ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงกับการออกแบบพลังงานหมุนเวียน เพื่อไปสู่อาคารพักอาศัยปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

น.ส.อภิญญา เวชกามา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Impact of Renewable Energy Design Requirement on Net-Zero Carbon Residential Building Under Potential Future Climate Change Scenarios

Miss Apinya Wetchakama

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
FACULTY OF ARCHITECTURE
Chulalongkorn University
Academic Year 2022
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงกับการออกแบบพลังงานหมุนเวียน เพื่อไปสู่อาคารพักอาศัยปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์
โดย	น.ส.อภิญญา เวชกามา
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรายุทธ ทรัพย์สุข)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สริน พินิจ)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อภิญญา เวชกามา : ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงกับการออกแบบพลังงานหมุนเวียน เพื่อไปสู่อาคารพักอาศัยปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์. (Impact of Renewable Energy Design Requirement on Net-Zero Carbon Residential Building Under Potential Future Climate Change Scenarios) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

ในสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในปัจจุบันและอนาคต อาจส่งผลให้การจำลองประสิทธิภาพอาคารมีความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากไฟล์ข้อมูลอากาศที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองนั้น เป็นข้อมูลในช่วงปี ค.ศ.1990 และยังไม่มีข้อมูลที่คำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในปัจจุบันและอนาคต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างไฟล์อากาศของกรุงเทพฯ ที่เป็นไปตามการคาดคะเนผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคตของ IPCC เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลอากาศที่ส่งผลกระทบต่อการนำไปใช้ในการจำลองการใช้พลังงานของอาคารที่มีเป้าหมายเป็น Net Zero Carbon งานวิจัยนี้ได้ทำการนำข้อมูลอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยในกรุงเทพฯ มาใช้เป็นอาคารกรณีศึกษา โดยทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร จากนั้นวิเคราะห์ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานตลอด 60 ปีข้างหน้า เพื่อนำผลรวมของการใช้พลังงานไปใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารตลอดช่วงชีวิตอาคาร 60 ปี (LCA) และเสนอแนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ด้วยวิธีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่า ตลอดช่วงชีวิตอาคาร 60 ปี ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ผลการจำลองการใช้พลังงานโดยการใช้ไฟล์อากาศที่สร้างขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศนั้น อาคารมีการใช้พลังงานในอาคารเพิ่มมากขึ้นเป็น 43% เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ได้คำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ซึ่งส่งผลให้ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 40% เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ได้คำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และหากพิจารณาเรื่องการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์นั้น การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นเป็น 40% เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ได้คำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....

6372026825 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: Climate change future weather files Building life cycle assessment Net zero carbon emission Renewable energy

Apinya Wetchakama : Impact of Renewable Energy Design Requirement on Net-Zero Carbon Residential Building Under Potential Future Climate Change Scenarios. Advisor: Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

This research investigates the potential impacts of climate change on building performance and carbon emissions in the context of Bangkok. The study focuses on residential condominiums as a case study and aims to create a weather file that reflects future climate change scenarios. Energy consumption in the buildings is simulated for one year, and the changes in energy consumption over a 60-year period are analyzed to assess the building's life cycle assessment (LCA). Additionally, carbon offsetting strategies using solar photovoltaic (PV) generation systems are proposed. The results show that considering climate change scenarios leads to a 43% increase in energy consumption compared to simulations without considering climate change. This, in turn, results in a 40% increase in carbon emissions. To achieve net zero carbon, the installation of solar PV generation would need to produce 40% more electricity compared to scenarios without considering climate change. These findings emphasize the importance of considering climate change in building performance assessments and highlight the potential for solar PV systems to compensate for carbon emissions.

Field of Study:	Architecture	Student's Signature ....
Academic Year:	2022	Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศ.ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร และ อ.ดร. สริน พินิจ ที่ให้คำแนะนำแนวทาง สนับสนุนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ รศ.ดร ชนิกานต์ ยิ้มประยูร และ ผศ.ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ตลอดช่วงการศึกษาไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ในการอำนวยความสะดวกตลอดการศึกษา รวมถึงทุนอุดหนุนผู้ช่วยอาจารย์ที่เป็นค่าใช้จ่ายบางส่วนระหว่างช่วงการศึกษา

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนคนสำคัญ ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมถึงนิสิต ที่ศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม และสาขาอื่นๆ ทุกคน ที่เข้าศึกษาพร้อมกัน ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างมากที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อภิญญา เวชกามา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

.... ค

บทคัดย่อภาษาไทย.. ค

....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..ง

กิตติกรรมประกาศ... จ

สารบัญ.. ฉ

สารบัญตาราง... ฌ

สารบัญภาพ .... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 8

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 9

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย.. 9

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.. 10

1.6 สมมติฐานในการวิจัย 11

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

2.1 สภาพภูมิอากาศที่กำลังเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากภาวการณ์เปลี่ยนแปลง............................. 12

2.2 ไฟล์ข้อมูลอากาศ 15

2.3 สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตที่เป็นผลจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลง 16

2.4 การวิเคราะห์ไฟล์ข้อมูลอากาศ... 18

2.5 การใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในต่างประเทศ 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 เกณฑ์การประเมินวัฏจักรชีวิต....19
2.7 แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนในอนาคต....20
2.8 แหล่งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้า....22
2.8.1 โครงการ T-VER มาตรฐานขั้นสูง....22
2.8.2 โครงการ T-VER มาตรฐาน และโครงการ LESS....22
2.9 คำจำกัดความของ Zero-Carbon Building....23
2.10 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์....24
2.11 ผลกระทบต่อข้อกำหนดการออกแบบพลังงานหมุนเวียนในอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์....26
2.12 อาคารพักอาศัยในกรุงเทพ ฯ....27
สรุปจากการทบทวนวรรณกรรม....28
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย....29
3.1 แผนการดำเนินงาน....29
3.2 สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศ....30
3.3 วิเคราะห์ข้อมูลอากาศ....32
3.4 การสร้างอาคารอ้างอิง....33
3.5 ทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร ในแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศ....36
3.6 วิเคราะห์และประเมินผลจากการจำลอง....40
3.7 การคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร 60 ปี....40
3.8 ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม....41
3.9 การศึกษาการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ด้วยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์....44
บทที่ 4 ผลการวิจัย....48
4.1 ผลการวิเคราะห์ไฟล์ข้อมูลอากาศ....48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา 1 ปี..59

4.3 ผลการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร 60 ปี...63

4.4 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร 66

4.5 การชดเชยการปล่อยคาร์บอน (ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร กรณีศึกษา)...70

4.6 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์..73

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 79

5.1 สรุปผลการวิจัย 81

5.2 ข้อเสนอแนะ 87

บรรณานุกรม..88

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการศึกษาไฟล์ข้อมูลอากาศตั้งต้น..93

ภาคผนวก ข. การศึกษาแบบอาคารอ้างอิง 95

ภาคผนวก ค. รายละเอียดผลการประเมินวัฏจักรชีวิต (One Click LCA)..97

ประวัติผู้เขียน..104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต หรือการใช้ไฟฟ้าสำหรับโครงการ T-VER มาตรฐานขั้นสูง 22

ตารางที่ 2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับผลิต หรือการใช้ไฟฟ้าสำหรับโครงการ T-VER มาตรฐาน และโครงการ LESS..... 23

ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยกรณีศึกษา..... 35

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนของวัสดุ (ข้อมูลจากโปรแกรม OneClick LCA) 42

ตารางที่ 5 การตั้งค่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 45

ตารางที่ 6 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด ตลอดทั้งปี ของทุกไฟล์ข้อมูลอากาศ 49

ตารางที่ 7 ผลการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศแต่ละปีในการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา..... 59

ตารางที่ 8 ผลรวมการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร ตลอด 60 ปี 70

ตารางที่ 9 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)..... 98

ตารางที่ 10 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)..... 99

ตารางที่ 11 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)..... 100

ตารางที่ 12 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)..... 101

ตารางที่ 13 ข้อมูลการจัดลำดับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย เปรียบเทียบกับ เอเชีย และทั่วโลก (OneClick LCA)..... 102

ตารางที่ 14 รายละเอียดของผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในแต่ละส่วน (A1-D) (OneClick LCA) 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวโลก 1

ภาพที่ 2 ภาพแนวโน้มของอุณหภูมิใกล้ผิวโลกที่สูงขึ้น โดยเป็นผลมาจากการขยายตัวของเมืองต่าง ๆ 2

ภาพที่ 3 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในประเทศไทย 3

ภาพที่ 4 การปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคพลังงานจำแนกตามชนิด ปี พ.ศ. 2564 3

ภาพที่ 5 การใช้ไฟฟ้ารายสาขา ปี ค.ศ. 2022 4

ภาพที่ 6 ตัวอย่างแผนภูมิเปรียบเทียบการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในอดีต และไฟล์อากาศในอนาคต 7

ภาพที่ 7 Future Global Climate : Scenario-based Projections and Near-term Information 14

ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบข้อมูลสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงของกรุงเทพฯ (สนามบินดอนเมือง) กับแนวโน้มการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของอากาศในระยะยาวของ IPCC ในระดับภูมิภาค 17

ภาพที่ 9 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต 20

ภาพที่ 10 แสดงแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนทั่วโลก 21

ภาพที่ 11 แสดงแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนในประเทศไทย 21

ภาพที่ 12 แนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนด้วยการจัดหาพลังงานหมุนเวียน 25

ภาพที่ 13 Global Warming Potential of The Variants According to The Life Cycle Stages 26

ภาพที่ 14 คอนโดมิเนียมสร้างแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 2010-2027F 27

ภาพที่ 15 แผนการดำเนินงานวิจัย 30

ภาพที่ 16 โปรแกรม CCWorldWeatherGen 31

ภาพที่ 17 การแปลงไฟล์ข้อมูลอากาศให้อยู่รูปแบบตัวเลข หรือไฟล์ CSV ในโปรแกรม Excel เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของไฟล์ข้อมูลอากาศ 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 18 สัดส่วนของรูปแบบการวางผนังอาคาร จากการสำรวจอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย จำนวน 10 หลัง ที่จะสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2566 34

ภาพที่ 19 แบบอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยอ้างอิงในการศึกษา 36

