปี 2021 ถึง 2026 แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในการนำโครงสร้างพื้นฐานที่ผสานกับเทคโนโลยี AI มาใช้พร้อมกับอุตสาหกรรมนี้ด้วย

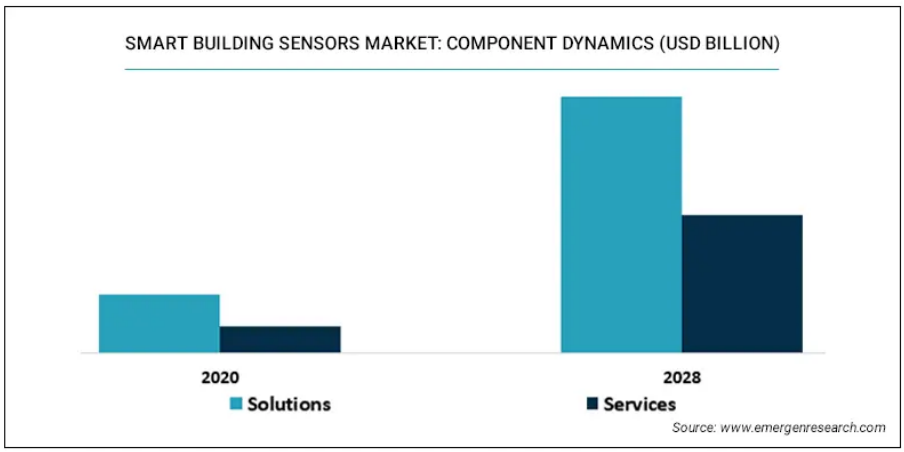
5.1.1 ส่วนแบ่งทางการตลาด (Market size and Market share)

ส่วนแบ่งทางการตลาดของเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะของบริษัททั่วโลกมีการแข่งขันเกิดขึ้นจากการจดจำแบรนด์และความน่าเชื่อถือเป็นปัจจัยหลักในการรวมตลาด มีส่วนแบ่งตลาด 53.1% ในปี พ.ศ. 2564 และคาดว่าจะครองตลาดภายในปี พ.ศ. 2573 ในอาคารพาณิชย์ เซ็นเซอร์อาคารและระบบ IoT ขั้นสูงได้รับการติดตั้งในอาคารพาณิชย์อัจฉริยะเป็นส่วนใหญ่ เพื่อรวบรวมข้อมูลจากระบบอาคารและระบบย่อยต่างๆ ผู้ควบคุมอาคารสามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อปรับปรุงการดำเนินงานและการบำรุงรักษาอาคารโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้สามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อปรับปรุงการควบคุมอาคารและทำหน้าที่จัดการอาคารที่สำคัญโดยอัตโนมัติ เช่น ความร้อนและแสงสว่าง และค้นพบความไร้ประสิทธิภาพในการดำเนินการในการก่อสร้างประโยชน์เหล่านี้ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีขั้นสูงในอาคารพาณิชย์จะช่วยผลักดันความต้องการอาคารอัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้ลงทุนในตลาดอุตสาหกรรมนี้จะสังเกตได้ว่าจะลงทุนทรัพยากรในด้านการวิจัยและพัฒนา (R&D) เพื่อสนับสนุนการเติบโตและปรับปรุงการดำเนินธุรกิจภายใน เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในตลาดให้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เพื่อให้ได้ลูกค้าใหม่และจับส่วนแบ่งการตลาดมากขึ้น

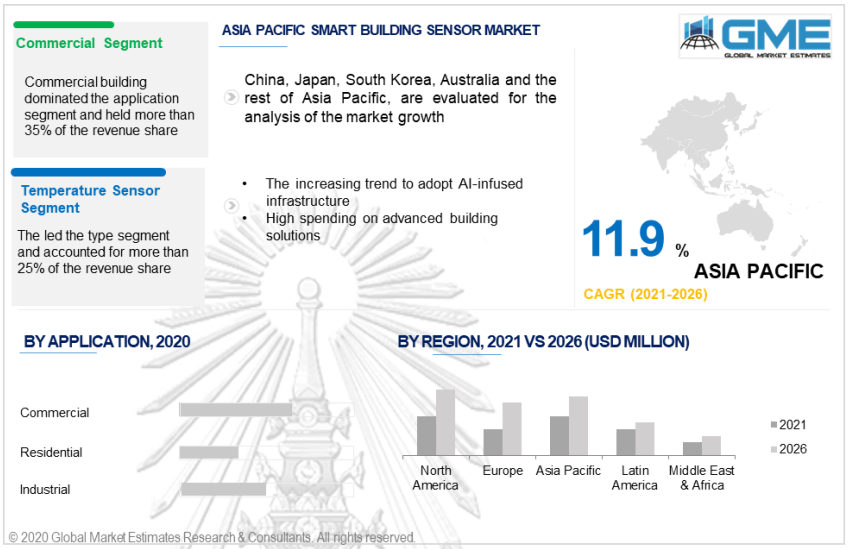
ภาพที่ 61 ภาพรวมตลาดโลกของกลุ่มธุรกิจในอุตสาหกรรมอาคารอัจฉริยะ



ภาพที่ 62 ภาพรวมความสนใจต่อเทคโนโลยีเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะ

จากการวิเคราะห์ของสถาบัน McKinsey Global Institute พบว่า มูลค่าตลาดที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอาคารมี มูลค่าสูงถึง 6 ล้านล้านเหรียญ ($6 trillion) โดยแบ่งออกเป็นระบบเซนเซอร์และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ระบบเครือข่ายแสงสว่าง ระบบปรับสภาพ

อากาศ (HVAC) ระบบรักษาความปลอดภัย และการควบคุมการเข้าถึง รวมทั้งการเข้าถึง การควบคุมพลังงาน และการตรวจสอบ การเข้าถึงภายในอาคาร นอกจากนี้ การรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในอาคารและนำประมวลผลภาพควบคู่กับสภาพอากาศภายนอกอาคารสามารถลดสูญเสียพลังงานที่พบบ่อยในอาคารได้มากถึง 30 %



ภาพที่ 63 ภาพรวมตลาดในเอเชียแปซิฟิกของเซนเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ

5.1.2 การตลาดสำหรับชุดข้อมูลเซ็นเซอร์ในอาคารอัจฉริยะ (Smart Building Sensors data)

ข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยเซ็นเซอร์ในอาคารอัจฉริยะมีค่าไม่เพียงแต่เป็นประโยชน์ ต่อเจ้าของอาคาร ผู้เช่า และผู้อาศัยเท่านั้น แต่ยังรวมถึงบุคคลที่สาม เช่น นักวิจัยและสถาปนิก ด้วย บุคคลที่สามเหล่านี้พึ่งพาข้อมูลมากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบอาคาร ความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และกระบวนการต่างๆ กรณีการใช้งานที่เกิดขึ้นใหม่สำหรับข้อมูลเซนเซอร์จากอาคารมีนัยสำคัญสองประการ ประกอบไปด้วย

1. เมื่อปริมาณเซ็นเซอร์ในอาคารเพิ่มขึ้น ศักยภาพในการได้รับประโยชน์จากข้อมูลที่เซ็นเซอร์สร้างขึ้นก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน
2. กลุ่มผู้ที่อยู่ในฐานะที่ต้องการรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ภายในอาคารได้ จะอยู่ในฐานะที่จะแบ่งปันข้อมูลนั้นกับบุคคลที่สาม ซึ่งอาจสร้างผลกำไรได้เช่นกัน

ด้วยมูลค่าและปริมาณของข้อมูลเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะในปัจจุบันอยู่ในช่วงการเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งฝั่งซื้อและฝั่งขายของตลาดมีศักยภาพในการเข้าร่วมในตลาดประมูลสำหรับข้อมูลเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะ ทำให้ข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยเซ็นเซอร์ในอาคารอัจฉริยะได้พิสูจน์ว่ามีคุณค่าต่อบุคคลที่สาม

ข้อมูลดิบที่ได้จากเซ็นเซอร์ของอาคารเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะสร้างการคาดการณ์ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำได้ซึ่งจำเป็นต่อการปรับปรุงระบบอาคารอัจฉริยะ ชุดข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับข้อมูลเชิงลึกที่เป็นประโยชน์มากที่สุด การวิจัยแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกัน ซึ่งรวมข้อมูลจากอาคารที่คล้ายกันจำนวนหนึ่งเพื่อการวิเคราะห์ โอกาสในตลาดข้อมูลเซ็นเซอร์อาคารแบบ Peer to Peer ซึ่งอาคารอัจฉริยะมีศักยภาพมหาศาลในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของผู้ใช้งานอาคาร ปรับปรุงสุขภาพและความปลอดภัย และลดการใช้ทรัพยากร ข้อมูลที่รวบรวมจากเซ็นเซอร์ในอาคารมีความสำคัญต่อการสนับสนุนการปรับปรุงที่ทำให้อาคาร "ฉลาด" ข้อมูลดังกล่าวมีการเติบโตทั้งในปริมาณและความสำคัญ และจะยังคงเติบโตต่อไปด้วยการปรับปรุงด้านเทคโนโลยี สิ่งจูงใจทางการเงินก็จะสอดคล้องกับประโยชน์ใช้สอยและมูลค่าของข้อมูลเซ็นเซอร์จากอาคารอีกด้วย

5.1.3 ผลกระทบจากโควิดของอาคารอัจฉริยะ

ในแง่ของผลกระทบจากโควิด-19 รายงานตลาดอาคารอัจฉริยะมีการรวมปัจจัยข้อมูลดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- โควิด-19 เป็น ผลกระทบต่อขนาดตลาดของอาคารอัจฉริยะ
- แนวโน้มเทรนด์ผู้ใช้ปลายทาง (End-User)/อุตสาหกรรม/การประยุกต์บูรณาการและการตั้งค่าของระบบอาคารอัจฉริยะ
- นโยบายรัฐบาล/กรอบการกำกับดูแล
- กลยุทธ์ผู้เล่นหลักเพื่อรับมือกับผลกระทบเชิงลบ/กลยุทธ์ทางเศรษฐกิจหลังโควิด
- โอกาสในตลาดของอาคารอัจฉริยะ

ผลกระทบก่อนและหลัง โควิด-19 ในตลาดเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะทั่วโลกมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆและเริ่มลงตัวหลังจากการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19มากขึ้น นอกจากนี้ผลกระทบอื่นๆที่ตามมา คือความล่าช้าในการผลิตและห่วงโซ่

อุปทานยังพบเห็นได้ในช่วงหลัง ซึ่งสร้างความท้าทายให้กับตลาดเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะ เนื่องจากอุตสาหกรรมของผู้ใช้ปลายทางยังดำเนินการได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเท่าที่ควร รวมถึงปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย

5.1.4 กลุ่มเป้าหมายสำหรับการซื้อข้อมูลเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะ

ข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยเซ็นเซอร์ในอาคารเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างข้อมูลเชิงลึกที่สามารถปรับปรุงการออกแบบอาคารได้ และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เป็นบุคคลที่สามที่หลากหลายสามารถได้รับคุณค่าจากข้อมูลเซ็นเซอร์ของอาคาร ตัวอย่างเช่น สถาปนิกสามารถใช้ข้อมูลการทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ (HVAC) ที่รวบรวมจากเซ็นเซอร์ในอาคารที่มีอยู่เพื่อออกแบบอาคารที่ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เป็นบุคคลที่สามอื่นๆ ที่ต้องการข้อมูลเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะจำนวนมาก ได้แก่

- ผู้ให้บริการโซลูชันการวิเคราะห์
- นักพัฒนาซอฟต์แวร์อาคารอัจฉริยะ
- นักวิจัย
- หน่วยงานรัฐบาล
- วิศวกรอาคาร กรณีการใช้งานที่เป็นไปได้ของข้อมูลเซ็นเซอร์จากอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.5 การวิเคราะห์คู่แข่ง (Competitor's Analysis)

บริษัทที่มีชื่อเสียงและเป็นที่รู้จักมีแนวโน้มในการแข่งขันตลาดเซ็นเซอร์อาคารอัจฉริยะทั่วโลกมีการแยกส่วนพอสมควร โดยแบ่งเป็นบริษัทขนาดใหญ่และขนาดกลางจำนวนหนึ่งบริษัทที่ทำบัญชีสำหรับรายได้ส่วนใหญ่ของตลาด บริษัทยักษ์ใหญ่ส่วนใหญ่กำลังปรับใช้กลยุทธ์ต่างๆเข้าสู่การควบรวมกิจการ ในส่วนข้อตกลงเชิงกลยุทธ์และสัญญา การพัฒนา การทดสอบ และการแนะนำเทคโนโลยีการตรวจจับที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างบริษัทที่อยู่ในอุสาหกรรมการแข่งขันด้านการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์อาคาร ที่เป็น Building Technology เช่น Cisco, Honeywell, Hitachi, IBM,

Legrand, Johnson Controls, Schneider Electric, Panasonic, Siemens, Huawei Technologies Co Ltd, Verdigris Technologies, SOFTDEL, ABB Smart Building Solutions, Intellinium, REXEL, Intel Corporation, L&T Technology Services, Spacewell, IGOR, และ 75F ซึ่งเป็นกลุ่มผู้มีส่วนร่วมในอุตสาหกรรมด้านนี้ที่มีความชำนาญและโดดเด่นในด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม

ภาพที่ 64 ตัวอย่างแบรนด์ที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรม Building Technology

5.2 การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายนอก (PESTEL Analysis)

จากการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายนอกมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอาคาร โดยผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายนอกผ่าน การวิเคราะห์ PESTEL ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อเทคโนโลยีและนวัตกรรมในอุตสาหกรรมนี้ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ปัจจัยทางด้านการเมือง (Political)

จากปัจจัยทางการเมืองที่มีความสำคัญต่อธุรกิจในอุตสาหกรรมนี้ เป็นด้านความเสี่ยงและความไม่มั่นคงทางสถานการณ์ทางการเมืองในปัจจุบัน ซึ่งจะส่งผลให้ธุรกิจในด้านของการลงทุนของผู้ประกอบการทั้งในและต่างประเทศ ทั้งนี้รวมถึงความมั่นคงของรัฐบาลในด้านการควบคุมกิจสถานการณ์บ้านเมืองและเศรษฐกิจของประเทศ ที่อาจส่งผลกระทบต่อกลุ่มธุรกิจที่กำลังอยู่ในช่วงพัฒนาและเริ่มเติบโต ไม่ว่าจะเป็นปัจจัย เช่น การเกิดความรุนแรงทางการเมือง การประท้วงชุมนุม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางการเมือง หรือการปรับเปลี่ยนโครงสร้างนโยบายของรัฐบาลในด้านต่างๆ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ปัจจัยด้านนโยบายของรัฐบาลต่างๆก็เป็นส่วนส่งเสริมหรืออาจเป็นความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในการดำเนินธุรกิจได้ ไม่ว่าจะเป็น นโยบายในการจัดเก็บภาษี นโยบายทางด้านกฎหมายของรัฐบาล แนวคิดทางเศรษฐกิจของรัฐบาลในแง่ของการกระจายความมั่งคั่งให้กับประชาชนอย่างทั่วถึง รวมถึงนโยบายทางการค้า หรือกลยุทธ์การเปลี่ยนแปลงนโยบายต่างๆให้สอดคล้องเพื่อส่งเสริมการเติบโตของธุรกิจได้

5.2.2 ปัจจัยด้านทางเศษฐกิจ (Economic)

ทางด้านเศรษฐกิจก็เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราเงินเฟ้อ ราคาสินค้าที่มีความผันผวนสูงของทุกอุตสาหกรรมได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ จากการระบาดของ COVID-19 ในต้นปี 2564 การเติบโตทางเศรษฐกิจหยุดชะงักลง ส่งผลต่อสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศไม่ว่าจะเป็น อัตราการว่างงานสูงขึ้นและอัตราการจ้างงานลดลง เพื่อลดต้นทุนของผู้ประกอบการ แต่ในขณะเดียวกันการนำเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมมาแทนที่การทำงานของมนุษย์ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ธุรกิจส่วนใหญ่สนใจเพื่อนำมาลดต้นทุนในช่วงที่เกิดวิกฤตเศรษฐกิจขึ้นเช่นกัน