ภาพที่ 20 หุ่นจำลองในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006 36

ภาพที่ 21 การตั้งค่าวัสดุเปลือกอาคารในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006 37

ภาพที่ 22 การตั้งค่าตารางการใช้งานอาคารในวันจันทร์-ศุกร์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006 37

ภาพที่ 23 การตั้งค่าตารางการใช้งานอาคารในวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006 38

ภาพที่ 24 การตั้งค่าการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ วันจันทร์-ศุกร์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006 38

ภาพที่ 25 การตั้งค่าการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006 39

ภาพที่ 26 การแปลงค่าไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (IWECC) เพื่อให้ข้อมูลเข้ากันได้กับโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006 39

ภาพที่ 27 การตั้งค่าการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารในโปรแกรม One Click LCA 44

ภาพที่ 28 การตั้งค่าการจำลอง การติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้า ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยกรณีศึกษา 46

ภาพที่ 29 การตั้งค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยกรณีศึกษา 46

ภาพที่ 30 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีของไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 49

ภาพที่ 31 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยใน 1 ปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 50

ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนใน 1ปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 51

ภาพที่ 33 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 52

ภาพที่ 34 ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 53

ภาพที่ 35 ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 53

Chulalongkorn University

ภาพที่ 36 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 54

ภาพที่ 37 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ 55

ภาพที่ 38 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 56

ภาพที่ 39 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 57

ภาพที่ 40 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050 57

ภาพที่ 41 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 58

ภาพที่ 42 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง 60

ภาพที่ 43 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 ในการจำลอง 60

ภาพที่ 44 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050 ในการจำลอง 61

ภาพที่ 45 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 ในการจำลอง 61

ภาพที่ 46 การใช้พลังงานรวมและการใช้พลังงานแยกตามประเภทใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศแต่ละปีในการจำลอง 63

ภาพที่ 47 ผลการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา ด้วยค่าคงที่ตลอด 60 ปี 65

ภาพที่ 48 ผลการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา ด้วยค่าแบบที่เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ 65

ภาพที่ 49 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน A1-C4 เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 67

ภาพที่ 50 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน A1-C4 เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 67

ภาพที่ 51 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน B6 เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 กับการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 52 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน B6 เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 กับการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 69

ภาพที่ 53 สมการการคำนวณการชดเชยการปล่อยคาร์บอน 71

ภาพที่ 54 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (บนพื้นที่หลังคาของอาคารกรณีศึกษา) เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020-2080 72

ภาพที่ 55 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (บนพื้นที่หลังคาของอาคารกรณีศึกษา) เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020-2080 (กรณีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง) 73

ภาพที่ 56 สมการการคำนวณการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์....................................... 73

ภาพที่ 57 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ปี ค.ศ. 2020-2080..................... 76

ภาพที่ 58 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ปี ค.ศ. 2020-2080 (กรณีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง) 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

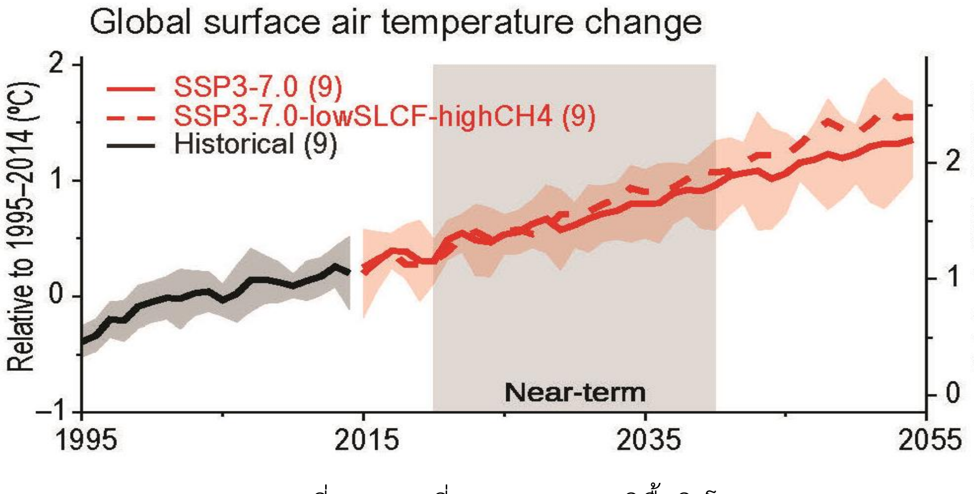
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) คือ การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์โดยตรงหรือโดยอ้อมที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศโลกนอกเหนือไปจากความแปรปรวนของสภาพอากาศตามธรรมชาติ ที่สังเกตพบในช่วงเวลาที่เปรียบเทียบกันได้ (UNFCC, 2011)

ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate change : IPCC) ของสหประชาชาติได้จัดทำรายงานฉบับที่ 6 (IPCC's Sixth Assessment Report : AR6) ขึ้นในปี ค.ศ. 2021 เพื่อรายงานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก โดยศึกษาอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกพบว่าในช่วงปี ค.ศ. 1955-2055 โลกมีแนวโน้มของอุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 2 °C และได้มีคำมั่นสัญญาเพื่อบรรลุเป้าหมายการควบคุมอุณหภูมิเพื่อไม่ให้เพิ่มเกิน 1.5 °C แสดงในภาพที่ 1 (IPCC:AR6, 2022) ที่ตั้งไว้ในการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงอากาศ สมัยที่ 26 (COP26) โดยแนวทางไปสู่เป้าหมายคือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ. 2050 หรือ พศ. 2593 (Nations, 2021)

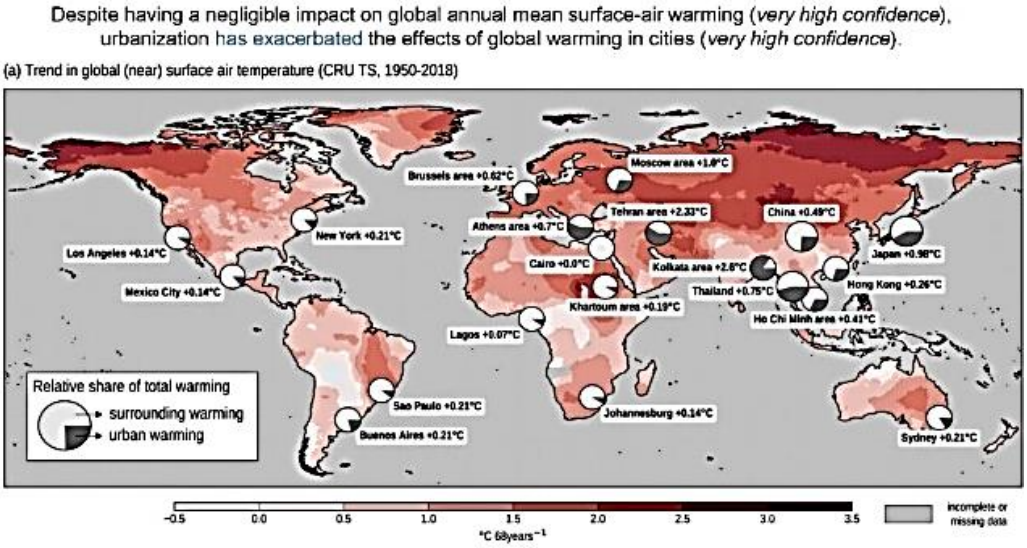
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวโลก

ที่มา: Future Global Climate : (IPCC:AR6, 2022)

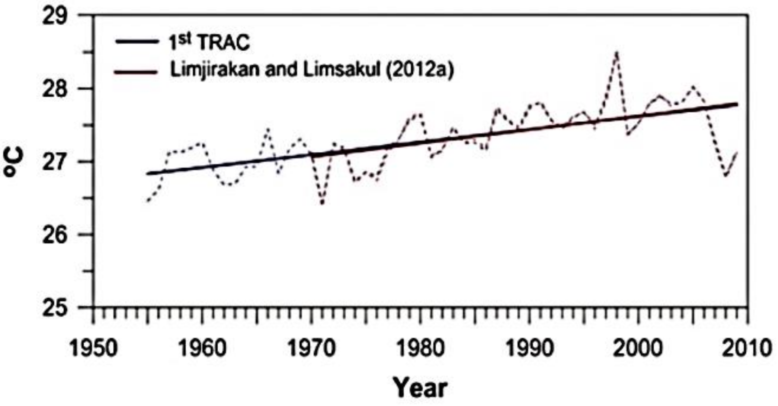
ข้อมูลจาก IPCC (Reginal Fact Sheet : Urban Area) พบว่า แม้ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อความร้อนเฉลี่ยประจำปีของโลก แต่การขยายตัวของเมืองก็มีส่วนทำให้ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนในเมืองใหญ่ ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยในประเทศไทย การขยายตัวของเมืองนั้น ส่งผลให้ตลอดระยะเวลา 68 ปี (ปี ค.ศ. 1950-2018) ที่ผ่านมา มีแนวโน้มอุณหภูมิใกล้พื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น 0.75 °C แสดงในภาพที่ 2 (IPCC, 2021b)



ภาพที่ 2 ภาพแนวโน้มของอุณหภูมิใกล้ผิวโลกที่สูงขึ้น โดยเป็นผลมาจากการขยายตัวของเมืองต่าง ๆ
ที่มา: (IPCC, 2021b)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยประเทศไทย ได้มีรายงาน IPCC & TARC องค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกและไทย ปี ค.ศ. 2020 ได้รายงานว่า มีอุณหภูมิของไทยเฉลี่ยสูงขึ้น 0.33-0.94 °C ในช่วงปี ค.ศ. 1955-2012 แสดงในภาพที่ 3 (THAI-GLOB, 2016)