5.2.3 ปัจจัยด้านสังคม (Social)

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแนวโน้มของตลาดอาคารอัจฉริยะ เช่น ประชากรสูงอายุ ความหลากหลายทางทัศนคติและความคิดของเทรนด์ ไลฟสไตล์ในปัจจุบัน มีผลต่อการดำเนินธุรกิจในกลุ่มอุตสาหกรรมเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของผู้ใช้งานอาคาร ด้วยการพัฒนาการเข้าถึงและความรู้ ความเข้าใจด้านเทคโนโลยีของคนที่มีเพิ่มขึ้น การคำนึงถึงความต้องการของผู้ใช้งานอาคารในด้านสุขภาพและความปลอดภัย เป็นปัจจัยที่สำคัญ และคุณภาพและการส่งเสริมด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดการใช้งานพลังงานอาคาร เป็นปัจจัยรองลงมา การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วของสังคมทำให้พฤติกรรมคนมีแนวโน้มใช้พื้นที่อยู่ภายในอาคารเกือบตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของโรคระบาดและมุมมองต่อความจำเป็นในการใช้งานเทคโนโลยีในชีวิตประจำวันก็มีผลโดยตรงต่อกำลังซื้อของผู้บริโภคดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งอาจขัดขวางความต้องการของการพัฒนาเทคโนโลยีนวัตกรรมอาคารอัจฉริยะตามที่ผู้คนมีแนวโน้มเพื่อมุ่งเน้นการใช้จ่ายทางการเงินกับสิ่งจำเป็นพื้นฐานของชีวิตก่อน

5.2.3 ปัจจัยด้านเทคโนโลยี (Technology)

เทคโนโลยีที่มีต่อตลาดอาคารอัจฉริยะส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นรูปแบบของการพัฒนาและวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรมเพื่อนำมาต่อยอดผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ซึ่งการพัฒนาของตลาดนี้เชื่อมโยงกับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเนื้อแท้ของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดนวัตกรรมของผลิตภัณฑ์และบริการใหม่ ได้รับการจัดเตรียมสำหรับอาคารอัจฉริยะที่กำลังเป็นความน่าสนใจในการลงทุนกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ในอนาคต โดยเจาะตลาดจากเทรนด์ด้านเทคโนโลยีที่ได้รับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความนิยมที่ผ่านมาและความก้าวหน้าในระบบ เช่น การเรียนรู้ของเครื่อง Artificial Intelligence, การวิเคราะห์ข้อมูล (Big Data), Cloud computing , IoT, เครือข่าย 5G, การประมวลผลและอื่น ๆ อีกมากมายเพื่อขับเคลื่อนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และโซลูชั่นสำหรับอาคารอัจฉริยะใหม่ ความต้องการของตลาดและแรงจูงใจในการการพัฒนาวิธีใหม่ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารก็มีมากเช่นกัน ความหลากหลายของการประยุกต์อาคารอัจฉริยะมีมากมายและเติบโตสูงขึ้นในแต่ละวัน ดังนั้น การร่วมกันในสถาปัตยกรรมและเทคโนโลยีอาคารเพื่อใช้ประโยชน์เป็นสิ่งที่คนให้ความสนใจมาก

ภาพที่ 65 รูปแบบการประยุกต์ใช้ IoT สำหรับอาคารอัจฉริยะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.4 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมก็เป็นส่วนที่คนให้ความสำคัญในปัจจุบัน มีอิทธิพลมากขึ้นในทุกอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมอสังหาริมทรัพย์ ความต้องการของผู้ใช้งานอาคารและความต้องการของตลาดสำหรับผลิตภัณฑ์และโซลูชั่นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีเพิ่มมากขึ้น โดยเป็นเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ในด้านพลังงานสะอาด การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การลดการใช้พลังงานและลดการผลิตสารก่อมลพิษทางอากาศ โดยทางรัฐบาล บริษัท และองค์กรต่างพยายามรณรงค์สิ่งนี้ทั่วโลก ซึ่งโดยรวมทั้งปัจจัยทางการเมือง เศรษฐกิจ และสังคม เป็นแรงจูงใจในการลงทุนที่มีความก้าวหน้าด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

5.2.5 ปัจจัยด้านกฎหมาย (Legal)

ด้านกฎหมายที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมนี้มีไม่มากนัก แต่มีความสำคัญที่ต้องตระหนัก เช่น กฎหมายแรงงาน กฎหมายการจ้างงาน เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อเนื่องจากการนำเทคโนโลยีมาแทนที่ รวมถึงกฎหมายคุ้มครองผู้บริโภคที่มีความสำคัญต่อแง่มุมของตลาดอาคารอัจฉริยะ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้งานอาคาร เนื่องจากอสังหาริมทรัพย์ดิจิทัลกำลังจะเข้ามาเกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่แตกต่างกันหลายคนและแหล่งที่มาและผู้ใช้ข้อมูลที่แตกต่างกันทั้งหมด

5.3 การวิเคราะห์สภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม (5 Forces Analysis)

5.3.1 อำนาจต่อรองของผู้จำหน่ายวัตถุดิบ (The bargaining power of suppliers)

"ปานกลาง" เทคโนโลยีอาคาร หรือ Building technology ที่มีความเฉพาะ เช่น เซนเซอร์สำหรับอาคารอัจริยะ มีการใช้เทคโนโลยีในระดับที่สามารถเข้าถึงได้ในปัจจุบันเนื่องจากมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในชีวิตปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีมีความจำเพาะเฉพาะส่วนทำให้ยากที่จะสามารถลอกเลียนแบบหรือนำมาใช้ได้อย่างง่าย

5.3.2 อำนาจต่อรองของลูกค้า (The bargaining power of buyers)

"สูง" เนื่องจากการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์นำมาต่อยอดพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ดีขึ้น และความหลากหลายของตัวเลือกสำหรับผู้ใช้งานยังคงมีไม่มากนัก ทำให้อำนาจการต่อรองของลูกค้ามีไม่สูงมาก ด้วยข้อจำกัดด้านความเฉพาะของเทคโนโลยีและความต้องการหรือความสนใจในเทคโนโลยีหรือนวัตกรรม ณ ขณะนั้นด้วยเช่นกัน

5.3.3 ภัยคุกคามจากผู้ประกอบการรายใหม่ (Threat of new entrants)

"ปานกลาง" ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีและวิจัยในการผลิตหรือคิดค้นนวัตกรรมใหม่นี้อาจต้องใช้การลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาจำนวนหนึ่ง นอกจากนี้อาจต้องใช้ระยะเวลาในการพัฒนาให้เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมนั้นประสบความสำเร็จและสามารถนำมาใช้ได้จริง รวมถึงความแข็งแกร่งในความเชื่อถือ การเป็นที่รู้จักและไว้วางใจในผลิตภัณฑ์ของแบรนด์ต้องใช้ระยะเวลาระดับหนึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3.4 คู่แข่งในอุตสาหกรรมที่มีอยู่เดิม (Industry Rivalry among existing firms)

"สูง" จากคู่แข่งขันที่ได้กล่าวไปในส่งการวิเคราะห์คู่แข่งขัน แบรนด์คู่แข่งได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักเป็นจำนวนมาก รวมถึงศักยภาพและความสามารถ ในการคิดสร้างผลิตภัณฑ์หรือบริการมีสูง และสามารถทำให้ได้ประสบความสำเร็จโดยใช้ระยะเวลาไม่นาน ด้วยปัจจัยทางการเงิน ทรัพยากรขององค์กร ความแข็งแกร่งของแบรนด์ และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องส่งเสริมให้ธุรกิจง่ายต่อการประสบผลสำเร็จด้วย

5.3.5 ภัยจากสินค้าหรือบริการทดแทน (Threat of substitute products or services)

"ต่ำ" ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่มีความสามารถและศักยภาพมาแทนที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการเดิมได้อย่างง่าย แต่อย่างไรก็ตามความเฉพาะและเทคนิคกลยุทธ์วิธีในการวิจัยหรือพัฒนา รวมถึงคิดค้นสิ่งใหม่ขึ้นมาทดแทนยังคงไม่สามารถทดแทนสิ่งเดิมได้ทั้งหมด นอกจากนี้อาจต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อสามารถแทนหรือเทียบเท่าสิ่งที่มีอยู่เดิมได้

5.4 การวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายใน (SWOT Analysis)

5.4.1 จุดแข็ง (Strengths)

(1) ข้อมูล (Big Data) มีศักยภาพจากการที่เชื่อมต่อกันของภายในระบบบริหารจัดการอาคารจากการระบบประมวลผลเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศของอาคารด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัยของอาคารอัจฉริยะอย่างมีประสิทธิภาพและไม่สูญเปล่า ซึ่งอาจรวมถึงการปรับแสงและอุณหภูมิโดยอัตโนมัติตามเวลาของวันและสภาพอากาศ โดยเครื่องมือบางอย่างสามารถให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์เกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นในอาคารได้ทันที

(2) เทรนด์ด้านการลงทุนในส่วนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางอุตสาหกรรมเทคโนโลยีอาคารเป็นหนึ่งในสิ่งที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันและมีแนวโน้มเติบโตอย่างยั่งยืน

(3) การใช้ประโยชน์จากการรวบรวมข้อมูลจากระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในอาคารหสร้างความสะดวกสบายและอำนวยความสะดวกโดยให้ความสำคัญต่อผู้ใช้งานอาคารเป็นอันดับแรก นอกจากนี้ข้อมูลจะช่วยปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ HVAC และระบุปัญหาการบำรุงรักษาก่อนที่จะกลายเป็นปัญหาร้ายแรง

(4) ผู้ใช้งานอาคารมีความสะดวกสบาย ปลอดภัย รวมถึงการเสริมสร้างสุขภาวะที่ดีและมีคุณภาพให้กับอาคาร

(5) การต่อยอดเทคโนโลยีและนวัตกรรมสามารถพัฒนาต่อไปได้หลากหลายรูปแบบ เนื่องจากเทคโนโลยีสามารถเข้าถึงได้ง่าย เช่น สร้างแพลตฟอร์มบริหารจัดการข้อมูลผ่าน IoT หรือทั้งรูปแบบซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ Smart things พัฒนาตัวเซนเซอร์อาคาร เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการต่อยอดให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีไปได้ มีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

(6) ช่วยให้เจ้าของหรือผู้จัดการอาคาร ประหยัดการใช้พลังงานและค่าบำรุงรักษา และลดเวลาการหยุดทำงานหรือลดการใช้งานอาคารของผู้ใช้งานอาคารอันเนื่องมาจากผลกระทบจากคุณภาพอากาศที่ส่งผลต่อสุขภาพ รวมถึงลดต้นทุนในการบริหารจัดการทรัพยากรอาคาร

5.4.2 จุดอ่อน (Weaknesses)

(1) รูปแบบการให้บริการหรือรูปแบบธุรกิจสามารถถูกลอกเลียนแบบได้โดยง่าย เนื่องจากเทคโนโลยีที่ใช้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายและหลากหลายในปัจจุบัน

(2) กระแส disruptive change ในอุตสาหกรรม Technology IoT เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอาจเกิดความเสี่ยงในการดำเนินธุรกิจและเกิดการแข่งขันสูง

(3) ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาปรับปรุงระบบ หรือ การพัฒนาเทคโนโลยีอาจมีค่าใช้จ่ายสูง

(4) ในปัจจุบันมีทางเลือกต่อสินค้าที่หลากหลาย รวมถึงสินค้าทดแทน

(5) ตลาดด้านเซนเซอร์ภายในประเทศค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับตลาดโลก

(6) บุคคลากรและนักวิจัยพัฒนาที่เฉพาะทางอาจยังไม่มากพอเพื่อเสริมสร้างเครือข่ายและพัฒนาอย่างยั่งยืน

(7) ยังขาดการประยุกต์และบูรณาการในการนำเทคโนโลยีที่มีอยู่หรือ กำลังทดลองพัฒนา ต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.4.3 โอกาส (Opportunities)

(1) สำหรับโอกาส เราสามารถแยกแยะปัจจัยต่างๆ เช่น การผสานรวมแพลตฟอร์ม โมเดลธุรกิจใหม่ที่ดึงมาจากหลักการของเศรษฐกิจแบ่งปันได้ เช่น การใช้งานอุปกรณ์พกพาที่เพิ่มขึ้นผ่าน IoT และ Smart Things ซึ่งในปัจจุบันระบบ Smart Home จะใช้งานอยู่ในขณะนี้อีกด้วย

(2) การแพร่ระบาดใหญ่ของโรค COVID-19 ได้เพิ่มความต้องการและความสำคัญของการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับสุขสภาวะที่ดีและสุขภาพได้รับความนิยมและความสนใจเป็นอย่างมาก

(3) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและความต้องการทางตลาดเพิ่มขึ้น

(4) การยอมรับของผู้ใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์และความรู้ความเข้าใจมีมากขึ้น

(5) การเติบโตของตลาดและผู้ใช้งานมีมากขึ้นทั่วโลก

5.4.4 อุปสรรค (Threats)

(1) ภัยคุกคามรวมถึงผลิตภัณฑ์ Outsource และนักพัฒนาที่อาจสร้างการแข่งขันที่นำเสนอผลิตภัณฑ์เดียวกันในราคาที่ต่ำกว่าหรือเป็นศูนย์ได้ด้วยการซื้อขายและการสื่อสารแบบ P2P และการสร้างความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ออกมาได้อย่างหลากหลายและรวดเร็วได้ง่าย ตลอดจนการเชื่อมต่อระบบและข้อมูลแบบประยุกต์ API (Application Programming Interface) แบบเปิด

(2) การเปลี่ยนแปลงของกฎข้อบังคับ อุปสรรคในการปฏิบัติงาน และการเกิดขึ้นของเทคโนโลยีทางเลือกมีแนวโน้มส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ

(3) ภัยจากการแข่งขันในตลาดของกลุ่มอุตสาหกรรมเดิมมีการแข่งขันสูง ด้วยปัจจัยนี้อาจส่งผลต่อราคา คุณภาพ และรูปแบบของการเลือกซื้อสินค้าหรือบริการที่หลากหลาย ทำให้มีตัวเลือกในการใช้งานสูง

(4) การสนับสนุน การวิเคราะห์ตลาด และ เทคโนโลยียังมีไม่เพียงพอ

(5) การขาดดุลเรื่องสินค้านำเข้าในจำนวนมาก รวมถึงเทคโนโลยีราคาต่ำจากต่างประเทศ เช่น ประเทศจีน

(6) ส่วนใหญ่เป็นการผูกขาดด้านเทคโนโลยีกับผู้ประกอบการรายใหญ่

บทที่ 6
การประเมินเทคโนโลยีและการนำเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์

การตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับสภาพแวดล้อมของอาคารอัจฉริยะ โดย อาคารที่ระบบการจัดการเป็นนวัตกรรมโดยนำเสนอข้อมูลที่ถูกเรียบเรียงมาให้เข้าใจและสื่อสารได้ง่ายขึ้นต่อการนำไปใช้และมีความหมายที่สัมพันธ์กันเกี่ยวกับข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในระบบ ข้อมูลนี้จะสามารถใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ พัฒนามาตรการและรูปแบบการบำรุงรักษาอุปกรณ์ ปรับปรุง สร้างสภาพแวดล้อมอาคารที่ดียิ่งขึ้น และนำไปสู่ผู้ใช้งานอาคารและเจ้าของอาคารอัจฉริยะที่มีคุณภาพการใช้ชีวิตที่ดีขึ้นด้วย หากอาคารใดที่ไม่มีการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบระบบ อุปกรณ์หรือระบบภายในเกิดขัดข้อง มีปัญหาด้านคุณภาพอากาศ และ อุณหภูมิและประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาจขาดข้อมูลที่จำเป็นในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้โดยเร็วที่สุด

6.1 การประเมินเทคโนโลยี (Technology assessment)

จากการวิเคราะห์การใช้เทคโนโลยีของ ระบบเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะ จากความแข็งแกร่งด้านนวัตกรรมสำหรับโซลูชั่นใหม่สำหรับระบบบริหารจัดการอาคารเพื่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศอาคารมีรูปแบบธุรกิจใหม่และผู้ให้บริการเทคโนโลยีระดับแนวหน้า คือ เซนเซอร์ การเชื่อมต่อผ่าน Big Data หรือ IoT ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและทันสมัย ดังนั้น จัดเป็นเทคโนโลยีประเภทการพัฒนาเทคโนโลยี (Developing Technology) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ต่อไปได้ นอกจากนี้การวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงความรู้สำหรับระบบเซนเซอร์ที่เชื่อมต่อกันภายในระบบและการใช้งานเพื่อกระตุ้นการพัฒนาระบบเพื่อระบบบริหาร เซนเซอร์ที่จะแสดงผลความสัมพันธ์ถึงการเข้าใช้งานพื้นที่อาคารที่นานขึ้นจากคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น รวมถึงการวัดผลจากเซนเซอร์ที่คาดการณ์คุณภาพอากาศโดยรวมว่าดีขึ้นหรือแย่ลง อาคารอัจฉริยะทำให้ผู้อยู่อาศัยมีประสิทธิผลมากขึ้น คุณภาพอากาศ ความสะดวกสบายทางกายภาพ ความปลอดภัย สุขอนามัย แสงสว่าง และรวมถึงพื้นที่ว่างสามารถส่งมอบได้ในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพอากาศดีที่สุด

6.1.1 การประเมินระดับขั้นของเทคโนโลยี (Stage of Technology)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยรวม ระดับขั้นของเทคโนโลยีระบบเซนเซอร์สำหรับการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ ในปัจจุบันความพร้อมของเทคโนโลยีอยู่ในขั้นของ TRL 8-9 ซึ่งอยู่ในส่วนของผลิตภัณฑ์จริงที่เกิดขึ้น โดยมีผลการใช้งาน นำไปใช้งานได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จริง การผลิต และสภาวะการทำงานพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ซึ่งทำให้กลุ่มผู้ใช้งามมีความมั่นใจและยอมรับในคุณภาพได้ดี ซึ่งสามารถระบุความสามารถของการผลิต (Supply Chain) ได้ดังนี้

- อุตสาหกรรมระดับต้นน้ำ (Up-Stream Industries) จะเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของเซนเซอร์ที่ใช้ทำงานในเชิงระบบทั้งหมด อาทิเช่น ซอฟท์แวร์ ฮาร์ดแวร์ ระบบรวบรวมข้อมูล ไม่ว่าจะเป็น เทคโนโลยี IoT ที่เก็บรวบรวมข้อมูลขนาดใหญ่ Data warehouse Data ต่างๆ รวมไปถึงตัว core Technology ตั้งต้นในการทำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบอาคารอัจฉริยะ เพื่อเป็นส่วนวางแผนในการลดต้นทุนต่างๆได้
- อุตสาหกรรมระดับกลางน้ำ (Middle-Stream Industries) เป็นส่วนการเพิ่มคุณค่าเพิ่มนวัตกรรมให้กับเทคโนโลยี ไม่ว่าจะเป็น การพัฒนาระบบการตรวจวัดค่าด้วยเซนเซอร์ต่างๆ รวมไปถึงการออกแบบระบบการจัดเก็บข้อมูล
- ตสาหกรรมระดับปลายน้ำ (Down-Stream Industries) เพื่อเป็นการขยายตลาดและกลุ่มลูกค้าที่มากขึ้น เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการส่งต่อระบบการบริหารจัดการข้อมูลไปยังผู้ที่จะใช้งานเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบการบริหารจัดการอาคาร (BMS) ระบบการจัดการข้อมูลและแสดงผลเซนเซอร์เป็นต้น

6.1.2 การประเมินเทคโนโลยีขั้นปฐมภูมิ (Primary Evaluation)

โดยมีการแบ่งรูปแบบการประเมินเทคโนโลยีในขั้นปฐมภูมิ เป็น 2 หัวข้อหลัก คือ โอกาสทางการตลาด (Market opportunity) และ ความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี (Technology Feasibility) ได้มีการวิเคราะห์จากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

(1) Market Opportunity (โอกาสทางการตลาด)

- Market Competition โดยยังคงมีคู่แข่งในตลาดอยู่ด้วยคู่แข่งที่อยู่ในอุตสาหกรรมเดิมมีจำนวนมาก และ มีความหลากหลายทางแบรนด์ รวมถึงชื่อเสียงของแบรนด์ของคู่แข่งที่มีอยู่เดิม ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีเกิดการแข่งขันอยู่ตลอดเวลา ด้วยปัจจัยของ การ disruptive technology ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และ ความนิยม ความสนใจของคนในปัจจุบันที่มีต่อคุณภาพการใช้ชีวิตที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศในปัจจุบัน

- Scalability ความสามารถรองรับการขยายตัวผ่านเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมเทคโนดลยีอาคารนั้น มีการพัฒนากระบวนการและนวัตกรรมอยู่เรื่อยๆ ทำให้การพัฒนาและอัตราการเติบโตของธุรกิจมีขึ้นอย่างยั่งยืนและเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง

(2) Technology Feasibility (ความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี)

- จากการประเมินความพร้อมของเทคโนโลยีที่อยู่ในขั้นของ TRL 8-9 ทำให้การเข้าถึงเทคโนโลยี มีคุณสมบัติในการเชื่อมต่อระบบใช้งานง่าย เหมาะสมกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน สะดวก รวดเร็ว และยังสามารถพัฒนาต่อได้

6.1.3 การประเมินเทคโนโลยีขั้นทุติยภูมิ (Secondary Evaluation)

การประเมินเทคโนโลยีในขั้นทุติยภูมิ แบ่งกลุ่มการประเมินเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ เทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อสังคม (Technology impacts on society) และ เทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Technology impacts on environment) ได้มีการวิเคราะห์จากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

(1) เทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อสังคม (Technology impacts on society)

- ด้านผลกระทบทางสังคมและเศรษฐกิจ จากการวิเคราะห์ของผู้วิจัย คือ แพลตฟอร์มเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นในโครงการนี้เป็นตัวขับเคลื่อนหลักสำหรับระบบเซ็นเซอร์หรือเครือข่ายเซ็นเซอร์ที่มีความไวสูงและคัดเลือกเฉพาะสำหรับการตรวจสอบคุณภาพอากาศ โดยการตรวจจับก๊าซเคลื่อนที่และอนุภาคละเอียด มลภาวะทางอากาศ
- ส่งผลกระทบทางสังคมในด้านคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตซึ่งเกี่ยวข้องกับการลดหรือเพิ่ม อัตราการเสียชีวิตและค่ารักษาพยาบาลในสภาพแวดล้อมที่มีมลพิษ รวมถึงสภาพอากาศภายในอาคารที่ดีต่อสุขภาพ สามารถทำได้
- การสร้างธุรกิจใหม่โดยอาศัยช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเทคโนโลยีของระบบบริหารจัดการอาคารเองทำงานแสดงผลแยกส่วนกัน ที่มีความเกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ในการประมวลคุณภาพอากาศอาคาร
- ส่งผลกระทบต่อธุรกิจ SMEs และมุมมองในอนาคตสำหรับนักวิจัยและพัฒนาแนวทางการปรับปรุงแพลตฟอร์มหรือระบบการบริหารจัดการอาคารให้ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- การขาดแคลนแรงงาน การขาดแคลนทรัพยากร มีส่วนทำให้ผู้ประกอบการที่เป็นเจ้าของอาคารหรือตึก คำนึงถึงการลดต้นทุนผ่านการใช้เทคโนโลยีเข้ามาแทน

(2) Technology impacts on environment (เทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม)

- เซ็นเซอร์ภายในอาคารมีอิทธิพลต่อการบริหารจัดการอาคารในการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม การเสริมสร้างสภาวะความสบายทางความร้อน ความสบายตา และคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยการจัดการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประหยัดพลังงานและความสะดวกสบายของผู้ใช้งานอาคารมีความสำคัญอย่างมาก

- บทบาทความสำคัญของเซ็นเซอร์ประเภทต่างๆในอาคาร มีอิทธิพลต่อการเสริมสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้นในอาคารและช่วยปรับปรุงรักษาสิ่งแวดล้อมภายนอกได้

6.1.4 เทคโนโลยีหลักในการพัฒนา (Core Technology)

จากระบบบริหารจัดการอาคาร (BMS) การใช้เทคโนโลยีของระบบเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะ ประกอบไปด้วยการทำงานในเชิงระบบที่หลากหลาย โดยส่วนที่สำคัญในการขับเคลื่อนการทำงานในเชิงระบบ คือ ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) จากเซนเซอร์ในส่วนต่างๆ ดังนั้นเทคโนโลยีหลักในการพัฒนาจะเป็นระบบการบริหารจัดการข้อมูลในเชิงระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคาร ซึ่งการจัดการข้อมูลในเชิงระบบเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาและวิจัย

6.1.5 การประเมินคุณสมบัติเทคโนโลยีระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ

จากเทคโนโลยีระบบเซนเซอร์ของอาคารอัจฉริยะ มีคุณสมบัติของระบบเซนเซอร์ ดังนี้

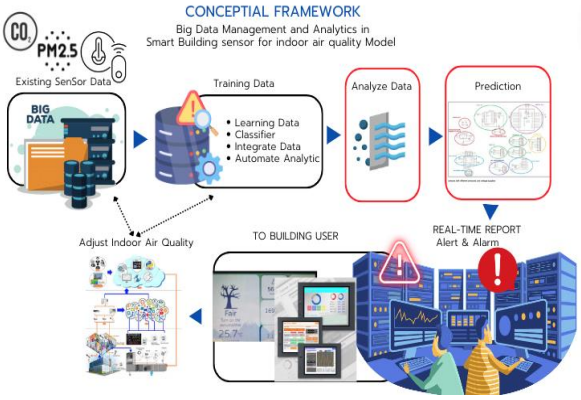
ชุดข้อมูลพร้อมใช้งานที่หลากหลาย เพื่อเพิ่มมิติให้แก่การวิเคราะห์ ช่วยลดเวลาในการค้นหาข้อมูลจากหลายแหล่งด้วยข้อมูลพร้อมใช้งาน อีกทั้งชุดข้อมูลยังมีความถูกต้อง ตัวอย่างเช่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูล ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) เป็นรูปแบบ Live Feeds การประมวลผลในระดับนาที และ วินาทีสำหรับการติดตามสถานการณ์แบบ Real-time

- ประโยชน์ในความสามารถที่มาจากการถ่ายทอดข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพไปยังบุคคลที่เป็นประโยชน์จริง ๆ โดยไม่มีตัวปิดกั้นใด ๆ เปิดรับสู่เทรนด์ยุคใหม่ของความโปร่งใสในตัวข้อมูลและประสิทธิภาพของเทคโนโลยี
- ด้วยการแปลงระบบนิเวศทั้งหมดให้เป็นดิจิทัล รวมถึงการสร้างพนักงานแนวหน้าคุณจะวางตัวเองเป็นศูนย์กลางของแหล่งข้อมูลการดำเนินงานและการดำเนินการที่ใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- ความสามารถของเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศมีได้มากกว่าการระบุบริเวณที่มีคุณภาพอากาศมีปัญหา เซ็นเซอร์ จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ระบบ HVAC เพื่อรักษาคุณภาพอากาศและปรับปรุงคุณภาพอากาศได้

จากการรวบรวมการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะจากเซนเซอร์ โดยพัฒนาจากเทคโนโลยีหลัก (Core Technology) นั่นคือ การจัดการข้อมูลในเชิงระบบจากข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) มีแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีนวัตกรรม ออกมาในรูปแบบของโมเดลตัวอย่างในการบริหารจัดการข้อมูลเชิงระบบภายในอาคารอัจฉริยะที่ใช้ข้อมูลเซนเซอร์เพื่อวิเคราะห์คุณภาพอากาศของอาคาร มีแนวความคิดดังนี้



ภาพที่ 66 Conceptual Framework การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคบูรณาการข้อมูลเซนเซอร์ โดยผู้วิจัย,2566

ภาพที่ 67 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลจากการบูรณาการข้อมูลเซนเซอร์

โดยผู้วิจัย,2566

ภาพที่ 68 ตัวอย่างการตรวจจับข้อมูลจากการบูรณาการข้อมูลเซนเซอร์

โดยผู้วิจัย,2566

6.2 การประเมินตลาด (Market assessment)

6.2.1 มูลค่าของตลาด

การระบาดใหญ่ของ COVID-19 ได้เพิ่มความต้องการและความสำคัญของการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าตลาดสำหรับเซ็นเซอร์สิ่งแวดล้อมและการใช้งานเกี่ยวกับคุณภาพอากาศจะค่อนข้างใหม่ แต่ก็เป็นตลาดที่เติบโตอย่างรวดเร็ว ตลาดตรวจวัดคุณภาพอากาศคาดว่าจะลงทะเบียน CAGR ที่ 5.79% ในช่วงระยะเวลาคาดการณ์ปี 2564-2569 และคาดว่าจะมีมูลค่า 5.79 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี พ.ศ. 2569 จาก 4.20 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี พ.ศ. 2563 ตลาดทั่วโลกสำหรับการบำบัดอากาศในปี พ.ศ.2563 อยู่ที่ 3 พันล้าน ดอลลาร์สหรัฐ ผลิตภัณฑ์เครื่องฟอกอากาศมีสัดส่วนส่วนใหญ่โดยเติบโต 5% ต่อปี (ที่มา: Mordor Intelligence 2020, Air Quality Monitoring Market)

ด้วยซอฟต์แวร์ที่มีความเฉพาะที่นำไปใช้กับการดำเนินงานของระบบอาคารทุกวัน เจ้าของอาคารจึงได้รับประโยชน์จากการวิเคราะห์ที่ประหยัดต้นทุน ซึ่งสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและระบบสารสนเทศ (EMIS) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดอย่างหลากหลาย และแนวทางปฏิบัติในการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่องเพื่อช่วยเปิดเผยโอกาสในการประหยัดพลังงานเหล่านั้นและปรับปรุงประสิทธิภาพของอาคารในระยะยาว เนื่องจาก WHO ได้ปรับปรุงหลักเกณฑ์ด้านคุณภาพอากาศให้เหมาะสมมากขึ้น เทคโนโลยีที่ปรับปรุงและพัฒนาจะนำไปสู่การลดต้นทุนอย่างมากและช่วยให้สามารถผลิตเซ็นเซอร์แบบเลือกปริมาณได้ในปริมาณมาก จึงมีความจำเป็นและเปิดใช้งานสถานการณ์การใช้งาน ทั้งนี้การนำเซนเซอร์ไปติดตั้งเป็นแค่ส่วนหนึ่งของการเริ่มต้นการสร้างอาคารอัจฉริยะ ซึ่งต้องมีการเก็บข้อมูลในส่วนต่างๆ ของอาคาร เพื่อนำมาประมวลผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2.2 การสร้างอาคารอัจฉริยะด้วยมูลค่าจากการวิเคราะห์ข้อมูล

อาคารอัจฉริยะใช้การผสมผสานระบบการจัดการอาคารเข้ากับซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูลอัจฉริยะที่นำเสนอข้อมูลเชิงลึกที่เป็นประโยชน์และโอกาสในการบำรุงรักษา การบริการ และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอาคาร โดยการวิเคราะห์ข้อมูลอัจฉริยะร่วมกับระบบการจัดการอาคาร เป็นประโยชน์สำหรับเจ้าของอาคาร ตัวอย่างเช่น