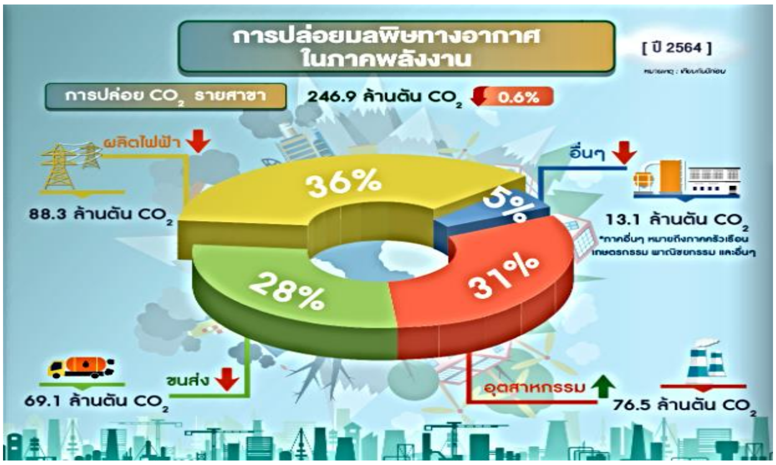


ภาพที่ 3 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในประเทศไทย

ที่มา: รายงาน IPCC & TARC (THAI-GLOB, 2016)

นอกจากปัญหาเรื่องสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในปัจจุบัน และในอนาคตนั้น การออกแบบที่ดีควรพิจารณาเรื่องการใช้พลังงานในอาคารด้วย โดยพลังงานที่ใช้มากที่สุดคือ พลังงานไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในการปรับอากาศในอาคาร โดยการใช้ไฟฟ้านั้นจะทำให้เกิดการปล่อยมลพิษหรือการปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศ อันจะทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปริมาณมากที่สุด โดยรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย ได้รายงานการปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคพลังงาน ของปี พ.ศ. 2564 ที่จัดทำโดยกระทรวงพลังงาน พบว่า ภาคการผลิตไฟฟ้ามีสัดส่วนการปล่อยคาร์บอนสูงสุด โดยคิดเป็น 88.3 ล้านตัน CO_2 หรือคิดเป็นร้อยละ 36 แสดงในภาพที่ 4 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2022)

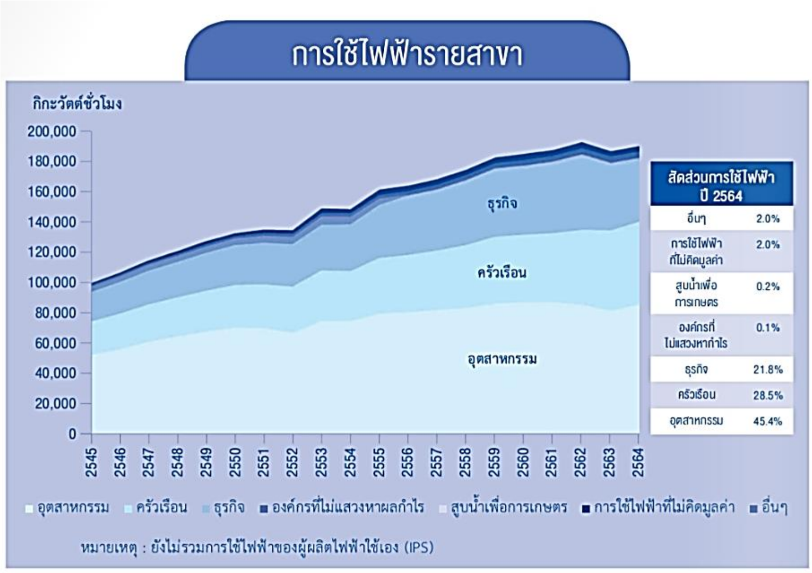
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4 การปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคพลังงานจำแนกตามชนิด ปี พ.ศ. 2564

ที่มา: (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2022)

และการใช้ไฟฟ้ารายสาขา พบว่าการใช้ไฟฟ้าในภาคครัวเรือนมากเป็นอันดับ 2 (แถบสีฟ้า) รองลงมาจากการใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม (แถบสีฟ้าอ่อน) โดยมีสัดส่วนเป็นร้อยละ 28.5 ของสัดส่วนการใช้ทุกสาขา แสดงในภาพที่ 5 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2022)



ภาพที่ 5 การใช้ไฟฟ้ารายสาขา ปี ค.ศ. 2022

ที่มา: รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2022)

เพื่อบรรลุเป้าหมายคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ทั่วโลกภายในปี ค.ศ. 2050 ปัจจุบันในหลายๆ ประเทศได้เล็งเห็นความสำคัญและได้จัดทำเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เริ่มคำนึงถึงปัญหาภาวะโลกร้อนและสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงที่กำลังเกิดขึ้นแล้ว เช่น เกณฑ์ BREEAM (Building Research Establishment’s Environmental Assessment Method) ที่ถูกสร้างขึ้นโดย Building Research Establishment (BRE) ในประเทศอังกฤษ ซึ่งในเกณฑ์ BREEAM 2014 นั้น ได้ตั้งข้อกำหนดเพิ่มขึ้นมาเกี่ยวกับการปรับตัวต่อภาวะโลกร้อน เช่น ในหมวด Thermal Comfort ที่มีการกำหนดให้จำลองประสิทธิภาพอาคารในเรื่องสภาวะน่าสบายภายใต้สภาพการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วย โดยกำหนดปีที่ทำการประเมินคือปี ค.ศ. 2050 สำหรับอาคารที่ไม่ปรับอากาศ และปี ค.ศ. 2030 สำหรับอาคารที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ (BREEAM, 2014) และนอกจากนั้น BREEAM Net Zero Carbon 2020 ยังสนับสนุน Solution การลดการปล่อยคาร์บอนในสภาพแวดล้อม อสังหาริมทรัพย์ และการลงทุนอื่นๆที่เกี่ยวข้องอีกด้วย (BREEAM, 2020)

เกณฑ์ LEED Zero (2018) ออกโดย United States Green Building Council (USGBC) จัดทำขึ้นเพื่อลดผลกระทบของอาคารที่มีต่อสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งเป็น 4 หมวดหมู่หลัก คือ 1. LEED Zero Carbon 2. LEED Zero Energy 3. LEED Zero Water 4. LEED Zero Waste ซึ่งเป็นส่วนเสริมของอาคารเดิมที่ผ่านเกณฑ์ของ LEED BD+C และ O+M (LEED, 2018) และยังมีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตอาคาร หรือ IEA ANNEX 72 Assessing Life Cycle Related Environmental Impact Caused by Buildings สร้างขึ้นโดย IEA (The International Energy Agency) เพื่อกำหนดแนวทางปฏิบัติร่วมกันเพื่อประเมินความต้องการพลังงานหลักของอาคาร การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอาคาร จากความร่วมมือของ 25 ประเทศทั่วโลก โดยแนวทางจะสอดคล้องกันกับเกณฑ์การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร หรือ LCA (Life Cycle Assessment) ของระดับชาติที่ใช้ในการก่อสร้าง (IEA, 2016)

อีกหนึ่งเครื่องมือสำคัญคือ เกณฑ์การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (Life cycle Assessment : LCA) คือเกณฑ์การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การผลิตจนสิ้นอายุการใช้งาน รวมถึงการรีไซเคิล ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 14040:2006 โดยพิจารณาใน 3 ด้าน คือ สุขภาพของมนุษย์ สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ และ ทรัพยากรธรรมชาติ โดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่เป็นผลมาจากการก่อสร้าง การใช้พลังงาน และวัสดุประกอบอาคาร ที่เกิดขึ้นกับโครงการที่สร้างขึ้นใหม่ และโครงการปรับปรุง ดังนั้น LCA จึงได้รับพิจารณาว่าเป็นเครื่องมือในการลดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และรักษามลพิษทางอากาศ น้ำ และดิน ที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงอายุของอาคาร โดยการศึกษาเมื่อเร็ว ๆ นี้ในยุโรป ปี ค.ศ. 2010 ได้นำ LCA ไปใช้เพื่อหาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉลี่ยกับที่อยู่อาศัยต้นแบบ 24 แบบ เพื่อกำหนดค่ามาตรฐาน หรือบรรทัดฐาน ของปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในที่พักอาศัย เพื่อพัฒนานโยบายของสหภาพยุโรป (Construction21, 2019)

แนวคิดของอาคารที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์กำลังได้รับความสนใจจากนานาชาติอย่างกว้างขวางในปัจจุบันและถือเป็นเส้นทางหลักในการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของทั่วโลก โดยจากการศึกษางานวิจัยของ Satola et al. (2021) ได้สรุปข้อมูลการทบทวนแนวทางการประเมินจาก 35 แนวทาง โดยแนวทางการประเมินนี้เป็นไปตาม IEA EBC Annex 72 on “Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings” ที่มีนักวิจัย

จาก 25 ประเทศเข้าร่วมการทำแบบประเมิน โดย 11 ประเทศ เลือกใช้แนวทาง หลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการผลิตพลังงานหมุนเวียน (“Avoided” GHG Emission from Renewable Energy Generation) โดยใช้ตัวเลือก 5 ตัวเลือกนี้ คือ การผลิตพลังงานหมุนเวียนบนพื้นที่อาคาร (On Building Area) การผลิตพลังงานหมุนเวียนในสถานที่โครงการและนำมาใช้ในโครงการ (On-Site from On-Site Renewable Energy) การนำพลังงานหมุนเวียนจากนอกโครงการเข้ามาใช้ภายในโครงการ (On-Site from Off-Site Renewable Energy) การผลิตพลังงานหมุนเวียนภายนอกโครงการ (Off-Site Generation) และสุดท้ายการ คือการจัดหาพลังงานหมุนเวียนจากภายนอกโครงการ (Off-Site Supply) และ 4 ใน 11 ประเทศนี้ เลือกการคำนวณการชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดอายุการใช้งานอาคาร (Building Lifetime Emissions Compensation)