- ให้การจับภาพข้อมูลขนาดใหญ่ทั้งระบบในระดับสูงของการดำเนินการทั้งหมด
- การควบคุมคุณภาพอากาศและสภาพแวดล้อมในอาคารให้คุณภาพอากาศที่ดีต่อสุขภาพ
- ประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานในช่วงที่มีการใช้งานน้อย
- ขจัดของเสียจากการใช้งานระบบทุกวันผ่านข้อมูลเซ็นเซอร์อัจฉริยะ
- ให้คำแนะนำสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับสินทรัพย์แต่ละรายการ
- นำเสนอความสามารถในการทำงานอัตโนมัติขั้นสูงและผลลัพธ์ที่นำไปใช้ได้จริง
- การลดการใช้พลังงานและด้านการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อาคารอัจฉริยะ ช่วยให้ทราบข้อมูลประสิทธิภาพของอาคารได้
- สำหรับเจ้าของอาคารอัจฉริยะ สามารถออกใบแจ้งหนี้แก่ผู้เช่าได้อย่างถูกต้องสำหรับการใช้งานสาธารณูปโภค และเพิ่มความสนใจแก่ผู้เช่าอาคารหรือใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ด้วยความสะดวกสบายและความยั่งยืนที่ดีขึ้น
- การประหยัดการดำเนินงานในแง่ของค่าใช้จ่ายในชีวิตประจำวันและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ โดยการระบุทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานและศักยภาพการเติบโตในพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งาน
- ข้อดีในการปกป้องข้อมูล เช่น เซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศต่างๆที่วัดข้อมูลสามารถใช้โดยไม่ต้องใช้ภาพที่สามารถระบุตัวตนได้ของผู้ใช้งานอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.3 การนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์เชิงพานิชย์ (Technology exploitation)

จากการประเมินทางเทคโนโลยีประกอบกับการประเมินทางการตลาดแล้วสามารถนำมาศึกษาหาแนวทางแผนการนำเทคโนโลยีออกสู่เชิงพานิชย์ ได้ดังต่อไปนี้

6.3.1 วิธีการนำเทคโนโลยีมาใชให้เกิดประโยชน (Mode of Technology Exploitation)

- The Nature of Technology ทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยในปัจจุบันเทรนด์ของอาคารอัจฉริยะเป็นที่นิยมโดยมีการนำเซนเซอร์เข้ามาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น รวมถึงเทคโนโลยีการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ใชเป็นพื้นฐานในการพัฒนา สินค้า บริการ เทคโนโลยีใหม่ๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า

ระบบการวิเคราะห์ข้อมูลหรือประมวลผลข้อมูล (Data Analytics) ก็ยังคงต้องการ การสนับสนุนของมนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามมนุษย์คงไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ด้วยตัวเองทั้งหมด และระบบเองก็คงยังไม่สามารถปฏิบัติการเองโดยไม่มีการป้อนข้อมูลได้เช่นกัน ดังนั้นการผสมผสานการทำงานร่วมกันจะยิ่งทำให้ผลลัพธ์การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากยิ่งขึ้นไปอีก

- The Size of Company จะเปนลักษณะองคกรขนาดกลาง ที่แบงเปนทีมวิจัยเพื่อพัฒนาตัวเทคโนโลยีใหดียิ่งขึ้น และทีมผลิตสำหรับการทำธุรกิจขายแบบ B2B ซึ่งจะสามารถขยายธุรกิจไปได้ในอนาคต

- The Source of Technology ด้วยเทคโนโลยีการผลิตเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคซึ่งจะเป็นการพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีเดิม ดังนั้นการจัดหาแหล่งเทคโนโลยีจะมาจากเทคโนโลยีเดิมที่มีจำหน่ายตามตลาดเดิมรวมถึงงานวิจัยและพัฒนาที่กำลังอยู่ในขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ด้วยเช่นกัน

6.3.2 การประเมินและคัดเลือกวิธีการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ (Evaluation and Selection of Exploitation)

การประเมินและคัดเลือกวิธีการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ผู้วิจัยได้นำวิธีการคัดเลือกผ่าน การลงคะแนน ตามความสำคัญต่างๆ ในรูปแบบของ (Decision Metrics) และได้ทำการประเมิน และจัดตั้งเกณฑ์ และกำหนดค่าน้ำหนักตามความสำคัญ ที่ประกอบไปด้วยปัจจัย คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(1) ผลตอบแทนจากการลงทุน
(2) สิทธิในการนำไปต่อยอดเทคโนโลยี
(3) ความเสี่ยงในการดำเนินธุรกิจ
(4) งบประมาณที่ใช้ในการลงทุน
(5) อำนาจการตัดสินใจและบริหาร

โดยมีการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญต่อการพิจารณาปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยต่างกัน การเลือกวิธีนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ (Technology Exploitation) มีเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละหัวข้อ ซึ่งกำหนดโดยผู้วิจัย เป็นคะแนน 1 ถึง 5 ซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้

คะแนน 5 คือ เป็นผลดีระดับสูงมาก ในการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์
คะแนน 4 คือ เป็นผลดีระดับสูง ในการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์
คะแนน 3 คือ เป็นผลดีระดับปานกลาง ในการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์
คะแนน 2 คือ เป็นผลดีระดับน้อย ในการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์
คะแนน 1 คือ เป็นผลดีระดับน้อยมาก ในการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดการให้เกณฑ์การให้น้ำหนักตามความสำคัญ เป็นน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ 1 ถึง 5 น้ำหนักความสำคัญ ซึ่งเป็นการกำหนดจากความสำคัญของเทคโนโลยีที่นำมาศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค ซึ่งสามารถอธิบายได้ คือ

- ผลตอบแทนจากการลงทุน (น้ำหนักความสำคัญที่ 4) โดยทั้งนี้การประกอบธุรกิจหรือการนำเทคโนโลยีไปใช้จะต้องก่อให้กดผลตอบแทนหรือผลประโยชน์สูงสุดในเชิงพาณิชย์ เพื่อดึงดูดนักลงทุนและการพัฒนาขององค์กรเทคโนโลยีและบุคลากรอย่างต่อเนื่อง

- สิทธิในการนำไปต่อยอดเทคโนโลยี (น้ำหนักความสำคัญที่ 4) การนำเทคโนโลยีไปต่อยอดใช้ในเชิงพาณิชย์จะต้องตระหนักถึงความสำคัญในการปรับประยุกต์ และบูรณาการใช้เทคโนโลยี หากในสภาพจริงของตลาดมีความต้องการที่แตกต่างกันออกไป ความสำคัญในการปรับใช้และต่อยอดจึงเป็นสิ่งสำคัญและส่งผลโดยตรงต่อการดำเนินธุรกิจในระยะยาว

- ความเสี่ยงในการดำเนินธุรกิจ (น้ำหนักความสำคัญที่ 3) ในการดำเนินธุรกิจเพื่อก่อให้เกิดผลตอบแทนสูงที่สุดเป็นสิ่งที่สำคัญ แต่ความเสี่ยงในการลงทุนเมื่อพิจารณาจากปัจจัยแวดล้อม ปัจจัยภายใน หรือปัจจัยภายนอกก็ย่อมเป็นส่วนสำคัญเช่นกัน
- งบประมาณที่ใช้ในการลงทุน (น้ำหนักความสำคัญที่ 2) การใช้งบประมาณต่ำหรือสูงในการลงทุน มาจากขีดจำกัดของความจำเป็นต้องคำนึงถึงการเริ่มต้นลงทุน และ ความเป็นไปได้ในการเริ่มต้นธุรกิจ เงินทุน หรืองบประมาณจึงเป็นส่วนสำคัญรองลงมา

- อำนาจการตัดสินใจและบริหาร (น้ำหนักความสำคัญที่ 3) เนื่องจากการพัฒนา เทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีจุดเริ่มต้นมาจากความสามารถในการนำเทคโนโลยีมาบูรณาการต่อยอด และจัดการในเชิงระบบซึ่งเป็นส่วนสำคัญเพื่อที่จะกำหนดทิศทาง หรือการดำเนินธุรกิจต่อผลิตภัณฑ์ให้เกิดผล ประโยชน์สูงสุดต่อสังคม

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการกำหนดวิธีการนำเทคโนโลยีออกสู่เชิงพาณิชย์โดยมีการแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลัก ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(1) Sell หมายถึง การนำเทคโนโลยีไปขายให้กับบริษัทใดบริษัทหนึ่ง (รวมทั้งสิทธิ์ Exclusive และ Non- Exclusive)

(2) Licensing หมายถึง การอนุญาตให้บริษัทใด ๆ ใช้สิทธิในการนำเทคโนโลยีไปผลิตสินค้า โดย กระทำตามเงื่อนไขที่ทำการตกลงกันไว้

(3) Joint Venture / Collaboration หมายถึง การที่ทางบริษัทอื่นๆจับมือร่วมกับเจ้าของเทคโนโลยีผลิตสินค้าออกมา โดยแบ่งส่วนการบริหารและกำหนดเงื่อนไขที่จะตกลงกั

(4) Spin-Offs / Spin-Outs หมายถึง การที่ทีมเจ้าของเทคโนโลยีออกมาลงทุนและเริ่มต้นธุรกิจ ด้วยตัวเอง

โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์รูปแบบการเลือกใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีจากการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการเทคโนโลยี ได้ดังนี้

***ตาราง** 18 การเลือกวิธีนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ (Technology Exploitation)*

Criteria	Weight	Sell		licensing		Joint Venture		Spin-off	
		Rate	Score	Rate	Score	Rate	Score	Rate	Score
ผลตอบแทนจากการลงทุน	4	3	12	5	20	2	8	4	16
สิทธิในการนำไปต่อยอดเทคโนโลยี	4	4	16	4	16	2	8	4	16
ความเสี่ยงในการดำเนินธุรกิจ	3	4	12	4	12	2	6	5	15
งบประมาณที่ใช้ในการลงทุน	2	2	4	4	8	3	6	5	10
อำนาจการตัดสินใจและบริหาร	3	1	3	5	15	3	9	2	6
รวม	16		47		71		37		63

ซึ่งหลังจากการนำมาคำนวณคะแนนตามตารางแสดง ของวิธีการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ จากเครื่องมือ Decision Metrics แล้ว พบว่าการ นำ

เทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ (Technology Exploitation) โดยวิธี Licensing เป็น วิธีที่ได้รับคะแนนสูงสุด

6.3.3 บทสรุปการประเมินเทคโนโลยีและการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล สามารถสรุปได้ว่า การจัดการข้อมูลในเชิงระบบนี้จะสามารถสื่อสาร ควบคุม ตรวจสอบได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และ อาศัยเทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ในการวิเคราะห์ คาดการณ์ และส่งต่อข้อมูลให้แก่ผู้ควบคุมระบบหรือผู้จัดการโรงงานรับทราบ ซึ่งนอกจากด้านอุตสาหกรรมเทคโนโลยีอาคาร ระบบ IoT จะช่วยให้ระบบการผลิตสะดวกรวดเร็ว ตรวจสอบได้แบบเรียลไทม์แล้ว หากติดขัดก็สามารถแก้ปัญหาได้อย่างทันท่วงที และยังช่วยดูแลความปลอดภัยและรวดเร็วได้อีกทางหนึ่ง

ด้วยปัจจัยสำคัญที่ไม่สามารถนำข้อมูลที่มีไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มาจากการจัดเก็บข้อมูลอย่างไม่มีระเบียบ ไม่เกี่ยวข้องแยกส่วนกัน หรือไม่เป็นแบบแผนเดียวกัน เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่มีมากขึ้นโดยเฉพาะ Unstructured Data ที่ไม่มีการจัดการโดยเครื่องมือ Data Management Platform (DMP) ที่จะเข้ามาช่วยทำให้ข้อมูลต่างๆ เป็นแพลตฟอร์มเดียวกัน ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์หรือใช้งานต่อ รวมทั้งต้องจัดการรวบรวมทั้งข้อมูลเก่าที่มีอยู่เดิม และการเข้ามาของข้อมูลใหม่ๆ มีโอกาสให้การวิเคราะห์หรือคาดการณ์ผิดพลาดและส่งผลเสียให้แก่ธุรกิจได้ การวิเคราะห์ปัจจัยและข้อค้นพบแสดงให้เห็นว่าการได้มาซึ่งเทคโนโลยีและการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีมีอิทธิพลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อทั้งนวัตกรรมและประสิทธิภาพของเทคโนโลยี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.4 การนำเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์ (Technology Commercialization)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์แล้ว สามารถนำมาวางแผนถึงกลยุทธ์การนำเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์ได้ ประกอบด้วย

6.4.1 การวางแผนทางการตลาด กลยุทธ์ในการวิเคราะห์ตลาด (STP Marketing) แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การแบ่งกลุ่มตลาด (Market Segmentation)

สามารถแบ่งกลุ่มตลาดได้จากปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ , พฤติกรรมของผู้บริโภค , ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเทคโนโลยีเซนเซอร์ในการประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคาร อยู่ในกลุ่มของตลาดเฉพาะกลุ่ม (Niche Market) ดังนั้นควรศึกษาปัจจัยของประชากรศาสตร์ เพื่อสร้างการพัฒนาต่อยอดข้อมูลเชิงลึกโดยพฤติกรรมของผู้บริโภคได้มาจากข้อมูลพฤติกรรมของกลุ่มลูกค้า โดยข้อมูลนี้จะช่วยให้ธุรกิจสามารถนำมาพัฒนา สามารถกำหนดเป้าหมาย สร้างแคมเปญทางการตลาด รวมไปถึงการทำโฆษณาต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากยิ่งขึ้น เพื่อนำมาสร้างรูปแบบเป็น Data visualization เพื่อให้เห็นภาพรวมที่ชัดเจน

- การกำหนดเป้าหมายทางการตลาด (Targeting)

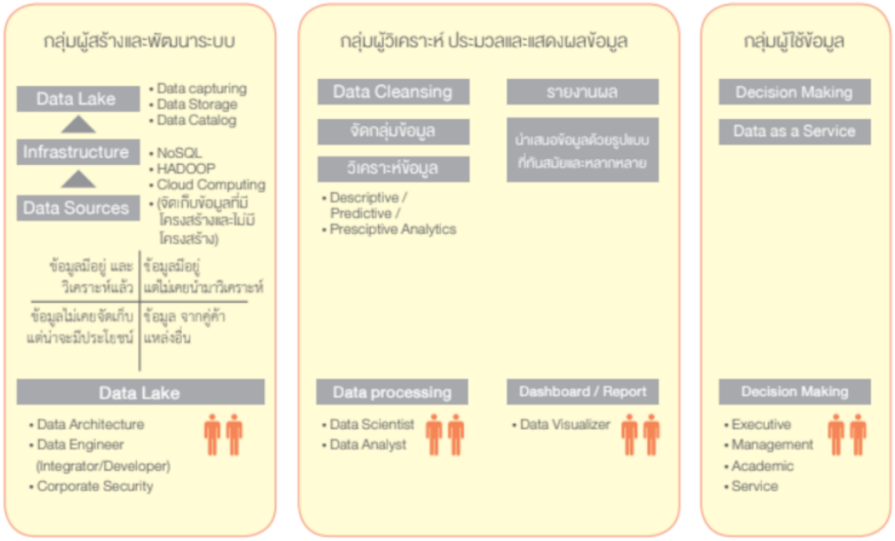
การกำหนดเป้าหมายทางการตลาดสามารถแบ่งกลุ่ม Stakeholder ที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มเจ้าของอาคาร (Owner) และ กลุ่มผู้ใช้งานอาคาร (Users) ซึ่งเป็นรูปแบบธุรกิจ B2B ให้เจาะจงมากขึ้น ประกอบด้วย

- กลุ่มเจ้าของอาคาร (Owner) สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ส่วน คือ
  - กลุ่มผู้ใช้ข้อมูล (Business Domain) ได้แก่ ผู้บริหารระดับสูง ผู้อำนวยการกอง ผู้ทำงานด้านนโยบายและวิชาการ ผู้ทำงานด้านบริการ มีหน้าที่กำหนดโจทย์หรือประเด็น ที่ต้องการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ และใช้ผลจากการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล มาใช้ประกอบการดำเนินธุรกิจ
  - กลุ่มผู้วิเคราะห์ประมวลและแสดงผลข้อมูล ได้แก่ นักวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Scientist) นักวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analyst) และนักนิทัศน์ข้อมูล (Data Visualizer) มีหน้าที่ในการนำข้อมูลมาจัดกลุ่ม วิเคราะห์และประมวลผล พร้อมทั้งพัฒนาภาพแบบ แสดงผลข้อมูลหรือ Dashboard สำหรับการนำเสนอข้อมูล ซึ่งในกลุ่มนี้ก็คือกลุ่ม R&D เป็นต้น
  - กลุ่มผู้สร้างและพัฒนาระบบ ได้แก่ วิศวกรข้อมูล (Data Engineer) สถาปนิก ข้อมูล(Data Architect) นักวิเคราะห์ธุรกิจ (Business Analyst)ผู้จัดการโครงการ (Project Manager) มีหน้าที่ในการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data) รวมทั้งดูแลและบริหารจัดการข้อมูลให้อยู่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในสภาพที่พร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่องและปลอดภัย ซึ่งในกลุ่มนี้ก็คือกลุ่ม R&D

- กลุ่มผู้ใช้งานอาคาร (Users) คือ กลุ่มบุคคลทั่วไปที่เข้ามาใช้งานอาคาร มีแนวทางการรับรู้ข้อมูลอาคารผ่านเทคโนโลยี IoT และอื่นๆ จากการประมวลผลข้อมูลที่ได้ในเชิงระบบ ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานอาคารของอาคารอัจฉริยะ เช่น พนักงานออฟฟิศ แม่บ้าน เจ้าหน้าที่สำนักงาน เป็นต้น



ภาพที่ 69 โครงสร้างโดยรวมของกลุ่มผู้ใช้งานจากข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)

- ตำแหน่งทางการตลาด (Positioning)

เนื่องจากข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์สำหรับการวัดค่าคุณภาพอากาศภายในอาคาร มีระบบส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องในด้านเทคโนโลยีอาคารเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงกำหนดตำแหน่งทางการตลาดออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเทคโนโลยีหลักที่ใช้พัฒนา และส่วนกลุ่มธุรกิจที่อยู่ในอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีอาคาร ดังนี้

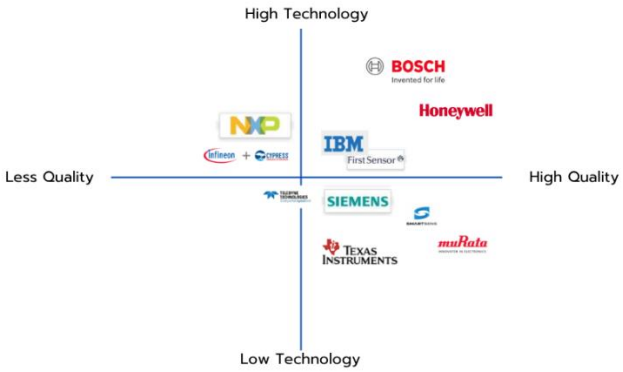
- ตำแหน่งด้านรูปแบบของกลุ่มธุรกิจเทคโนโลยีเซนเซอร์ที่อยู่ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ big data ซึ่งมีรูปแบบที่หลากหลาย จากการจัดวางตำแหน่งคู่แข่งขัน ผู้วิจัยเห็นถึงแนวทางที่จะพัฒนาเทคโนโลยีได้จะต้องเป็นกลุ่มที่อยู่ใน กลุ่ม Niche Player ซึ่งสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของเซนเซอร์อาคารอัจฉริยะที่มีความเฉพาะเจาะจงอุตสาหกรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 70 ตำแหน่งทางการตลาดของกลุ่มธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)

แหล่งข้อมูล Gartner's Magic Quadrant for Business Intelligence and Analytics Platforms

- ตำแหน่งทางการตลาดด้าน Branding ที่เป็นกลุ่มธุรกิจที่มีพัฒนาเทคโนโลยีด้านเทคโนโลยีอาคารเกี่ยวกับเซนเซอร์ รวมถึงการจัดการบริหารระบบจากการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) โดยผู้วิจัยเห็นถึงศักยภาพการพัฒนาเทคโนโลยีว่า การพัฒนาและวิจัยนี้มีความเหมาะสมที่จะอยู่ในส่วนของตาดที่มีเทคโนโลยีปานกลาง โดยต้องมีคุณภาพที่สูง เพื่อรองรับการแข่งขันกลุ่มแข่งขันเดิมที่มีอยู่ในตลาด



ภาพที่ 71 ตำแหน่งทางการตลาดของแบรนด์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)

6.4.2 ส่วนผสมทางการตลาด (4P Marketing Mix)

เพื่อเป็นการสร้างกลยุทธที่มีความสำคัญในการเจาะกลุ่มตลาดให้ตรงเป้าหมาย สามารถนำไปวางแผนการตลาด ช่องทางการจัดจำหน่ายตรงตามกลุ่ม และช่วยให้ขยายฐาน

ลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว หรือนำข้อมูลไปพัฒนาสินค้าหรือบริการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และยังใช้วิเคราะห์แนวโน้มที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ส่วนผสมทางการตลาดดังต่อไปนี้

(1) Product โดยจากการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคถึงการบูรณาการระบบว่าจะสามารถพัฒนาเทคโนโลยี สามารถนำไปต่อยอดสู่โมเดลต้นแบบการบูรณาการข้อมูลในรูปแบบใหม่ เพื่อให้บริหารจัดการข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

(2) Price จากการวิเคราะห์คู่แข่งและอุสาหกรรมเทคโนโลยีอาคารที่มีเทคโนโลยีสูงและคุณภาพดีร่วมด้วย รวมถึงคู่แข่งขันที่ติดอยู่ตลาดเดิมจะต้องมีราคาที่เข้าถึงง่าย และเหมาะสมกับการนำไปใช้งานกับอาคารนั้นๆ ซึ่งอาจไม่สามารถกำหนดเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้แต่ต้องขึ้นอยู่กับการประเมินเป็นส่วนๆไป

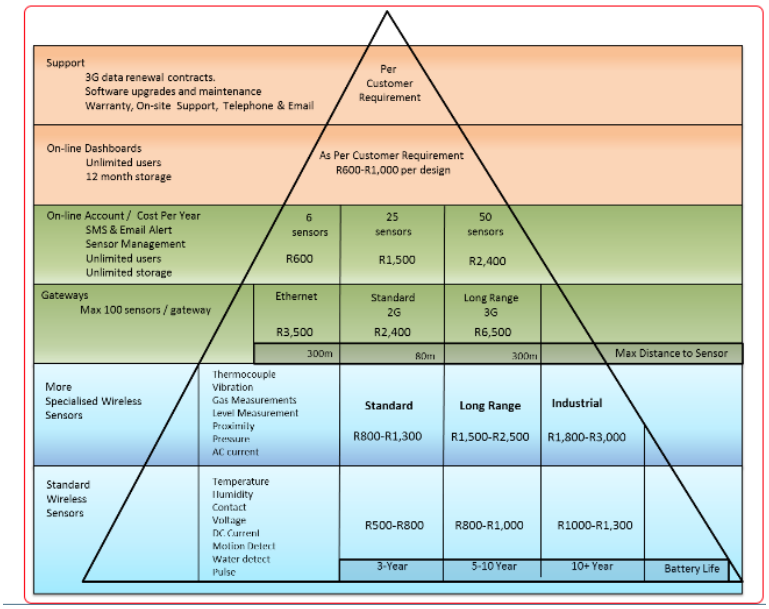
จากการค้นหาข้อมูลราคาทางการตลาด แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนฮาร์ดแวร์ซอฟท์แวร์ และ ส่วนการบริหารจัดการเชิงระบบ ซึ่งมีข้อมูลอ้างอิงตัวเลขโดยคร่าว ดังต่อไปนี้

		Bld. 1		Bld. 2	
	Cost per unit	Qty.	Total	Qty.	Total
Temperature sensors	$50	30	$1,500	120	$6,000
Repeater	$250	3	$750	0	$0
Receiver	$200	1	$200	3	$600
Translator	$450	1	$450	3	$1,350
RF surveying labor	$80	2	$160	2	$160
Integrator configuration labor	$80	4	$320	8	$640
Installation of Integrator labor	$80	8	$640	8	$640
Total Cost			**$4,020**		**$9,390**
Cost per Sensor			**$134**		**$78**

ภาพที่ 72 สัดส่วนข้อมูลอ้างอิงราคาอุปกรณ์และการบริหารเชิงระบบ

Sensors & auxiliries	Model	Price (USD)
Temperature/RH sensor	Telaire T9602-3-D-1	38.56
CO_2 Sensor	SenseAir K30	91.5
Particular Matter (PM) sensor	Plantower PMS3003	15.34
PIR sensor	Duinotech XC-4444	5.12
Microcontroller	Arduino Pro Mini	9.95
Cricurt Board	Seeed Studio	20.13
MicroSD card breakout board	Adafruit	7.50
Micro SD card	SanDisk 8GB	9.52
WiFi module	SparkFun-ESP8266	6.95
Power adapter	PowerTech Plus MP-3144 5VDC, 1.0A	9.52
Total		**214.09***

ภาพที่ 73 สัดส่วนข้อมูลอ้างอิงราคาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องภายในระบบ



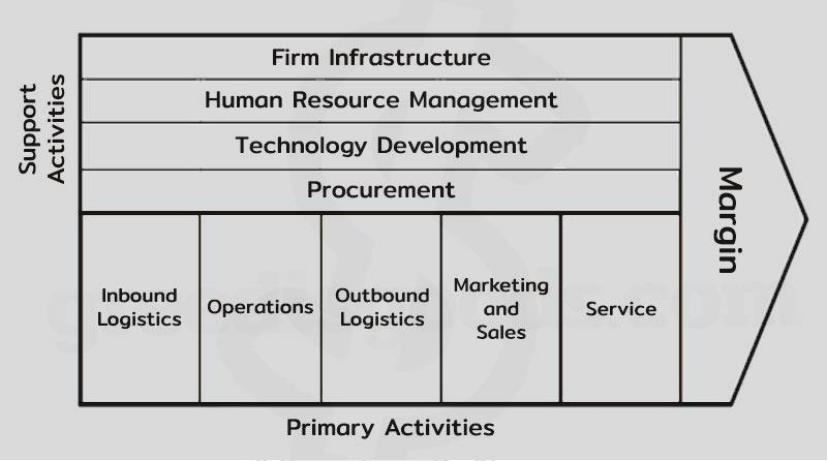
ภาพที่ 74 สัดส่วนข้อมูลโครงสร้างราคาเซนเซอร์และระบบที่เกี่ยวข้องภายในอาคาร

(3) Placement ด้วยรูปแบบของการศึกษาผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบของการจัดการของข้อมูลในเชิงระบบ ทำให้การจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์นั้นมาสามารถอยู่รูปแบบของการจัดจำหน่ายแบบควบคู่กับอุตสาหกรรมอื่นๆ หรือ จัดจำหน่ายรายเดียวได้ สำหรับการปรับปรุงพัฒนาระบบอาคารได้ทั้งสองแบบ

(4) Promotions การสื่อสารสู่กลุ่มเป้าหมาย จัดทำโปรโมชั่น พบว่าส่วนที่สำคัญเป็นเรื่องของการให้ข้อมูลความรู้แก่กลุ่มเป้าหมายถึงความสำคัญ โดยช่องทางออนไลน์ผ่านโซเชียลมีเดีย เป็นช่องทางที่เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายง่ายที่สุด

6.4.3 การดำเนินการและการบริหารจัดการ

การวิเคราะห์โดย ห่วงโซ่คุณค่า (Value Chain Analysis เป็นการวางโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วนในองค์กร คือ Primary Activity และ Support Activity โดยผู้วิจัยนำมาใช้วิเคราะห์ ซึ่งเป็นการระบุ กิจกรรมหลักและกิจกรรมสนับสนุนเพื่อเพิ่มคุณค่าและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ จากแนวความคิดในการวิเคราะห์ Michael E Porter (Michael E Porter ,1985) มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 75 การวิเคราะห์ห่วงโซ่แห่งคุณค่า (Value Chain Analysis) Michael E. Porter

(1) Primary Activity

a. Inbound Logistics ด้วยวัตถุดิบของสินค้ามาในรูปแบบที่หลากหลาย โดยจากการศึกษาความเป็นไปได้ สามมารถเป็นได้ทั้งการจัดการข้อมูลเชิงระบบแบบโมเดลตัวอย่างจากเทคโนโลยีเดิม การพัฒนาฮาร์ดแวร์หรือซอฟท์แวร์ แต่ส่วนใหญ่แล้วสินค้ามักจะเป็นสินค้าที่ไม่ค่อย มีสินค้าทดแทน เป็นสินค้านำเข้า หมายความว่าความต้องการมีเยอะแต่สินค้ามีน้อย ด้วยข้อจำกัดเรื่องคุณภาพและความใหม่ของเทคโนโลยีจึงมีความสำคัญในอุตสาหกรรมกลุ่มนี้

b. Operations ว่าด้วยการดำเนินการผลิต จากอุปสรรคยุคการจัดการข้อมูลที่มีข้อจำกัดสามารถโอกาสธุรกิจให้ยั่งยืนได้ ด้วยการออกแบบรากฐานโครงสร้างการบริหารจัดการข้อมูลที่เป็นระบบ ปลอดภัย และสามารถวิเคราะห์ต่อยอดข้อมูลให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆได้ ซึ่งจะต้อเป็นการผลิตที่เกิดขึ้นตามมาตรฐานและกระบวนการที่ออกแบบไว้เพื่อประสิทธิภาพและคุณภาพที่ดี

c. Outbound Logistics เทคนิคด้านการส่งออกอย่างมีคุณภาพ จะต้องเกิดจากการเข้าถึงข้อมูลแบบเปิด จะช่วยอำนวยความสะดวกในการพัฒนา การใช้งาน และการปรับปรุง

เซ็นเซอร์เชิงระบบอย่างต่อเนื่อง ตามเป้าหมายด้าน ความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นและประสิทธิภาพการทำงานของผู้อยู่อาศัยในอาคาร

d. Marketing and sales การวางแผนทางการตลาดและการขายเป็นส่วนสนับสนุนเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเทคโนโลยีให้เกิดขึ้นในเชิงระบบ โดยระบุถึงกลยุทธ์การวางแผนทางการตลาดผ่านการวิเคราะห์ 4P Marketing mix และ การวิเคราะห์ STP เพื่อให้ตอบโจทย์กลุ่มเป้าหมายได้ตรงมากที่สุด
e. Service ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีในเชิงระบบ การบริการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลและคาดเดาผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบบอาคาร นำไปสู่การพัฒนาปรับปรุงระบบให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นและมีความแม่นยำสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