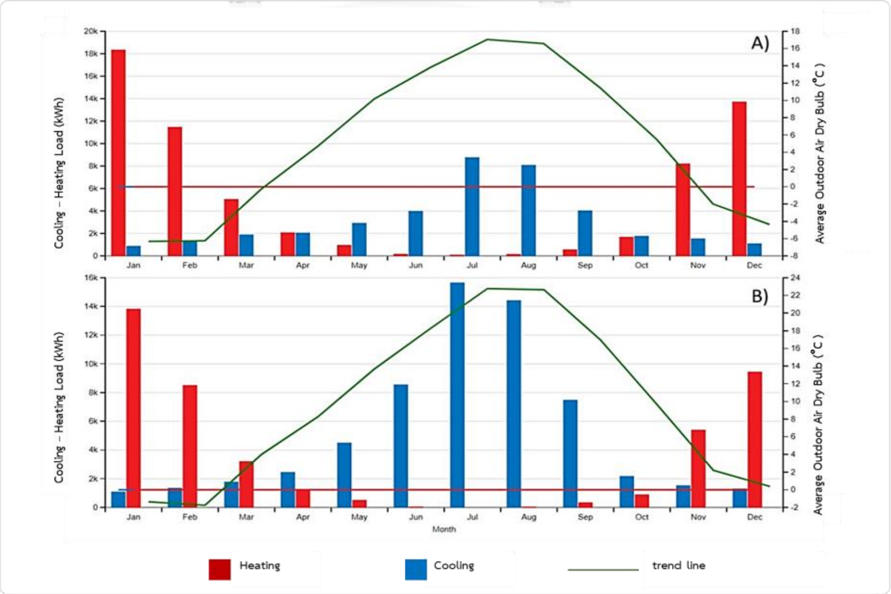
อย่างไรก็ดี การจะทราบถึงพลังงานที่ใช้ในอาคาร หรือการคำนวณการปล่อยคาร์บอนของอาคารจำเป็นต้องมีการจำลองประสิทธิภาพอาคาร โดยทั่วไปในการจำลองประสิทธิภาพอาคารทั้งในเรื่องของการใช้พลังงานอาคาร แสงธรรมชาติ ลม หรือสภาวะน่าสบายในอาคาร สิ่งที่จำเป็นสำคัญที่ต้องใช้ในการจำลอง คือ ข้อมูลอากาศรายชั่วโมง (Weather Files) ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศในท้องถิ่น รวมถึงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วและทิศทางลมที่เข้าสู่ตัวอาคาร ตลอดจน รังสีดวงอาทิตย์ และเมฆที่ปกคลุมอยู่ โดยทั้งหมดถูกสร้างขึ้นจากการบันทึกของสถานีตรวจอากาศ ซึ่งเป็นข้อมูลในอดีต ดังนั้น การใช้ข้อมูลในอดีตเพียงอย่างเดียวเพื่อการจำลองประสิทธิภาพอาคาร อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากอาคารนั้นถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานหลายสิบปี เมื่อสภาพอากาศร้อนขึ้น นั่นหมายถึงการประมาณการใช้พลังงานจะแตกต่างกันในอนาคต (ClimateData.ca, 2018) โดยข้อมูลอากาศของกรุงเทพฯ ปีปัจจุบัน เป็นข้อมูลอากาศที่ได้จากการเก็บในปี ค.ศ. 1983-1999 (EnergyPlus, 1996) ซึ่งเห็นได้ว่าไม่มีการเพิ่มเติมข้อมูลในเรื่องสภาพการเปลี่ยนแปลงของอากาศในปัจจุบัน และอนาคต

ดังนั้น การออกแบบอาคารที่ดี จึงจำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยวิธีที่จะบรรลุเป้าหมายนี้คือการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคต หรือที่เรียกว่า Future Weather Files ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งทาง PCIC (Energy Pacific Climate Impacts Consortium) ได้ใช้เทคนิค “Morphing” หรือ การรวบรวมข้อมูลอากาศในปัจจุบัน รวมเข้ากับผลการสร้างภาพจำลองสภาพอากาศในอนาคตของ IPCC เพื่อปรับปรุงไฟล์ข้อมูลอากาศในอดีต ในรูปแบบไฟล์ข้อมูลอากาศรายปี (Typical Meteorological Year : TMY) โดยใช้การสร้างภาพจำลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและความเสี่ยงในอนาคต หรือที่เรียกว่า Representative Concentration Pathway โดยใช้ RCP 8.5: Business As Usual or A Worst Case Scenario ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ และแม่นยำของความเข้มข้นของคาร์บอนในชั้นบรรยากาศโลกที่เลวร้ายที่สุดที่จะมาถึง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ IPCC ว่าเป็นสถานการณ์ที่ไม่ได้พยายามที่จะลดหรือกำจัดการปล่อยมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศเลย โดยปรับปรุงไฟล์ทั้งหมด 3 ไฟล์ตามช่วงเวลาต่อไปนี้ ปี ค.ศ. 2011-2040 (หรือเรียกว่าไฟล์อากาศปี ค.ศ.2020) ปี ค.ศ. 2041-2070 (หรือเรียกว่าไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2050) และปี ค.ศ. 2071-2100 (หรือเรียกว่าไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2080)

ตัวอย่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคต เปรียบเทียบกับการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในปัจจุบันในการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร พบว่ามีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด โดยแถบสีน้ำเงินบนกราฟแสดงถึงปริมาณการใช้พลังงานการทำความเย็น แถบสีแดงแสดงถึงปริมาณการใช้พลังงานการทำความร้อน ในกราฟด้านบน พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานการทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงมีความต้องการการทำความเย็นที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในฤดูร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานการทำความเย็นเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในอดีต (กราฟด้านล่าง) แสดงในภาพที่ 6 (ClimateData.ca, 2018)



ภาพที่ 6 ตัวอย่างแผนภูมิเปรียบเทียบการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในอดีต และไฟล์อากาศในอนาคต

ที่มา: Climate Data Action: Future Weather Files (ClimateData.ca, 2018)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นถึงปัญหาและความสำคัญของการลดการปล่อยคาร์บอน ซึ่งส่งผลให้เกิดการศึกษาเรื่องการชดเชยการปล่อยคาร์บอนด้วยวิธีต่าง ๆ ตามมา โดยเลือกวิธีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก (Satola et al., 2021) จึงนำไปสู่การตั้งคำถามงานวิจัยว่า "การจะทำให้อาคารพักอาศัยปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ตลอดช่วงชีวิตอาคาร ด้วยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตนั้นจะเป็นไปได้ยากมากขึ้นเพียงใด และต้องใช้การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากเท่าไหร่" ซึ่งสนับสนุนแนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนของประเทศไทยโดยศึกษาในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1. เพื่อศึกษา วิเคราะห์และพิจารณาเปรียบเทียบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศของประเทศไทย ที่เป็นไปตามการคาดคะเนผลกระทบจากสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงในอนาคต (ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) และไฟล์อากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990)

1.2.2. เพื่อประเมินการใช้พลังงานของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยในกรุงเทพฯ เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ และพิจารณาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารเมื่อใช้ไฟล์อากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2.3. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (60 ปี) ของอาคาร เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) และพิจารณาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารเมื่อใช้ไฟล์อากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990)

1.2.4. เพื่อเสนอแนวทางการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เพื่อชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ตลอดช่วงชีวิตอาคาร (60 ปี) เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) และพิจารณาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารเมื่อใช้ไฟล์อากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1. ศึกษาในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยในกรุงเทพฯ ที่มีพื้นที่ไม่เกิน 10,000 ตร.ม. และสูงไม่เกิน 23 ม.

1.3.2. ศึกษาโดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศของกรุงเทพฯ ปีปัจจุบัน ซึ่งเป็นข้อมูลอากาศ IWEC (International Weather Year For Energy Calculation) ที่สร้างโดย EnergyPlus และไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตที่สร้างขึ้นใหม่

1.3.3. ศึกษาและประเมินการใช้พลังงานในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ และเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารเมื่อใช้ไฟล์อากาศปีปัจจุบัน โดยใช้โปรแกรม DesignBuilder

1.3.5. ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (60 ปี) โดยใช้ซอฟแวร์ One Click LCA

1.3.6. ศึกษาการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ตลอดช่วงชีวิตของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

1.4.1. ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2. กำหนดรูปแบบอาคารอ้างอิงจากการสำรวจอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยในกรุงเทพฯ บนสื่ออินเทอร์เน็ต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4.3. สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990)

1.4.4. ศึกษาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคารช่วงอยู่อาศัย ตลอด 1 ปี เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) และเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารต่อตารางเมตรต่อปี เมื่อใช้ไฟล์อากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) โดยการจำลอง ผ่านโปรแกรม DesignBuilder

1.4.5. ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารตลอด 60 ปี โดยการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ที่เป็นค่าคงที่ตลอด 60 ปี

1.4.6. ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารตลอด 60 ปี โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของผลการจำลองการใช้พลังงานเมื่อใช้ไฟล์อากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) เพื่อหาค่า

การใช้พลังงานในทุก ๆ ปี ไปตลอด 60 ปี จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารโดยใช้ค่าที่ตลอด 60 ปี เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990)

1.4.7. ศึกษาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร 60 ปี เมื่อใช้ผลการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานคงที่ตลอด 60 ปี พิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารโดยใช้ค่าที่สอดคล้องไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต และใช้ค่า Emission Factor ตามฐานข้อมูลของ CEIC

1.4.8. ศึกษาการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่อาคาร และพิจารณาเปรียบเทียบเมื่อต้องการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเสนอแนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดช่วงชีวิตอาคาร 60 ปี ภายใต้เงื่อนไข การใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน และผลการคำนวณการใช้พลังงานโดยใช้ค่าคงที่ และการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่และผลการคำนวณการใช้พลังงานโดยใช้ค่าที่สอดคล้องไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. ทราบถึงสาระสำคัญของ Climate Change หรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในอนาคต ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ในอนาคต เมื่อเทียบกับไฟล์ข้อมูลอากาศในปีปัจจุบัน

1.5.2. ทราบถึงผลกระทบของไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ในอนาคตนั้น ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย ทั้งในระยะเวลา 1 ปี และตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5.3. ทราบถึงปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอด 60 ปี ของอาคารพักอาศัย เมื่อคำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ

1.5.4. ทราบถึงการไปสู่อาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ด้วยวิธีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีความสำคัญในการช่วยลดการปล่อยคาร์บอนในภาคอาคารพักอาศัย

1.6 สมมติฐานในการวิจัย

การใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่เป็นข้อมูลที่สอดคล้องกับสภาพอากาศในปัจจุบันและอนาคตนั้นย่อมส่งผลกระทบให้เมื่อนำไปใช้ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร มีการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่ใช้ข้อมูลในอดีต และเมื่อประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร 60 ปี ทำให้มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น และต้องใช้ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อชดเชยการปล่อยคาร์บอน 100% หากอาคารมีเป้าหมายไปสู่อาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ ดำเนินการโดยการศึกษาแนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างไฟล์อากาศในอนาคต และการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ตลอดชีวิตอาคาร โดยมีคำสำคัญที่แสดงในงานวิจัยนี้หลายคำ ซึ่งได้กำหนดความหมายและคำจำกัดความไว้ ดังนี้

"Weather Data File" หมายถึง ไฟล์ข้อมูลอากาศ

"Future Weather Data File" หมายถึง ไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคต

"Emission Factor" หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน

"Building Life Cycle Assessment: LCA" หมายถึง การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร คือการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดการดำรงอยู่ของอาคาร ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบไปจนถึงขั้นตอนการก่อสร้าง การใช้งาน และการรื้อถอนและการกำจัดทิ้งในที่สุด

"Renewable Energy" หมายถึง พลังงานหมุนเวียน

"Photovoltaic (PV) cell" หมายถึง ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คือเทคโนโลยีการเก็บและแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้าผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Photovoltaic effect

"Emission Compensate" หมายถึง การชดเชยการปล่อยมลพิษ โดยมีเป้าหมายเพื่อทำให้การปล่อยมลพิษเป็นกลาง เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นกลาง ในเชิงบวกหรือเป็นศูนย์

2.1 สภาพภูมิอากาศที่กำลังเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากภาวการณ์เปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) คือ การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์โดยตรงหรือโดยอ้อมที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศโลก และนอกเหนือไปจากความแปรปรวนของสภาพอากาศตามธรรมชาติ ที่สังเกตพบในช่วงเวลาที่เปรียบเทียบกันได้ (UNFCC, 2011) และจากรายงานฉบับที่ 5 IPCC's Fifth Assessment Report :AR5 ของ IPCC:AR5 (2014) ที่จัดทำขึ้นในปี ค.ศ. 2014 พบเป็นที่แน่ชัดว่าอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกนั้นเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงศตวรรษที่ 19 (ปี ค.ศ. 1801-1900) ตอนปลายในทศวรรษที่ผ่านมา

อุณหภูมิของพื้นผิวโลกนั้นอุ่นขึ้นกว่าปีก่อน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 เป็นต้นมา ช่วงปี ค.ศ. 1983-2012 นั้นเป็นช่วงเวลา 30 ปี ที่พื้นที่ซีกโลกเหนือมีอุณภูมิสูงขึ้นมากที่สุดในรอบ 1,400 ปีที่ผ่านมา (ณัฏฐา ตระกูลไทย, 2558) ในขณะเดียวกัน สำหรับประเทศไทยตามรายงาน IPCC & TARC องค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกและไทย ปี ค.ศ. 2020 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น 0.33-0.94 ℃ ในช่วงปี ค.ศ. 1955-2012 (THAI-GLOB, 2016)

ต่อมาได้มีการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต ตามรายงานฉบับที่ 6 IPCC's Sixth Assessment Report : AR6 ของ IPCC:AR6 (2022) ที่จัดทำขึ้นในปี 2021 ได้มีการจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศในช่วงปี ค.ศ. 1950-2100 หรือ Future Global Climate: Scenario-based Projections and Near-term Information โดยมี 3 ระยะคือ ระยะใกล้ (Near-term ปี ค.ศ. 2021-2040) ระยะกลาง (Mid-term ปี ค.ศ. 2041-2060) และระยะไกล Long-term ปี ค.ศ. (2081-2100) ตามที่แสดงในภาพที่ 7 และแต่ละระยะส่งผลต่อสถาณการณ์ของการแผ่ขยายของก๊าซเรือนกระจกที่อาจเกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ โดยได้อธิบายไว้ ดังนี้

SSP1-1.9: สถานการณ์ที่มองโลกในแง่ดีที่สุด คือการปล่อย CO_2 ทั่วโลก ถูกตัดให้เหลือสุทธิเป็นศูนย์ภายในประมาณปี ค.ศ 2050 โดยที่สังคมต่าง ๆ เปลี่ยนไปใช้แนวทางที่ยั่งยืนมากขึ้น มุ่งเน้นที่การเปลี่ยนจากการเติบโตทางเศรษฐกิจไปสู่ความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นโดยรวม การลงทุนด้านการศึกษาและสุขภาพเพิ่มขึ้น ความไม่เท่าเทียมกันลดลง และหลบเลี่ยงผลกระทบที่เลวร้ายที่สุดของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยสถานการณ์แรกนี้เป็นสถานการณ์เดียวที่ตรงตามเป้าหมายของข้อตกลง Paris Agreement ในการรักษาภาวะโลกร้อนให้สูงขึ้นแค่ประมาณ 1.5 ℃ และจะค่อยๆ ลดลงและคงที่ อยู่ที่ 1.4 ℃ ภายในประมาณสิ้นศตวรรษ (2100)

SSP1-2.6: สถานการณ์ที่ดีที่สุดถัดมา คือการปล่อย CO_2 ทั่วโลก จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่ไม่มากเท่ากับสุทธิเป็นศูนย์ ภายในหลังจากปี ค.ศ 2050 มีการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมไปสู่ความยั่งยืนเช่นเดียวกันกับ SSP1-1.9 แต่อุณหภูมิที่จะรักษาไว้จะสูงขึ้นเป็นราว ๆ 1.8 ℃ ภายในสิ้นศตวรรษ (2100)

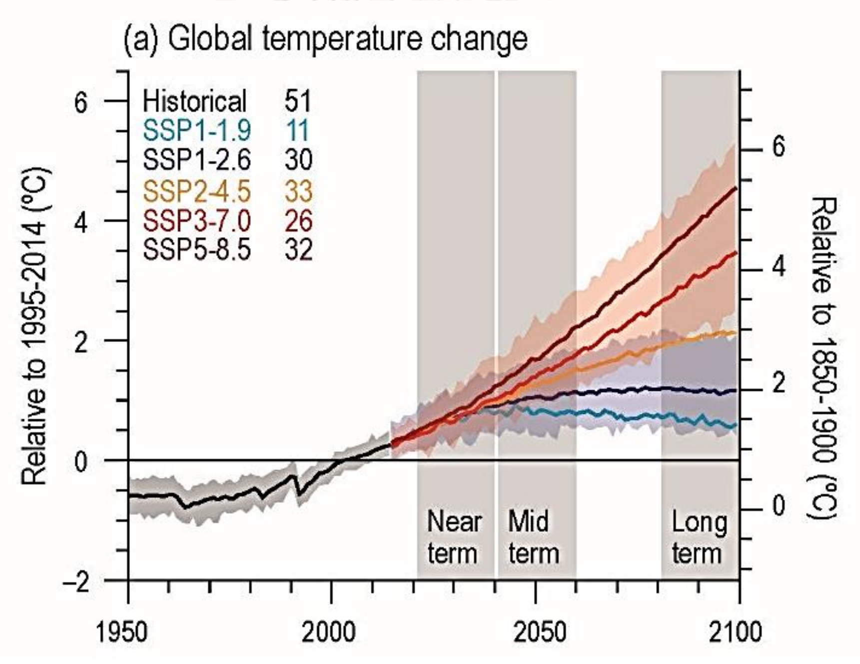
SSP2-4.5: ในสถานการณ์ที่เป็นกลางทางคาร์บอน คือมีการปล่อย CO_2 ที่จะยังมีวนเวียนอยู่รอบๆ โลก ตามระดับปัจจุบันก่อนที่จะเริ่มลดลงในช่วงกลางศตวรรษ แต่ไม่ถึงสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ 2100 ปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมเป็นไปตามแนวโน้มในอดีต โดยไม่มีการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปลี่ยนแปลงที่โดดเด่น ความก้าวหน้าสู่ความยั่งยืนนั้นเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ด้วยการพัฒนาและรายได้ที่เติบโตอย่างไม่สม่ำเสมอ ในสถานการณ์นี้ อุณหภูมิจะสูงขึ้น 2.7 °C ภายในสิ้นศตวรรษ (2100)

SSP3-7.0: ในสถานการณ์ที่มีการปล่อย CO_2 และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประมาณสองเท่าจากระดับปัจจุบันภายในปี ค.ศ 2100 ประเทศต่าง ๆ มีการแข่งขันกันมากขึ้น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น 3.6 °C ภายในสิ้นศตวรรษ (2100)

SSP5-8.5: สถานการณ์ในอนาคตที่ควรต้องหลีกเลี่ยงในทุกกรณี โดยระดับการปล่อย CO_2 เพิ่มขึ้นจากปัจจุบันประมาณสองเท่าภายในปี ค.ศ 2050 เศรษฐกิจโลกเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่การเติบโตนี้เกิดจากการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงฟอสซิลและวิถีชีวิตที่ใช้พลังงานมากขึ้น ภายในปี ค.ศ 2100 อุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ยจะสูงขึ้น 4.4 °C (Andrea, 2021)



ภาพที่ 7 Future Global Climate : Scenario-based Projections and Near-term Information

ที่มา: Sixth Assessment Report: (IPCC:AR6, 2022)

จากการคาดคะเนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น จึงได้มีคำมั่นสัญญาเพื่อบรรลุเป้าหมายการควบคุมอุณหภูมิเพื่อไม่ให้เพิ่มเกิน 1.5 °C ที่ตั้งไว้ในการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงอากาศ สมัยที่ 26 (COP26)

โดยแนวทางไปสู่เป้าหมายคือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้สุทธิเป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ. 2050 หรือ พศ. 2593 (UNFCC, 2011) สำหรับประเทศไทยได้ตั้งเป้าลดก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2608 หรือปี ค.ศ. 2065 (Greennetworkthailand, 2022)

2.2 ไฟล์ข้อมูลอากาศ

จากงานวิจัยของ ณัฏฐา ตระกูลไทย (2558) ได้ศึกษาข้อมูลอากาศ หรือ Weather Data File คือ ข้อมูลของสภาพอากาศในพื้นที่ต่าง ๆ บนโลก โดยมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอากาศหลายอย่างประกอบกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม รังสีดวงอาทิตย์ หยาดน้ำฝน เป็นต้น

โดยการจำลองประสิทธิภาพอาคารโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอากาศรายปีในการจำลอง แต่ข้อมูลอากาศก็มีหลายประเภท เช่น

TRY (Test Reference Year) เป็นข้อมูลอากาศรายชั่วโมงที่สร้างโดย NOAA's NCDC ซึ่งเป็นข้อมูลที่เลือกมาให้เหลือเป็น 1 ปีจากการรวบรวมข้อมูลจากปี ค.ศ. 1948-1975 โดยข้อเสียของ TRY คือ ไม่มีข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์