(2) Supportive Activity

a. Firm Infrastructure การพัฒนาอื่นๆ ที่ประกอบด้วย การบริหารทางการเงินของกิจการ (Financial Management) การจัดการแผนการผลิต (Operation Plan) หรือยุทธศาสตร์และแผนกลยุทธ์องค์กร จากการกำหนด Frameworks ที่ครอบคลุมทั้ง Life cycle ของเชิงระบบ ตั้งแต่จุดกำเนิดของข้อมูล กระบวนการจัดเก็บข้อมูล การจัดการข้อมูลให้มีคุณภาพ (Data Quality) การรักษาความปลอดภัย การประมวลผลและวิเคราะห์ การนำข้อมูลไปใช้งานจะช่วยส่งเสริมองค์กรได้อย่างดี
b. Human Resource Management การบริหารจัดการทรัพยากรมนุษย์ เป็นอีกหนึ่งส่วนในการพัฒนาโครงสร้างองค์กร ระบบข้อมูล การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล การแสดงผลข้อมูลเชิงประจักษ์ ตลอดไปจนถึงการนำข้อมูลที่วิเคราะห์และองค์ความรู้ที่ได้จากการวิเคราะห์ประมวลผลมาใช้ ประกอบการตัดสินใจและการดำเนินงานในรูปแบบต่างๆโดยเน้นการพัฒนาและปรับปรุงเชิงระบบเป็นหลัก
c. Technology Development ตำนึงถึงการพัฒนาเทคโนโลยีหลัก (core value) ที่ตอบโจทย์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ระบบการบริหารจัดการคลังสินค้าและสินค้าคงคลังระบบการตลาดและการจัดจำหน่าย ระบบติดตามและประเมินผลความพึงพอใจของลูกค้า การพัฒนาและวิจัยข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ในเชิงระบบ เทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนธุรกิจให้เติบโตสู่เป้าหมายช่วยสร้างโอกาสใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับธุรกิจได้ โดยระบบ Big Data เพื่อประมวลผลก่อนส่ง แจ้งเตือน ให้ผู้ดูแลทราบ ก่อนอุปกรณ์จะมีปัญหาและส่งผลต่อระบบการผลิตหรือสามารถนำมาใช้เพื่อการปรับปรุง maintenance ระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

d. Procurement การจัดหาและจัดซื้อวัตถุดิบ เกี่ยวข้องกับการวางแผน จัดหา จัดซื้อ เครื่องมือ/เครื่องจักร สำหรับการขยายหรือเพิ่มกำลังการผลิตในอนาคต แผนการจัดซื้อจัดหาวัตถุดิบสำหรับการผลิต เพื่อให้มีสินค้าต่อเนื่อง

6.4.4 การปกป้องเทคโนโลยี (Technology Protection)

จากการวิเคราะห์ การเลือกวิธีนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ (Technology Exploitation) ที่ได้ผลสรุปการนำเทคโนโลยีมาใช้คือ การทำ licensing โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์รูปแบบถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคของตัวเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับการปกป้องเทคโนโลยี ประกอบด้วย

(1) การปกป้องทรัพย์สินทางปัญญา (Intellectual Property Protection) จากผลการทำ licensing รูปแบบของสัญญาอนุญาตให้ใช้สิทธิ (Licensing Agreement) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ สัญญาที่ผู้ให้สิทธิได้ให้สิทธิเฉพาะอย่าง ได้แก่ สิทธิในการทำ สิทธิในการใช้ และหรือสิทธิในการขายภายใต้ขอบเขตอันจำกัดแก่ผู้รับสิทธิ และผู้รับสิทธิได้ให้ค่าสิทธิ (Royalty Fee) หรือผลตอบแทนอย่างอื่นแก่ผู้ให้สิทธิได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลความเป็นไปได้ทางสัญญาการให้สิทธิที่เหมาะสมมากที่สุด คือ สิทธิบัตร (Patent)

- โดยสัญญาอนุญาตให้ทำการ Licensing โดยไม่เด็ดขาด (non-exclusive licensing agreement) หมายถึง สัญญาที่เจ้าของเทคโนโลยีอนุญาตให้ผู้อื่นใช้สิทธิในเทคโนโลยีของตน แต่เจ้าของเทคโนโลยียังมีสิทธิอนุญาตให้บุคคลอื่น ๆ นอกเหนือจากผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิคนก่อนใช้สิทธิใน เทคโนโลยีนั้นได้อีก รวมทั้งเจ้าของเทคโนโลยีก็ยังคงมีสิทธิใช้เครื่องหมายการค้านั้นเอง ซึ่งผู้วิจัยมองเห็นถึงความสามารถที่จะพัฒนาเทคโนโลยีไปต่อได้โดยไม่ผูกขาดกับผู้ใดผู้หนึ่ง

- การอนุญาตให้ใช้สิทธิในเทคโนโลยี (technology licenses) ซึ่งจะครอบคลุมถึงการให้สิทธิบัตร สิ่งประดิษฐ์ ความลับทางการค้า และ know-how ต่างๆ ข้อมูลความลับ หรือลิขสิทธิ์ในวัสดุอุปกรณ์ (software, databases, instruction manuals) ซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีและประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้สิทธิ Licensing ทั้งผู้ให้สิทธิและผู้รับสิทธิด้วย

- โดยประเภทของสิทธิบัตรที่ผู้วิจัยเห็นถึงความเป็นไปได้ที่เหมาะสม คือ อนุสิทธิบัตร (Petty Patent) โดยเป็นการให้ความคุ้มครองการประดิษฐ์จากความคิดสร้างสรรค์ที่มีระดับการพัฒนาเทคโนโลยีไม่สูงมาก อาจเป็นการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นใหม่ หรือปรับปรุงจากการประดิษฐ์ที่มีอยู่ก่อนเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะให้ความคุ้มครองเพียง 6 ปี และสามารถต่อ อายุได้อีกสองครั้ง ครั้งละ 2 ปีรวมเป็น 10 ปี ทำให้เห็นถึงความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่จะมีการทำ R&D อยู่เรื่อยๆ

มาตรฐานความปลอดภัยในการผลิต

ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค ในการบูรณาการข้อมูลขนาดใหญ่เชิงระบบจากเซนเซอร์ ทำให้มีส่วนที่เกี่ยวข้องหลายส่วน ซึ่งต้องคำนึงถึงมาตรฐานในการผลิตร่วมกัน เช่น อุปกรณ์ ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ แนวทางการจดทะเบียน รับรองความปลอดภัย ของผลิตภัณฑ์ มาตรฐาน International Organization for Standardization หรือ ISO เปนมาตรฐานการวัดคุณภาพองคกรตาง ๆ ที่รับรองระบบ การบริหารและการดำเนินงานขององคกรแตละประเภทใหเปนมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก การจัดทำระบบคุณภาพ ISO จะทำให้ผู้บริโภคมั่นใจในผลิตภัณฑ์ที่ใช้บริการวาได้รัยการคุ่มครองทั้งในเรื่องของคุณภาพ และความปลอดภัย (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร และเทคโนโลยีแหงชาติ สวทช, 2554)

ภาพที่ 76 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เซนเซอร์

6.5 การประเมินความเป็นไปด้านทางการเงิน (Financial feasibility)

ในส่วนการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค การจัดเตรียมประเมินความเป็นไปได้ทางงบการเงินของเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งเป็นส่วนสนับสนุนข้อมูลเสริม โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำสมมติฐานทางการเงินดังต่อไปนี้

6.5.1 ประมาณการในการลงทุน และสินทรัพย์

จากการประเมินเบื้องต้นโดยพิจารณาจากเทคโนโลยี และสินทรัพย์ที่จำเป็นต่อการก่อตั้งธุรกิจ ผู้วิจัย กำหนดส่วนของเจ้าของมีเงินทุนสำหรับก่อตั้งบริษัทจานวนทั้งสิ้น 1,000,000 บาท และถือหุ้นเป็นสัดส่วน 100% เนื่องจากการเป็นกลุ่มธุรกิจที่จัดทำการนำลิขสิทธิ์ (License) พัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีต่อจากเทคโนโลยีเดิมโดยออกแบบรูปแบบการพัฒนาขึ้นมาเอง การประมาณการในการลงทุนนั้นจึงเป็นต้องมีสินทรัพย์ที่พร้อมสาหรับการให้บริการในเชิงระบบ มีการกำหนดประมาณการลงทุนโดยคร่าวจากระยะเวลา 5 ปี เบื้องต้นกำหนดหลักเกณฑ์การเริ่มต้นธุรกิจการลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (CAPEX) ดังนี้

ตาราง 19 ประมาณการในการลงทุน และสินทรัพย์

CAPEX		
รายการ	**จำนวน**	หน่วย
ค่าใช้จ่ายในการตลาดช่วงปีแรก	200,000	บาท
วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี	2,000,000	บาท
ที่ดินและโรงงาน	1,000,000	บาท
เครื่องจักรและการติดตั้งเครื่องจักร	800,000	บาท
ทุนจดทะเบียน	1,000,000	บาท
CAPEX	5,000,000	บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5.2 รายละเอียดประมาณการนโยบายทางการเงินในการลงทุนและสินทรัพย์

จากการประมาณการใช้ส่วนอัตราดอกเบี้ยเป็น 6% ต่อปี ซึ่งมาจากประเภทเงินกู้แบบมีระยะเวลา (Minimum Loan rate) อ้างอิงประกาศการใช้ขั้นต่ำของธนาคารกรุงเทพ

จำกัด (มหาชน)กำหนดต้นทุนของส่วนเจ้าของ (Cost of equity) อยู่ที่ 6% โดยส่วนของผู้ถือหุ้นต่อเงินกู้ มีอัตราส่วน 50:50 มีการประมาณการค่าใช้จ่ายรายปี ดังนี้

ตาราง 20 ประมาณการต้นทุนของเงินทุน

ต้นทุนของเงินทุน		
รายการ	**จำนวน**	หน่วย
ต้นทุนของส่วนเจ้าของ (Cost of equity)	6%	เปอร์เซ็นต์
อัตรดอกเบี้ย (Interest rate)	6%	เปอร์เซ็นต์
ค่าเสื่อม (Depreciation)	20	ปี
ภาษี (Tax)	20%	เปอร์เซ็นต์
รายการ	**จำนวน**	หน่วย
Debt percentage	0.50	
หุ้นสามัญ (Equity)	2,500,000.00	บาท
เงินกู้ (Loan)	2,500,000.00	บาท
ระยะเวลากู้ (Loan Duration)	10	ปี
ต้นทุนถัวเฉลี่ยน้ำหนัก (WACC)	0.14	
ค่าใช้จ่าย (Payment)	($339,669.90)	บาท/ปี
รวมค่าใช้จ่าย	339,669.90	บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5.2 รายละเอียดประมาณการการลงทุนในสินทรัพย์ด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (OPEX)

จากข้อมูลส่วนต้นทุนของเงินทุน ได้ประมาณการการลงทุนในสินทรัพย์ด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ รวมถึงการประมาณการรายได้จากการขายผ่านการวิเคราะห์มูลค่าตลาดการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศราคาประมาณการเฉพาะส่วนเทคโนโลยีที่พัฒนาในเชิงระบบ ดังนี้

ตาราง 21 ประมาณการต้นทุนของเงินทุน

OPEX		
รายการ	**จำนวน**	หน่วย
ค่าใช้จ่ายพนักงาน	150,000	บาท/เดือน
วัตถุดิบด้านซอฟท์แวร์&ฮาร์ดแวร์	200,000	บาท/เดือน
การจัดการพัฒนาและดำเนินการ	10,000	บาท/เดือน
การจัดการระบบ และ อุปกรณ์สนับสนุนนรวม	150,000	บาท/เดือน
ค่าบำรุงรักษา (0.8% ค่าเครื่องจักรการผลิต)	2,000	บาท/เดือน
ค่าใช้จ่ายในการผลิต	20,000	บาท/เดือน
OPEX	532,000.00	บาท/เดือน
	6,384,000.00	บาท/ปี

REVENUE (รายได้)		
รายการ	**จำนวน**	หน่วย
ราคาขาย (Sale price)	3,000.00	บาท/ระบบ
REVENUE	30,000,000.00	บาท/เดือน
	360,000,000.00	บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิ
CHULALONGKORN U

6.5.3 รายละเอียดประมาณการงบกำไรขาดทุน 5 ปี

ตาราง 22 ประมาณการการงบกำไรขาดทุน 5 ปี

รายการ	ปี					
	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
ราคาขาย (Price)		10,000	10,300	10,609	10,927	10,927
ยอดขายได้ต่อปี (Unit)		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ต้นทุนขาย (Cost)		1,500	1,545	1,591	1,639	1,639
ยอดขาย (Sales)		10,000,000	10,300,000	10,609,000	10,927,270	10,927,270
ต้นทุนสินค้าขาย (Cost of goods sold)		1,500,000	1,545,000	1,591,350	1,639,091	1,639,091
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร (SG&As)		200,000	200,000	200,000	200,000	200,000
กำไรขั้นต้น (Gross Profit)		**8,300,000**	**8,555,000**	**8,817,650**	**9,088,180**	**9,088,180**
ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)		40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
กำไรก่อนจ่ายดอกเบี้ยและภาษี (EBIT)		**8,060,000**	**8,315,000**	**8,577,650**	**8,848,180**	**8,848,180**
ภาษีจ่าย Tax (20%)		1,612,000	1,663,000	1,715,530	1,769,636	1,769,636
NOPAT		**6,448,000**	**6,652,000**	**6,862,120**	**7,078,544**	**7,078,544**
ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)		0	0	0	0	0
Net Operation Cash Flow		**6,448,000**	**6,652,000**	**6,862,120**	**7,078,544**	**7,078,544**

ตาราง 23 ประมาณการการงบกระแสเงินสด

กระแสเงินสดจากการดำเนินงาน	ต้นปีที่ 1	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
กำไรก่อนจ่ายดอกเบี้ยและภาษี (EBIT)		8,060,000	8,315,000	8,577,650	8,848,180	8,848,180
ภาษีจ่าย Tax โครงการ		1,612,000	1,663,000	1,715,530	1,769,636	1,769,636
EBIT(1-Tax)=NOPAT		6,448,000	6,652,000	6,862,120	7,078,544	7,078,544
บวกกลับค่าเสื่อมราคา (Depreciation)						
กระแสเงินสดจากการดำเนินงานของโครงการ (Net Operating Cash Flow)		6,448,000	6,652,000	6,862,120	7,078,544	7,078,544
กระแสเงินสดจากเงินทุนหมุนเวียน	ต้นปีที่ 1	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
ลูกหนี้การค้า (Account Recievable)						
สินค้าคงคลัง (Inventory)		6,384,000	6,384,000	6,384,000	6,384,000	6,384,000
เจ้าหนี้การค้า (Account Payable)		1,000,000	1,100,000	1,210,000	1,210,000	1,210,000
ค่าใช้จ่ายค้างจ่าย (Accruals)		580,500	811,750	1,106,125	1,146,125	1,186,125
NOWC		-4,803,500	331,250	404,375	40,000	40,000
Changes in NOWC	-4,803,500	331,250	404,375	40,000	40,000	-3,987,875
กระแสเงินสดโครงการ	ต้นปีที่ 1	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
Initial Cost	-11,000,000					
Net Operating Cash Flow		6,448,000	6,652,000	6,862,120	7,078,544	7,078,544
NOWC	-4,803,500	331,250	404,375	40,000	40,000	-3,987,875
Salavge Value						8,250,000
Net Cash Flow	-15,803,500	6,779,250	7,056,375	6,902,120	7,118,544	11,340,669
Cumulative Cash Flow	-15,803,500	-9,024,250	-1,967,875	4,934,245	12,052,789	23,393,458

6.5.4 รายละเอียดประมาณการงบดุลแสดงฐานะทางกานเงินระยะเวลา 5 ปี

ตาราง 24 ประมาณการแสดงงบดุลทางการเงิน

งบดุล (Balance Sheet)	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
สินทรัพย์ (Assets)	5,000,000	5,261,667	7,308,667	10,538,167	14,010,167	17,642,167
เงินสดหรือสินทรัพย์เทียบเท่าเงินสด (Cash)	-	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000
ลูกหนี้การค้า (Account Recievable)	-	6,250,000	6,500,000	6,775,000	6,775,000	6,775,000
สินค้าคงคลัง (Inventory)	-	14,511,667	16,808,667	20,313,167	23,785,167	27,417,167
สินทรัพย์หมุนเวียนรวม (Total Current ASSETS)	5,000,000	23,761,667	26,308,667	30,088,167	33,560,167	37,192,167
สินทรัพย์ถาวะ (Fixed Assets)						
สินทรัพย์ถาวรก่อนหักค่าเสื่อม (Gross)	15,000,000	15,000,000	15,000,000	15,000,000	15,000,000	15,000,000
ค่าเสื่อมราคาสะสม (Accumulated Depreciation)		40,000	80,000	120,000	160,000	200,000
สินทรัพย์ถาวรสุทธิ (Net Fixed Assets)	15,000,000	14,960,000	14,920,000	14,880,000	14,840,000	14,800,000
สินทรัพย์รวม (Total Assets)	20,000,000	38,721,667	41,228,667	44,968,167	48,400,167	51,992,167
หนี้สินและส่วนของเจ้าของ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
เจ้าหนี้การค้า (Account Payable)		5,000,000	5,500,000	6,050,000	6,050,000	6,050,000
ค่าใช้จ่ายค้างจ่าย (Accruals)		1,242,333	1,389,367	1,481,933	1,576,039	1,616,039
เงินกู้ยืมระยะยาวครบกำหนดใน 1 ปี (L/T Due within 1 year)		2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	
หนี้สินหมุนเวียนรวม (Total Current Liabilities)		8,242,333	8,889,367	9,531,933	9,626,039	7,666,039
หนี้สินระยะยาว (Long-Term Debt)	8,000,000	6,000,000	4,000,000	2,000,000	-	-
ส่วนของเจ้าของ (Equity Shareholders)	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
ทุนจดทะเบียนชำระแล้ว (Paid up capital)	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
กำไรสะสม (Retained Earning)		4,768,000	10,124,000	15,850,120	21,952,664	28,215,208
รวมส่วนของเจ้าของ (Total Shareholder Equity)	8,000,000	12,768,000	18,124,000	23,850,120	29,952,664	36,215,208
หนี้สินรวมกับส่วนของเจ้าของ (Total Liabilities&Equity)	16,000,000	27,010,333	31,013,367	35,382,053	39,578,703	43,881,247
ผลต่างระหว่างสินทรัพย์รวมกับหนี้สินส่วนของทุน	-	-	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทสรุปทางการเงิน

6.5.3 รายละเอียดประมาณการผลตอบแทนในการลงทุน

จากการวิเคราะห์ภาพรวมข้อมูลตลาดแล้ว ผู้วิจัยได้ประมาณการผลตอบแทนในการลงทุน เพื่อแสดงความเป็นไปได้ถึงแผนการดำเนินการธุรกิจ โดยจัดทำแผนในระยะสั้น เวลา 1-5 ปี เป็นรายได้จากการจัดทำธุรกิจ กำไรสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน(IRR) และ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

ตาราง 25 ประมาณการผลตอบแทนในการลงทุน

รายการ	งบแสดงฐานะทางการเงินระยะเวลา 5 ปี					
	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
รายได้ REVENUE		36,000,000	36,000,000	36,000,000	36,000,000	36,000,000
OPEX		6,384,000	6,384,000	6,384,000	6,384,000	6,384,000
กำไรก่อนจ่ายดอกเบี้ยและภาษี EBITDA		29,616,000	29,616,000	29,616,000	29,616,000	29,616,000
ค่าเสื่อม Depreciation		40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
กำไร Interest		747,274	747,274	747,274	747,274	747,274
กำไรก่อนหักดอกเบี้ยและภาษี EBIT		29,576,000	29,576,000	29,576,000	29,576,000	29,576,000
ภาษี (Tax) 20%		5,915,200	5,915,200	5,915,200	5,915,200	5,915,200
กำไรสุทธิ Net Income		22,913,526	22,913,526	22,913,526	22,913,526	22,913,526
กำไรสะสม		22,913,526	45,827,052	68,740,579	91,654,105	114,567,631
ต้นทุนเริ่มต้น Initial Cost	- 11,000,000					
Net Operating Cash Flow		23,700,800	23,700,800	23,700,800	23,700,800	23,700,800
Net Cash Flow	- 11,000,000	23,700,800	23,700,800	23,700,800	23,700,800	23,700,800
IRR	115	%				
NPV	70,588,692					
Cumulative Cash Flow	- 11,000,000	12,700,800	36,401,600	60,102,400	83,803,200	107,504,000
Payback	0.76					

จากการประมาณการเบื้องตนของงบการเงิน จะได้ตัวชี้วัดความนาสนใจในการลงทุนมา ดังตอไปนี้

- Internal Rate of Return (IRR) = 115%
- Net Present Value (NPV) = 70,588,692
- Payback Period (PB) = 0.76 ปี
- Weight Average Cost of Capital (WACC) = 0.14%

จากการประมาณการงบการเงินของการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารในเชิงระบบ เทคโนโลยีมีความน่าลงทุนเนื่องจากการวิเคราะห์ตารางการคำนวณจะเห็นได้ว่าการลงทุนมีความเสี่ยงคอนข่างต่ำ เนื่องจากใช่เงินลงทุน เริ่มต่นในจำนวนที่ไม่สูงมากเพราะเป็นการนำเทคโนโลยีมาต่อยอด รวมไปถึงมีระยะเวลาผอนชำระหนี้คืน 10 ป โดยคาใช้จ่ายหลักส่วนใหญ่ใช้ลงทุนในการดำเนินงาน การพัฒนาและวิจัยเทคโนโลยีเป็นหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
บทสรุปและข้อแนะนำ

7.1 สรุปผลการศึกษา

อาคารที่ระบบการจัดการเป็นนวัตกรรมนำเสนอข้อมูลที่ถูกเรียบเรียง ประยุกต์ หรือบูรณาการ มาให้ง่ายขึ้นต่อการนำไปใช้และมีความหมายที่สัมพันธ์กันเกี่ยวกับข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในระบบ ข้อมูลนี้สามารถใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ พัฒนาโปรโตคอลการบำรุงรักษาอุปกรณ์ให้ฉลาดขึ้น สร้างสภาพแวดล้อมอาคารที่ดีต่อสุขภาพ และนำไปสู่ผู้ใช้งานอาคารและเจ้าของอาคารอัจฉริยะที่มีคุณภาพการใช้ชีวิตที่ดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะเป็นข้อกังวลสูงสุดสำหรับเจ้าของอาคาร แต่การวิเคราะห์ข้อมูลยังสามารถใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและลดต้นทุนในด้านอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี

7.1.1 ผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะจากเซนเซอร์ สามารถสรุปส่วนสำคัญได้เป็น 3 ส่วน คือ

1.Real-time analytics สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์: นำเสนอผลิตภัณฑ์แก้ไขปัญหา หรือให้บริการที่ทำให้เข้าถึงลูกค้าได้รวดเร็ว เพื่อให้เกิดความพึงพอใจสูงสุด

2.Root cause analysis การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา: รวบรวมข้อมูลความผิดปกติในทุก ๆ ระบบที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์และตรวจสอบ ทั้งด้วยตนเองและแบบอัตโนมัติได้

3.Anomaly detection การตรวจจับความผิดปกติ: สามารถระบุความผิดปกติได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว บนข้อมูลขนาดใหญ่และแจ้งเตือน เพื่อให้ทีมงานที่เกี่ยวข้องเข้าแก้ปัญหาทันที

โดยสรุป กล่าวคือ การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารอัจฉริยะ การศึกษาจัดการข้อมูลในเชิงระบบจากช่องว่างที่เกิดจากโอกาสในการศึกษาการเชื่อมโยงระบบบริหารจัดการอาคาร (BMS) ที่มีข้อมูลเซนเซอร์ด้านคุณภาพอากาศของอาคารทำงานวิเคราะห์ผลแยกส่วนกันนี้จะสามารถนำไปตอบคำถามการวิจัยที่ระบุว่า ระบบเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

อัจฉริยะซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบบริหารจัดการตึกและอาคาร (BMS) โดยมีการทำงานประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) แยกส่วนกัน สามารถนำมาบูรณาการระบบเพื่อนำมาการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารในเชิงระบบได้ จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเซนเซอร์ภายในระบบโดยผู้วิจัย ซึ่งผลสามารถนำมาออกแบบเป็นการทำแนวคิด Conceptual โมเดลเพื่อปรับปรุงพัฒนาเทคโนโลยีในเชิงระบบให้มีประสิทธิภาพและแม่นยำขึ้นได้ ซึ่งระบบการทำงานในเชิงระบบจะเป็นตัวช่วยในการคาดเดาและพยากรณ์คุณภาพอากาศภายในอาคาร เพื่อหาสาเหตุของปัญหา(Root Cause Analysis) ที่ทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารแย่ลงได้ รวมถึงตรวจจับความผิดปกติจากข้อมูล Big Data (Anomaly Detection) ได้อย่างแม่นยำและเหมาะสม และส่วนที่มีความสำคัญที่สุดคือ การประมวลผลคุณภาพอากาศสู่ผู้ใช้งานอาคารแบบ Real time (Real time Analysis) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7.1.2 การทดสอบการยอมรับนวัตกรรม

จากการสำรวบแบบสอบถามนวัตกรรมที่สามารถประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ โดยจากผู้ตอบแบบสอบถาม 92 คน ผู้ตอบแบบสอบถาม 100% มีความสนใจในนวัตกรรมที่สามารถประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ โดย เพิ่มอุปกรณ์เซนเซอร์ปรับปรุงระบบคุณภาพอากาศภายในอาคาร และ ปรับปรุงคุณภาพอากาศจากตัวระบบอาคารเอง เช่น ระบบบริหารอาคาร BMS โดยมีผู้สนับสนุนสนใจนวัตกรรมนี้ที่ 53.3% และ 20% ตามลำดับ

7.1.3 การประเมินความเป็นไปได้สู่เชิงพาณิชย์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินเทคโนโลยีและประเมินตลาดแล้ว เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ผู้วิจัยทำการศึกษานี้สามารถพัฒนาต่อยอดนำออกสู่เชิงพาณิชย์ได้ รวมถึงการสำรวจความคิดเห็นจากกลุ่มประชากรตัวอย่าง มีความสนใจและคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกันถึงศักยภาพและประโยชน์ของการพัฒนาเทคโนโลยีจากเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.2 ข้อแนะนำ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยรวมทั้งหมด ผู้วิจัยมีความเห็นว่า การศึกษาการบูรณาการระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์อาจมีความคาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ข้อมูลได้สูงด้วยเทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่จากเซนเซอร์ต่างๆมีค่าที่ไม่เสถียรและ

อาจไม่ได้ประสิทธิภาพทั้งหมด ทำให้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นเพียงแค่การศึกษาความเป็นไปได้จากข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้เท่านั้น

โดยภาพรวมแล้วข้อเสนอแนะในการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีอาคารที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ มีอยู่ด้วยด้วยกัน 4 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย

(1) การพัฒนาเทคโนโลยี คือ การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยอาจจะเป็นรูปแบบการพัฒนาของงานวิจัย การปรับใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศมาพัฒนาให้เป็นเชิงระบบแบบครบวงจรเพื่อให้ได้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการใช้งานครบถ้วนพร้อมใช้งานใน 1 ผลิตภัณฑ์

(2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ คือ การพัฒนากลุ่มผลิตภัณฑ์ หรือนวัตกรรมที่คิดค้นขึ้นมาให้เกิดเป็นมาตรฐานการผลิตในกลุ่ม niche Market เพื่อเป็นการส่งเสริมผู้ประกอบการรายใหม่และสร้างผู้ประกอบการรายใหม่ได้ด้วยจากการพัฒนาเทคโนโลยีโดยกลุ่ม R&D และผลักดันนวัตกรรมให้ทันยุคสมัยอยู่ตลอด

(3) เครือข่ายและบุคลากร โดยเกี่ยวข้องกับการพัฒนากลุ่มบุคลากร R&D กลุ่มฐานผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาเทคโนโลยีนวัตกรรม ส่งเสริมให้มีการเชื่อมโยงเครื่องข่ายการบูรณาการข้อมูลที่หลากหลายเพื่อเป็นแนวคิดในการสร้างสรรค์พัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้น นอกจากนี้จะได้เรื่องของความสัมพันธ์เครือข่ายในระยะยาวได้อีกด้วย

(4) นโยบายของภาครัฐ เป็นส่วนสนับสนุนเพิ่มเติมสำหรับการทำธุรกิจหรือการคิดค้นรูปแบบเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศในอาคารซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสังคมในระดับประเทศไปจนถึงระดับโลกที่คนให้ความสนใจในการช่วยพัฒนาสังคมจากการเผชิญปัญหาคุณภาพอากาศในปัจจุบันด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. [CAI Engineering] IoT กับความสำคัญในวงการ HVAC (ปรับอากาศ) คำกล่าว่า “โลกของเรากำลังเชื่อมต่อกันมากขึ้น” นั้น ไม่เกินจริงเลยท่ามกลางกระแส Disruptive Change ที่เริ่มเปลี่ยนแปลงจากการใช้ มนุษย์ ทำงานไปพึ่งพาการประมวลผลข้. (2020). Retrieved May 19, 2023, from https://www.blockdit.com/posts/61418852559f2604bb49695d
2. [IDA Intelligence Data Analytics] 5 เทรนด์ การ Big Data 2023 Big Data คือเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนธุรกิจให้เติบโตสู่เป้าหมายช่วยสร้างโอกาสใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับธุรกิจ. (2020). Retrieved May 20, 2023, https://www.blockdit.com/posts/63bd046c7c73856805f50add
3. Air4Thai. (2020). ข้อมูลย้อนหลังแบบรายปี. Retrieved May 10, 2023, http://air4thai.pcd.go.th/webV2/history/
4. Alvarez, M. M. S., Morales, J. O., & Kraak, M. (2019). Integration and Exploitation of Sensor Data in Smart Cities through Event-Driven Applications. Sensors, 19(6), 1372. Retrieved May 9, 2023, https://doi.org/10.3390/s19061372
5. ARIP. (2018). ปฏิวัติวงการอสังหาริมทรัพย์ก้าวสู่ อาคารอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยี Internet of Things. Techhub. Retrieved May 10, 2023, https://www.techhub.in.th/schneider-iot-building/
6. C. D. Keeling, S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann, and H. A. Meijer, Exchanges of atmospheric CO2 and 13CO2 with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000. I. Global aspects, SIO Reference Series, No. 01-06, Scripps Institution of Oceanography, San Diego, 88 pages, 2001. Retrieved May 20, 2023.
7. C. D. Keeling, S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann, and H. A. Meijer, Atmospheric CO2 and 13CO2 exchange with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000: observations and carbon cycle implications, pages 83-113, in "A History of Atmospheric CO2 and its effects on Plants, Animals, and Ecosystems", editors, Ehleringer, J.R., T. E. Cerling, M. D. Dearing, Springer Verlag, New York, 2005. Retrieved May 20, 2023.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8. CUBEMS. (2023). The building energy management system applies ICT equipment and knowledge. NDR Solution (Thailand) Co., Ltd. Design and Development Center Ratchathewi : Bangkok, Thailand Retrieved January 22, 2023, from https://ndrsolution.com/2019/07/10/cubems/
9. Estimates, G. M. (2023). Global Smart Building Sensor Market Analysis | Size. Global Market Estimates Research & Consultants. Retrieved May 7, 2023, https://www.globalmarketestimates.com/market-report/smart-building-sensor-market-3413
10. Fartash, K. (2018). The Impact of Technology Acquisition & Exploitation on Organizational Innovation and Organizational Performance in Knowledge-Intensive Organizations. Retrieved May 10, 2023, https://www.semanticscholar.org/paper/The-Impact-of-Technology-Acquisition-%26-Exploitation-Fartash-Davoudi/67d0d28c76090a2b7d79ff10ab54ad050b336a22
11. Gholamzadehmir, M., Del Pero, C., Buffa, S., Fedrizzi, R., & Aste, N. (2020). Adaptive-predictive control strategy for HVAC systems in smart buildings – A review. Sustainable Cities and Society, 63, 102480. Retrieved March 25, 2023, from https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102480
12. Green Network. (2022). นวัตกรรมเพื่ออาคารประหยัดพลังงาน ควบคุมคุณภาพอากาศ. Green Network. Retrieved April 28, 2023, from https://www.greennetworkthailand.com/%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%AB%E0%B8%A2%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99/
13. Hackster.io. (2020, February 15). Indoor Air Quality Monitoring System. Retrieved May 20, 2023, https://www.hackster.io/romannovosad11/indoor-air-quality-monitoring-system-66d386
14. Hackster.io. (2020). Indoor Air Quality Monitoring System. Retrieved May 20, 2023,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

http://www.rrcap.ait.ac.th/apn/Documents/P1/2_Air%20quality%20monitoring%20by%20sensors.pdf