TMY (Typical Meteorological Year) สร้างขึ้นโดย NCDC (National CORS Data Center: ศูนย์อ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติ) และกระทรวงพลังงานสหรัฐ โดยเพิ่มเติมข้อมูลจากที่มีใน TRY และเพิ่มข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์เข้าไป โดยใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 1952-1975

IWEC (International Weather Year for Energy Calculation) เป็นข้อมูลอากาศที่ทำขึ้นโดย ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers) เป็นชุดข้อมูลอากาศแบบ Typical ที่สร้างจากข้อมูล TMY เพื่อใช้กับโปรแกรมจำลองพลังงานอาคาร โดยเป็นข้อมูลรายชั่วโมงที่สร้างขึ้นจากข้อมูลปี ค.ศ. 1983-1999

EPW (EnergyPlus) เป็นรูปแบบไฟล์ข้อมูลอากาศที่ใช้งานร่วมกับโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ซึ่งสร้างโดยกระทรวงพลังงาน สหรัฐอเมริกา EPW เป็นรูปแบบไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นจากข้อมูล TMY และข้อมูลนานาชาติอื่นๆ

ไฟล์ข้อมูลอากาศประเทศไทยปีปัจจุบันนั้น เป็นข้อมูลได้จากการเก็บในปี ค.ศ. 1983-1993 ซึ่งเห็นได้ว่าไม่มีการเพิ่มเติมข้อมูลในเรื่องสภาพการเปลี่ยนแปลงของอากาศในปัจจุบัน และอนาคต ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าข้อมูลที่ใช้อยู่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจำลองประสิทธิภาพอาคารได้

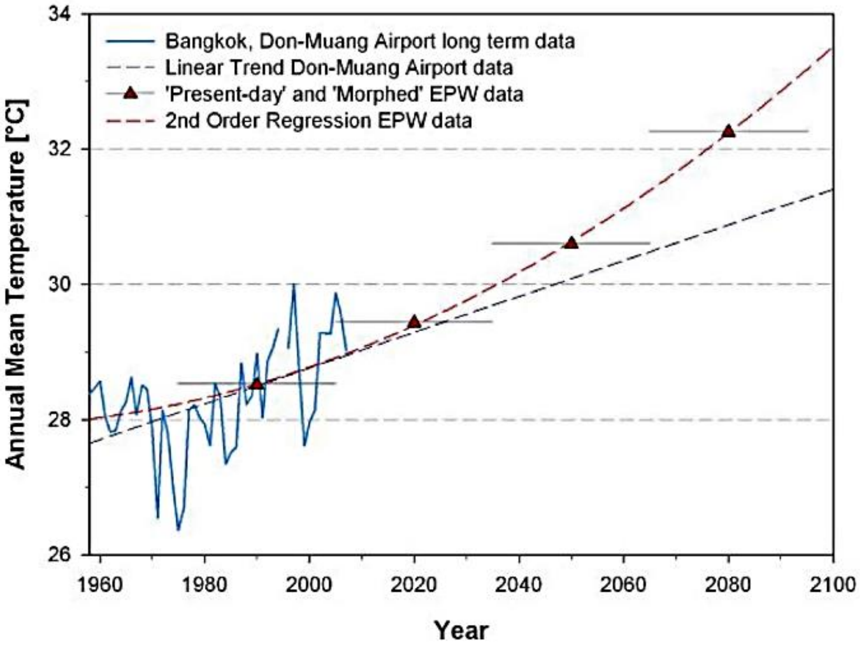
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตที่เป็นผลจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลง

งานวิจัยของ Belcher et al. (2005) เรื่อง Constructing Design Weather Data for Future Climate โดยได้พัฒนาวิธีการที่เรียกว่า “Morphing” คือการรวมข้อมูลอากาศที่สังเกตได้ในปัจจุบันเข้ากับผลลัพธ์จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยของสถานการณ์ภูมิอากาศในอนาคต ซึ่งทำให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ และเชิงเวลามากขึ้น

การศึกษาวิธีการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงในอนาคต จากงานวิจัยของ M.F et al. (2009) ซึ่งศึกษาเรื่องการสร้างไฟล์อากาศที่ปรับปรุงจากข้อมูลภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และได้นำเอาวิธี Morphing ซึ่งเป็นวิธีที่รวมข้อมูลอากาศปัจจุบันของพื้นที่ที่ต้องการ เข้ากับข้อมูลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงอากาศในอนาคต โดยการจัดทำไฟล์ข้อมูลอากาศอนาคตนี้ หากใช้ไฟล์อากาศปัจจุบันที่สร้างขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันกับข้อมูลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงอากาศในอนาคต จะทำให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยการคำนวณนั้นจะคิดแยกแต่ละเดือน และแยกกันไปแต่ละตัวแปรของข้อมูล เช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้ง รังสีอาทิตย์ ระดับเมฆ ความเร็วลม เป็นต้น จากนั้นได้นำเอาวิธี Morphing ไปใช้กับโปรแกรม CCWorldWeatherGen (Climate Change World Weather File Generation) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 2013 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างจาก Microsoft Excel และเป็น Freeware ที่อนุญาตให้ผู้ใช้สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศที่เกิดจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงในรูปแบบไฟล์ EPW และ TMY2 ได้ จึงนำมาใช้ในการสร้างไฟล์อากาศของกรุงเทพฯ และเปรียบเทียบกับข้อมูลคาดการณ์ของ IPCC โดยผลที่ได้คือ ไฟล์ข้อมูลอากาศนั้นมีความถูกต้องและข้อมูลมีความสอดคล้องกัน แสดงในภาพที่ 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบข้อมูลสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงของกรุงเทพฯ (สนามบินดอนเมือง) กับแนวโน้มการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของอากาศในระยะยาวของ IPCC ในระดับภูมิภาค

ที่มา: (M.F et al., 2009)

นอกจากนี้ Sustainable Energy Research Group โดย Jentsch et al. (2013) แห่งมหาวิทยาลัยเซาแธมป์ตัน ได้นำวิธี Morphing มาประยุกต์ใช้ในการสร้างโปรแกรมสำหรับสร้างไฟล์อากาศของ 3 ปีในอนาคตนั้นคือ ปี ค.ศ 2020 2050 และ 2080 โดยใช้กับโปรแกรม CCWorldWeatherGen เป็นการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปัจจุบัน IWEC ร่วมกับข้อมูลการคาดคะเนอากาศในอนาคตโดยใช้ไฟล์ UK Met Office Hadley Centre Coupled Model 3 (HadCM3) โดยจัดทำขึ้นสำหรับรายงานฉบับที่ 3 ของ IPCC เป็นข้อมูลที่จำลองโดยสถานการณ์ A2 ซึ่งเป็นการคาดคะเนโดยใช้สถานการณ์ที่ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และยังไม่มีมาตรการการลดภาวะโลกร้อนที่จริงจัง ซึ่งเป็นข้อมูลจากช่วงเวลาปี ค.ศ. 1961-1999 และนำมาปรับเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของ 3 ช่วงเวลา คือ ปี 2020 2050 และ 2080 โดยสามารถดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูล UK Met Office Hadley Centre Coupled Model 3 (HadCM3) ได้จากเว็บไซต์ฐานข้อมูลของ IPCC หรือ IPCC Data Base. (IPCC, 2021a) ทำให้ได้ข้อมูลอากาศในรูปแบบไฟล์ EPW และ TMY2 ซึ่งเป็นไฟล์อากาศรายชั่วโมง ที่สามารถนำมาใช้ในการจำลองประสิทธิภาพอาคารได้ (ณัฏฐา ตระกูลไทย, 2558)

2.4 การวิเคราะห์ไฟล์ข้อมูลอากาศ

การวิเคราะห์สภาวะน่าสบาย จากการศึกษาของ Liu et al. (2020) ที่ได้ศึกษาเรื่อง Effective of Passive Design Strategies in Responding to Future Climate Change for Residential Buildings in Hot and Humid Hong Kong โดยศึกษาประสิทธิภาพของการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน (Passive Design) ที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตของภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยศึกษาอาคารพักอาศัย ในฮ่องกง เพื่อหาแนวทางการออกแบบที่ช่วยประหยุดพลังงานมากที่สุดภายใต้สภาพอากาศที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีขั้นตอนสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต โดยใช้วิธีการ “Morphing” และใช้เครื่องมือ CCworldWeatherGen ร่วมกับไฟล์อากาศ EnergyPlus (EPW) โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ไฟล์ข้อมูลอากาศนั้น ได้ใช้แผนภูมิ Bio climatric chart ที่พัฒนาขึ้นโดย Milne-Givoni ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายของสถาปนิกและนักวิจัย โดยการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นมาซ้อนทับกับช่วงสภาวะน่าสบาย เพื่อหาว่าไฟล์อากาศแต่ละไฟล์มีสภาพอากาศอยู่ในสภาวะน่าสบายที่แตกต่างกันอย่างไร

2.5 การใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในต่างประเทศ

งานวิจัยของ Reveshti et al. (2023) ได้ศึกษาเรื่อง Investigation the Effect of New and Old Weather Data on The Energy Consumption of Buildings Affected by Global Warming in Different Climate โดยสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในปี ค.ศ. 2020-2050-2080 โดยใช้วิธีการสร้างไฟล์อากาศ 2 วิธี เครื่องมือ CCworldWeatherGen ร่วมกับไฟล์อากาศ EnergyPlus (EPW) ร่วมกับไฟล์ HadCM3 Zone A2 และใช้จำลองในการใช้พลังงานในอาคารใน 2 เมืองในประเทศอิหร่าน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 กับ ปี ค.ศ. 2020 การใช้พลังงานการทำความร้อนลดลง 24% และการใช้พลังงานการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 5% ในเมืองแรก ที่มีสภาพอากาศแบบหนาวเย็นและมีภูเขา (Cold and Mountainous) และการใช้พลังงานการทำความร้อนลดลง 19% และการใช้พลังงานการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 7% ในเมืองที่ 2 ที่มีสภาพอากาศแบบกึ่งแห้ง (Semi Dry) ซึ่งผลลัพธ์นี้ก็ได้ตอบคำถามในงานวิจัยนี้ว่า การใช้ข้อมูลอากาศที่ใหม่กว่าจะสร้างค่าประมาณการที่แม่นยำกว่าข้อมูลอากาศที่เก่ากว่า เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น ส่งผลให้