15. Hackster.io. (2020). Indoor Air Quality Monitoring System. Retrieved May 28, 2023, https://www.researchgate.net/publication/340725345_Air_Quality_Monitoring_with_Focuson_Wireless_Sensor_Application_and_Data_Management
16. Hackster.io. (2020). Indoor Air Quality Monitoring System. Retrieved May 27, 2023, https://www.depa.or.th/storage/app/media/file/Second%20Deliverable%20RevVer%20EN%20V12%20140819%20FIN.pdf
17. Hackster.io. (2020). Indoor Air Quality Monitoring System. Retrieved May 10, 2023, https://www.interaction-design.org/literature/article/design-thinking-combining-traditional-methods-with-empathy
18. Huynh, Loi & Fakprapai, Sathita & Oanh, Nguyen Thi. (2020). Air Quality Monitoring with Focus on Wireless Sensor Application and Data Management. Retrieved January 28, 2023, from https://www.nature.com/articles/s41597-020-00582-310.1002/9781119720522.ch2.
19. IAQs, Indoor Air Quality Solution. แนวทางการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร. (2019, May 14). Retrieved May 10, 2023, https://inno.co.th/iaq-indoor-air-quality%E0%B9%81%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B8%87%E0%B8%84/
20. If it is necessary to cite a peer-reviewed article, please cite as: Indoor Air Quality (IAQ) and Energy Efficient HVAC Solutions | Belimo. (n.d.). Retrieved May 10, 2023, https://www.belimo.com/en_US/indoor-air-quality
21. LibSander. (2017, May 31). Research shows if you improve the air quality at work, you improve productivity. Physics. Retrieved May 10, 2023, https://phys.org/news/2017-05-air-quality-productivity.html
22. Mahajan, S. (2022). Design and development of an open-source framework for citizen-centric environmental monitoring and data analysis. Scientific

Reports, 12(1). Retrieved May 20, 2023, https://doi.org/10.1038/s41598-022-18700-z

23. Makonin, S. (2016). App programming and its use in smart buildings. In App programming. Retrieved May 19, 2023, https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100546-0.00018-2
24. Orbit. (2023, March 10). A smart building puts people first. Not tech. Myr.ai. Retrieved March 10, 2023, from https://myr.ai/en/newsroom/smart-building-people-first
25. Pipattanasomporn, M., Chitalia, G., Songsiri, J. et al. CU-BEMS, smart building electricity consumption and indoor environmental sensor datasets. Sci Data 7, 241 (2020). Retrieved January 22, 2023, from https://doi.org/10.1038/s41597-020-00582-3 ,
26. Poor Indoor Air Quality Linked To Low Worker Productivity. (2017, February 27). Retrieved May 10, 2023, https://www.triplepundit.com/story/2017/poor-indoor-air-quality-linked-low-worker-productivity/19396
27. Smart Building Market Size, Share & Trends Analysis Report By Service (Implementation, Consulting), By Solution (Energy Management, Safety & Security Management), By End-use (Residential, Commercial), And Segment Forecasts, 2023 - 2030. Retrieved May 19, 2023, https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-smart-buildings-market
28. Smart Building Market Size, Share, Growth | Trends [2022-2029]. (n.d.). Retrieved March 25, 2023, from https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-building-market-101198
29. Smart Grid Research Unit. (2021). Building-level Electricity Consumption and Environmental Sensor Data. Energy Research Data, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University Chulalongkorn University. Retrieved January 20, 2023, from https://sgrudata.github.io/
30. Smith, D. (2022, September 2). Indoor Air Quality and HVAC Systems: How IAQ Monitoring Optimizes HVAC System Performance. Indoor Air Quality and HVAC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Systems. Retrieved May 10, 2023, https://learn.kaiterra.com/en/resources/indoor-air-quality-hvac-systems

31. Techtalkthai. (2019). [Guest Post] Big Data เทคโนโลยีติดปาก จะเข้ามาสอดรับกับธุรกิจในทุกอุตสาหกรรมได้อย่างไร? TechTalkThai. Retrieved May 20, 2023, https://www.techtalkthai.com/how-big-data-help-businesses-in-many-industries-by-computer-union/
32. Thailand Board of Investment. (2023). Thailand Investment Yearly Review 2019. Smart City A Solution to a more livable future. Vol.29, No.3. March 19th, Thailand Board of Investment BOI, Chatuchak Bangkok Thailand. Retrieved January 25, 2023, from https://www.boi.go.th/upload/content/TIR_Newsletter_March2019_NEW_5cb94487ea394.pdf
33. Thanachart, F. (2018, April 2). Big Data เพื่อสร้าง Digital Disruption ในองค์กร (ตอนที่ 1). WordPress.com. Retrieved May 20, 2023, https://thanachart.org/2017/04/22/big-data-%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87-digital-disruption-%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%84%E0/
34. The growing value of sensor data from smart buildings. (n.d.). Databroker. Retrieved April 19, 2023, https://www.databroker.global/about/usecase/marketplace-for-smart-building-sensor-data-set-to-explode
35. Three Lenses of Innovation Desirability | Viability | Feasibility. (n.d.). Retrieved March 25, 2023, from https://bim.ie/wp-content/uploads/2021/03/The-Innovation-Playbook-V2.pdf
36. Why Data Analytics in Buildings Can't Be Ignored. (n.d.). Retrieved May 8, 2023, https://www.buildingsiot.com/blog/why-data-analytics-in-buildings-cant-be-ignored-bd
37. เอกสารเผยแพร่ - SCG Sustainability. (2023, May 9). SCG Sustainability. https://www.scgsustainability.com/th/publications/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

38. โปรา, ว. (2564, January 1). ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศสำหรับที่อยู่อาศัยโดยใช้ขอบข่ายงานการเรียนรู้ของเครื่องบนคลาวด์. Retrieved March 25, 2023, from http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/80075
39. การส่งเสริมการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาของอุตสาหกรรมหรือนวัตกรรมดิจิทัล (Depa). (2023). Thailand Digital Technology Foresight 2035. P.18-P.213 Retrieved January 25, 2023, from
40. ข้อมูลคุณภาพอากาศ | CCDC : Climate Change Data Center. (n.d.). Retrieved May 10, 2023, https://www.cmuccdc.org/air-quality-information
41. ฐานเศรษฐกิจดิจิทัล. (2022, September 23). แนะ 4 แนวทาง องค์กรทำ Big Data Analytics รับมือ PDPA. Thansettakij. Retrieved May 20, 2023, https://www.thansettakij.com/tech/innovation/541420ข
42. ปรีชาธนพันธ, อ. (2019). Intelligent Building ด้วยระบบ MEP และเทคโนโลยี. industry-media.com. Retrieved May 10, 2023, https://industry-media.com/im/storytelling/item/6028-ktn-m-and-e
43. ฝุ่น PM2.5 และ AQI. (2020). Retrieved May 19, 2023, https://sensorforall.eng.chula.ac.th/knowledge/26
44. วิธีปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารและผลผลิต | Camfil. (n.d.). Camfil. Retrieved March 26, 2023, from https://www.camfil.com/th-th/insights/air-quality/how-to-improve-indoor-air-quality-and-productivity
45. สมปรารถนา สายสาคเรศ และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2021). แนวทางการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสำนักงาน: กรณีศึกษาอาคารที่มีการปรับปรุงพื้นที่ภายในเพื่อเป็นสำนักงาน. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2566, จากแหล่งที่มา https://bee.kku.ac.th/wp-content/uploads/2022/01/2021-v4-1-article6-641009.pdf

ภาคผนวก

แบบสอบถามความต้องการและการยอมรับนวัตกรรมของระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์

คำชี้แจง แบบสอบถามฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการทำวิจัยศึกษาค้นคว้าอิสระ ของ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (Master of Science Program in Technopreneurship and Innovation Management) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chulalongkorn University) โดยผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะเก็บข้อมูลเพื่อนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการทำการศึกษาวิจัยและจัดทำสารนิพนธ์

แบบสอบถามประกอบไปด้วยทั้งหมด 3 ส่วน
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
ส่วนที่ 2 พฤติกรรมของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร
ส่วนที่ 3 ความสนใจในนวัตกรรมของระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์

แบบสอบถามนี้จะเป็นการตอบคำถามแบบไม่ระบุตัวตน และคำตอบทั้งหมดจะถูกรวบรวมไว้เป็นความลับเพื่อทำการศึกษาข้อมูลเท่านั้น

* แบบสอบถามนี้อาจใช้เวลาในการทำ ประมาณ 5-7 นาที *
ขอขอบคุณทุกท่านที่กรุณาให้ข้อมูลตอบแบบสอบถาม
ขอบคุณค่ะ

* ระบุว่าเป็นคำถามที่จำเป็น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1 เพศ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ชาย
- หญิง
- LGBTQ+

2 อายุ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- 15 - 20 ปี
- 21 - 30 ปี
- 31 - 40 ปี
- 41- 50 ปี
- 51 - 60 ปี
- 60 ปีขึ้นไป

3 อาชีพ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- นักเรียน/นักศึกษา
- พนักงานบริษัท
- พนักงานรัฐวิสาหกิจ
- ข้าราชการ
- ธุรกิจส่วนตัว / อาชีพอิสระ
- อื่นๆ

4 พื้นที่ที่อยู่อาศัย *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- กรุงเทพ และ ปริมณฑล
- ต่างจังหวัด
- ต่างประเทศ

5 ประเภทที่อยู่อาศัย *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- บ้านเดี่ยว / หมู่บ้าน
- คอนโดมิเนียม
- อพาร์ตเม้นท์
- อื่นๆ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้บริโภค

พฤติกรรมของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

6 ท่านรู้จักอาคารอัจฉริยะหรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- รู้จัก
- ไม่รู้จัก

7 ท่านรู้จักระบบเซนเซอร์ใดต่อไปนี้ที่เกี่ยวข้องระบบคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ตอบได้มากกว่า 1ข้อ) *

(เลือกได้มากกว่าหนึ่งช่อง)

- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น PM2.5
- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศโดยรวม (AQI)
- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ
- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น
- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเข้มแสง
- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

8 ท่านเคยใช้อุปกรณ์อำนวยความสะดวกใดต่อไปนี้ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) *

(เลือกได้มากกว่าหนึ่งช่อง)

- [ ] แอพพลิเคชั่นแสดงผลค่าคุณภาพอากาศ (AQI)
- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น PM.2.5
- [ ] เครื่องกรองอากาศและเครื่องฟอกอากาศ
- [ ] เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น
- [ ] เครื่องทำความชื้นภายในอากาศ
- [ ] เซนเซอร์ตรวจความเข้มแสง
- [ ] อื่นๆ

9 ท่านคิดว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) *

(เลือกได้มากกว่าหนึ่งช่อง)

- [ ] ฝุ่น PM.2.5
- [ ] มลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นควันจากรถยนต์ ควันพิษจากการเผาไหม้
- [ ] เชื้อไวรัสโควิด-19
- [ ] พฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้งานภายในอาคาร
- [ ] สภาพอากาศทั่วไป
- [ ] ฝุ่นละอองทางธรรมชาติ
- [ ] อื่นๆ

10 ท่านคิดว่าพฤติกรรมของผู้ใช้งานในอาคารใดส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) *

(เลือกได้มากกว่าหนึ่งช่อง)

- [ ] ใช้เครื่องปรับอากาศเป็นเวลานาน
- [ ] เปิดหน้าต่าง/ประตู เพื่อระบายอากาศ
- [ ] ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร เช่น คอมพิวเตอร์ พัดลม แอร์
- [ ] ใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร
- [ ] ความหนาแน่นของผู้ใช้งานภายในอาคาร
- [ ] อื่นๆ

11 ท่านคิดว่าพื้นที่ใดภายในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศมากที่สุด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ( ) โถงทางเดินเปิดโล่ง
- ( ) ห้องทำงานขนาดเล็ก
- ( ) ห้องประชุมและห้องสำนักงานขนาดเล็ก
- ( ) ลิฟท์และโถงบันได
- ( ) สวนและพื้นที่สีเขียว
- ( ) พื้นที่อเนกประสงค์แบบเปิดโล่ง
- ( ) พื้นที่อเนกประสงค์แบบปิด เช่น ห้องนั่งเล่น นั่งพักผ่อน

12 หากท่านเป็นผู้ใช้งานภายในอาคาร สิ่งใดที่จะคำนึงถึงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพอากาศในพื้นที่ที่ท่านจะใช้งาน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) *

(เลือกได้มากกว่าหนึ่งช่อง)

- [ ] เปิดช่องเปิดภายในอาคาร เช่น ประตู หน้าต่าง
- [ ] ดูเซนเซอร์การแสดงผลค่าคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- [ ] ระบบกรองอากาศและฟอกอากาศภายในอาคาร
- [ ] การปรับปรุงพื้นที่ภายในอาคาร เช่น เพิ่มช่องเปิดอาคาร
- [ ] ใช้เครื่องฟอกอากาศแบบพกพาส่วนตัว
- [ ] อื่นๆ

13 หากท่านเป็นผู้ใช้งานภายในอาคาร สิ่งใดที่จะทำเมื่อได้รับผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) *

(เลือกได้มากกว่าหนึ่งช่อง)

- [ ] หยุดการใช้งานพื้นที่นั้นๆชั่วคราว
- [ ] ตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่
- [ ] ใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศ เช่น เครื่องฟอกอากาศ
- [ ] ลดจำนวนการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในพื้นที่
- [ ] เปิดช่องเปิดของอาคารเพื่อระบายอากาศ
- [ ] อื่นๆ

14 สิ่งใดที่ท่านใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการรับทราบถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) *

(เลือกได้มากกว่าหนึ่งช่อง)

- [ ] ค่าตัวเลขแสดงผลการวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร เช่น ค่าฝุ่น PM2.5
- [ ] แอพพลิเคชั่นแจ้งเตือนคุณภาพอากาศภายในอาคารจาก smart phone
- [ ] ข้อมูล/ข่าว จากเว็บไซต์และแหล่งพยากรณ์สภาพอากาศทั่วไป
- [ ] โซเชียลมีเดีย เช่น Facebook Instagram Twitter Tiktok

15 หากมีนวัตกรรมหรือเทคโลยีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร ควรเป็นลักษณะใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ◯ เพิ่มอุปกรณ์เซนเซอร์ปรับปรุงระบบคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- ◯ ปรับปรุงคุณภาพอากาศจากตัวระบบอาคารเอง เช่น ระบบบริหารอาคาร BEMS
- ◯ การแจ้งเตือนและควบคุมคุณภาพอากาศผ่านระบบ Smart things

ส่วนที่ 3 ความสนใจต่อระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์

ความสนใจในนวัตกรรมของระบบประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์

16 หากมีนวัตกรรมที่สามารถประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ ท่านมีความสนใจหรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ◯ สนใจ
- ◯ ไม่สนใจ

17 ท่านคิดว่าสามารถเข้าถึงข้อมูลการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารจากเซนเซอร์ได้มากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

	น้อยที่สุด
1	○
2	○
3	○
4	○
5	○
	มากที่สุด

18 ท่านคิดว่าการประมวลผลคุณภาพอากาศภายในอาคารมีความสำคัญต่อผู้ใช้งานอาคารมากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

	น้อยที่สุด
1	○
2	○
3	○
4	○
5	○
	มากที่สุด

19 ท่านคิดว่าการใช้เซนเซอร์เพื่อประมวลคุณภาพอากาศภายในอาคารมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

	น้อยที่สุด
1	○
2	○
3	○
4	○
5	○
	มากที่สุด

20 ท่านคิดว่าการประมวลคุณภาพอากาศมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารมากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

	น้อยที่สุด
1	○
2	○
3	○
4	○
5	○
	มากที่สุด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนินาถ รักษ์บางแหลม
วัน เดือน ปี เกิด	09 สิงหาคม 2539
สถานที่เกิด	นราธิวาส
วุฒิการศึกษา	การศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาตร์บัณฑิต สาขาวิชาก สถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2561 การศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม สหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	กรุงเทพมหานคร,ประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University