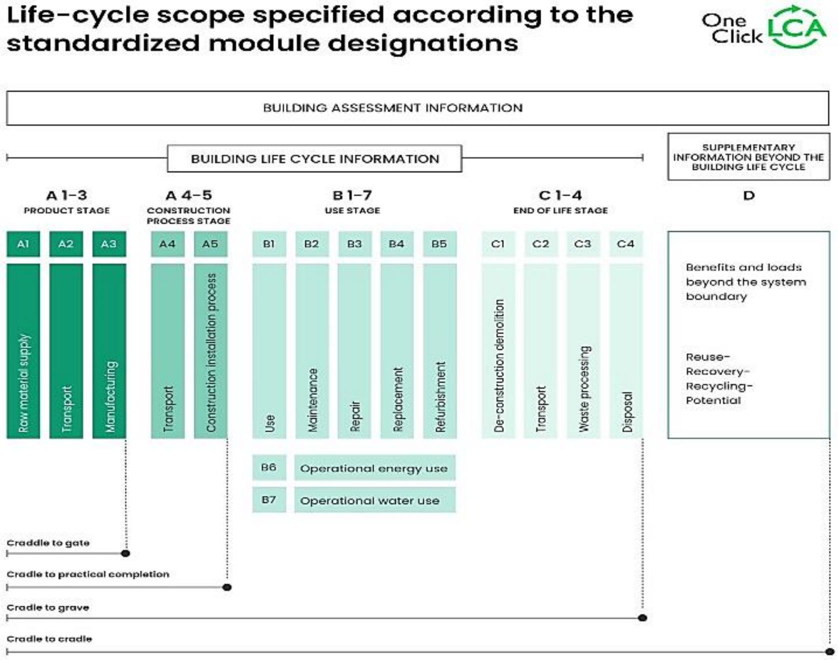
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มีการใช้พลังงานความร้อนที่ลดลง และใช้พลังงานการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้น ทั้ง 2 เมืองแม้มีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

2.6 เกณฑ์การประเมินวัฏจักรชีวิต

Life Cycle Assessment หรือ LCA เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาตรฐาน EN 15978 (การประเมินผลกระทบการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร) และ มาตรฐาน EN 15804 (การประเมินสิ่งแวดล้อมในวัสดุก่อสร้าง) สำหรับประเมินผลกระทบในเชิงปริมาณของการใช้ทรัพยากร และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ตลอดการดำรงอยู่ของอาคาร โดยคำนึงถึงทุกขั้นตอน ตั้งแต่การผลิตวัสดุ การขนส่ง ตลอดจนขั้นตอนการก่อสร้าง การใช้งาน การรื้อถอน และการกำจัดทิ้งในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งมีความสำคัญต่อการบรรลุเป้าหมายการก่อสร้างคาร์บอนเป็นกลางและคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ การทำ Life Cycle Assessment นี้ใช้แนวคิดเรียกว่า Cradle to Cradle หรือ จากการสกัดวัตถุดิบไปจนถึงการฝังกลบ ซึ่งเป็นแนวคิดแบบองค์รวมของการออกแบบ และใช้ประโยชน์ของสิ่งใดสิ่งหนึ่งให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เกิดขยะน้อยที่สุดหรือเพิ่มระยะเวลาในการใช้งานก่อนที่วัสดุจะย่อยสลายโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเมื่อสิ้นสุดอายุของผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีคิดแบบครบวงจรเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน โดยจะถูกแบ่งขั้นตอนการประเมิน ดังนี้ ข้อมูลพลังงานที่ใช้ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ การขนส่งสู่โรงงานผลิต และการผลิตวัสดุ (A1-A4 Product Stage) ข้อมูลพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัสดุมายังไซต์งาน การติดตั้งและการประกอบวัสดุในการก่อสร้าง (A4-A5 Construction Stage) ข้อมูลพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัสดุมายังไซต์งาน และพลังงานในการใช้งานอาคาร (B1-B5 Use Stage) ข้อมูลพลังงานการใช้งานวัสดุ การดูแลรักษา การซ่อมบำรุง การเปลี่ยนวัสดุเมื่อหมดอายุการใช้งาน ไปจนถึงการตกแต่งใหม่ (C1-C4 End of Life Stage) สุดท้ายข้อมูลโครงสร้างและการรื้อถอน การขนส่งสู่แหล่งกำจัดขยะวัสดุ และสุดท้ายการกำจัดทิ้ง (D Externalized Impacts Beyond the System Boundary) ผลกระทบภายนอกที่นอกเหนือจากขอบเขตของระบบ Life Cycle Stage ภาพที่ 9 (OneClick, 2023)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 9 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต

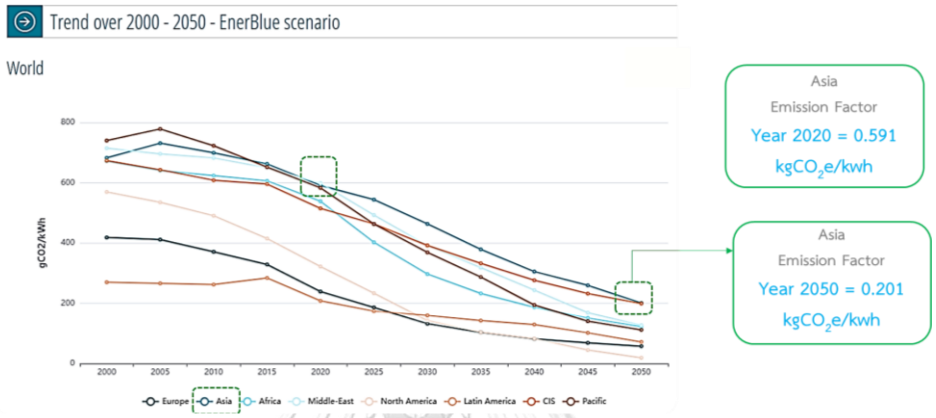
ที่มา: (OneClick, 2023)

ซอฟแวร์ One Click LCA เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก จากการใช้งานมากกว่า 140 ประเทศ ซึ่งได้รวบรวมรายการวัสดุมากกว่า 150,000 วัสดุทั่วโลกที่มีใบรับรอง EPD (Environmental Product Declaration) ที่บอกส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ รวมถึงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มความสอดคล้องกับตามมาตรฐานอาคารเขียวของ BREEAM, LEED และ TREES ซึ่งใช้ฐานข้อมูลจากหลายแหล่งที่น่าเชื่อถือ เช่น The Inventory of Carbon and Energy: ICE และ International Energy Agency: IEA

2.7 แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนในอนาคต

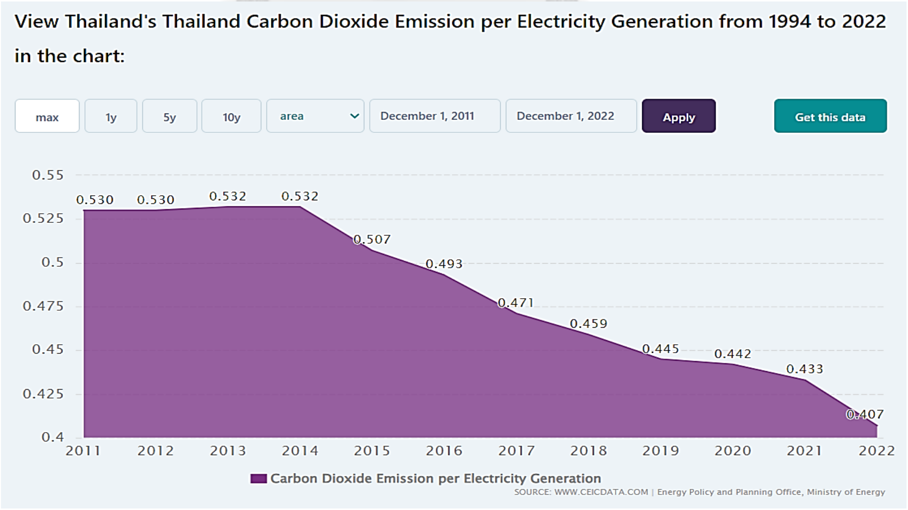
แนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าในอนาคต มีแนวโน้มลดลงทั่วโลก ตามฐานข้อมูลปี ค.ศ. 2000-2050 ของ Enerdata (2023) ซึ่งเป็นบริษัทวิจัยที่เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์และคาดการณ์ปัญหาด้านพลังงานและสภาพอากาศ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้าในเอเชีย ในปี ค.ศ. 2020 เท่ากับ 0.591 kgCO2/kWh และลดลงในปี ค.ศ. 2050 เท่ากับ 0.201 kgCO2/kWh ตามภาพที่ 10 และเมื่อพิจารณาตามฐานข้อมูล

ของประเทศไทย ตามรายงาน Thailand Carbon Dioxide Emission per Electricity Generation from 1994 to 2022 เป็นข้อมูลของ CEIC (2022) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือที่สุดในโลก โดยนักเศรษฐศาสตร์และนักวิเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญการนำเสนอข้อมูลเชิงลึก ที่กว้างขวงและแม่นยำที่สุด จากข้อมูลการพัฒนาด้านเศรษฐกิจทั่วโลก พบว่าประเทศไทยมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง จาก 0.532 kgCO2/kWh ในปี ค.ศ 2015 เป็น 0.407 kgCO2/kWh ในปี ค.ศ. 2022 ตามภาพที่ 11



ภาพที่ 10 แสดงแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนทั่วโลก

ที่มา : World Trend Over 2000-2050 (Enerdata, 2023)



ภาพที่ 11 แสดงแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนในประเทศไทย

ที่มา : Thailand Carbon Dioxide Emission per Electricity Generation from 1994 to 2022 (CEIC, 2022)

2.8 แหล่งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้า

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยจากฐานข้อมูลในประเทศพบว่า ข้อมูลรายงานที่ประกาศใช้วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 โดยสำนักประเมินและรับรองโครงการ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ TGO ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่ทำหน้าที่สนับสนุนให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศ โดยมีแนวทางดังนี้ โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) และ โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (Low Emission Support Scheme: Less)

2.8.1 โครงการ T-VER มาตรฐานขั้นสูง กำหนดให้ใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับผลิต หรือการใช้ไฟฟ้ากรณีที่ต่ำกว่าการดำเนินงานปกติ (Below Business as Usual หรือ Below BAU) โดยพิจารณาจากข้อมูลของโรงฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตและจ่ายเข้าระบบสายส่ง โดยในปี พ.ศ 2563 มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตหรือการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.4349 tCO_2/MWh และปี พ.ศ. 2564 เท่ากับ 0.4401 tCO_2/MWh TGO (2565) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต หรือการใช้ไฟฟ้าสำหรับโครงการ T-VER มาตรฐานขั้นสูง

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	**หน่วย**	**ค่า EF**	
		ปี พ.ศ. 2563	**ปี พ.ศ. 2564**
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/การใช้ไฟฟ้า ($EF_{Elec,y}$)	tCO_2/MWh	**0.4394**	**0.4401**

2.8.2 โครงการ T-VER มาตรฐาน และโครงการ LESS กำ**หนดให้ใช้ค่า**การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต หรือการใช้ไฟฟ้าที่อ้างอิงตามข้อมูลของระบบสายส่ง NAMA ภาคพลังงาน ซึ่งประกาศโดยคณะทำงานประสานงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของกระทรวงพลังงาน และสำหรับโครงการ T-VER มาตรฐานสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิล ตามรายละเอียดตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับผลิต หรือการใช้ไฟฟ้าสำหรับโครงการ T-VER มาตรฐาน และโครงการ LESS

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	หน่วย	ค่า EF			
		ปี พ.ศ. 2561	ปี พ.ศ. 2562	ปี พ.ศ. 2563	ปี พ.ศ. 2564
สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้า (Supply side)					
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน ($EF_{EG_RE,PJ,y}$)	tCO_2/MWh	0.5290	0.5221	**0.5143**	-
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิล ($EF_{EG_FF,PJ,y}$)	tCO_2/MWh	0.5290	0.5221	**0.4394**	**0.4401**
สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand side)					
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการใช้ไฟฟ้า ($EF_{EC,PJ,y}$)	tCO_2/MWh	0.4872	0.4770	**0.4758**	-

โดยการกำหนดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้ง 2 โครงการนั้น มีแนวโน้มลดลง ที่ใกล้เคียงกับแหล่งข้อมูลของ Enerdata (2023) และข้อมูลของ CEIC (2022)

2.9 คำจำกัดความของ Zero-Carbon Building

รายงาน Net Zero By 2050 ของ IEA (2016) แบ่งระดับความแตกต่างไว้ 4 กลุ่มหลัก ๆ ดังนี้

Energy Efficient Building อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานในระดับสูง ในด้านโครงสร้างอาคารและบริการอาคารที่ใช้พลังงาน เช่น เครื่องปรับอากาศ การทำความร้อน ความเย็น การทำอาหาร การให้แสงสว่าง การระบายอากาศ

Nearly Zero-Carbon Building อาคารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและอาจมีแหล่งพลังงานที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (ในหรือนอกสถานที่) แต่ไม่ชดเชยความต้องการพลังงานของอาคาร

Net Zero-Carbon or Zero-Carbon Building อาคารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและอาศัยแหล่งพลังงานที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ซึ่งตอบสนองความต้องการพลังงานในช่วงหนึ่งปี (หรือไทม์ไลน์อื่นที่กำหนดไว้เช่น เดือน)

Whole Life Zero-Carbon Building – อาคารปลอดคาร์บอน ซึ่งรวมการปล่อยคาร์บอนจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และช่วงการใช้งานอาคาร โดยทั้งหมดจะถูกชดเชย ตลอดอายุของอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.10 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

จากการศึกษาของ Satola et al. (2021) เรื่อง How to Define (Net) Zero Greenhouse Gas Emissions Buildings: The Results of an International Survey as Part of IEA EBC Annex 72 โดยสรุปผลข้อมูลจาก IEA ซึ่งก็เคยได้จัดทำ Road Map สำหรับอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เอาไว้ด้วย และข้อมูลจาก EBC Annex 72 หรือ Assessing Life Cycle Related Environmental Impact Caused by Buildings โดยได้รวบรวมแนวทางและข้อกำหนดทั้งหมด 35 แนวทางจาก 25 ประเทศทั่วโลก ซึ่งสรุปได้ว่า การกำหนดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตอาคาร มักประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนปฏิบัติการ (Operational Part) และส่วนประกอบอาคาร (Embodied Part) และได้ให้ข้อมูลเรื่อง การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ของอาคาร โดยมี 3 วิธีการดังนี้

1) System Boundaries for The Generation, Procurement, and Assessment of Renewable Energy คือวิธีการผลิตและจัดการพลังงานหมุนเวียน โดยมีทางเลือกทั้งหมด 5 ทางเลือก คือ

- Generation on Building Footprint คือ การผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบบูรณาการในอาคาร โดยการติดตั้งบนพื้นที่อาคาร เช่น หลังคา โดยทางเลือกนี้จะรวมระบบ Building Integrated Photovoltaics (BIPV) หรือพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการกับอาคารด้วย คือการใช้เซลล์แสงอาทิตย์แทนการใช้วัสดุก่อสร้างทั่วไป ในส่วนของเปลือกอาคาร เช่น ผนัง หรือ ราวกันตก เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- On-site Generation from On-site Renewables คือ การผลิตพลังงานหมุนเวียนภายในขอบเขตของสถานที่ก่อสร้าง โดยทั่วไปจะติดตั้ง บนหลังคาลานจอดรถ

- On-site Generation from Off-site Renewables คือ การผลิตพลังงานหมุนเวียนนอกสถานที่ก่อสร้าง แต่นำส่งเข้ามาใช้ภายในสถานที่ก่อสร้าง

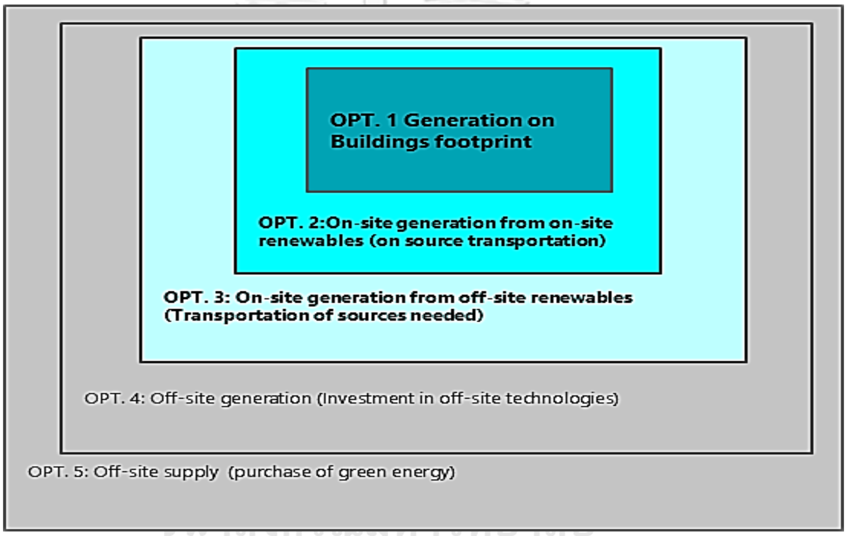
- Off-site Generation (Investment in Off-site Technologies) คือผลิตพลังงานนอกสถานที่ก่อสร้าง โดยลงทุนกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงานหมุนเวียน

- Off-site Supply (Purchase of Green Energy) คือ การจัดซื้อพลังงานหมุนเวียนที่จำหน่ายนอกสถานที่ก่อสร้าง และนำส่งเข้ามาใช้ในสถานที่ก่อสร้าง

โดยทางเลือกที่ 1-3 เป็นแนวทางที่มีการเลือกใช้มากที่สุดใน 11 ประเทศ เพราะไม่ได้เป็นการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้โดยการจัดซื้อ หรือนำเงินไปลงทุนกับโครงการอื่นนอกสถานที่โครงการ

2) Negative GHG Emission Through Technical Measure หรือ การใช้วิธีดักจับและกักเก็บคาร์บอน หรือดักจับอากาศและแยกคาร์บอนลงใต้ดิน

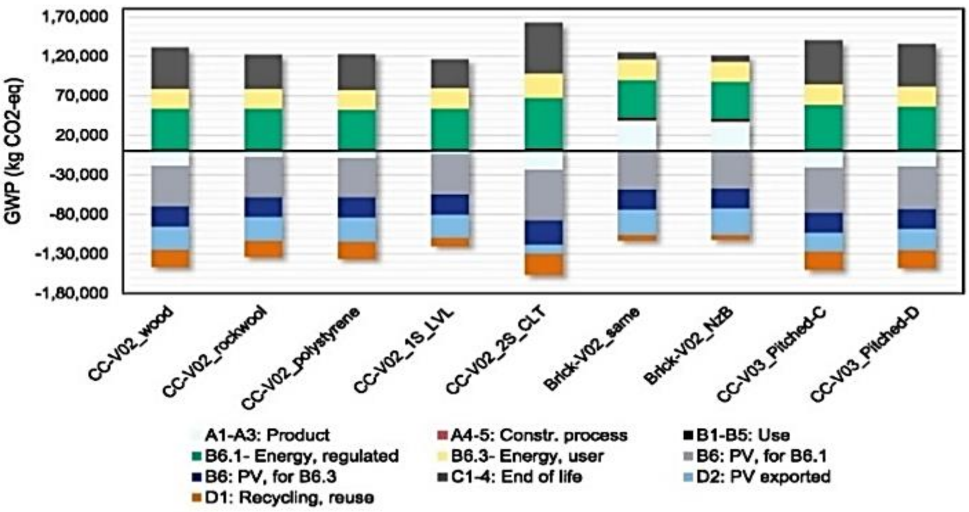
3) Purchasing of Off-set Certificated หรือ การจัดหาเงินทุน เพื่อสนับสนุนโครงการที่มีการริเริ่มเกี่ยวกับการลดคาร์บอนของประเทศกำลังพัฒนา โดยกำหนดขึ้นภายใต้พิธีสารเกียวโต แสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนด้วยการจัดหาพลังงานหมุนเวียน
ที่มา (Satola et al. (2021)

จากการศึกษาของ Dhakal et al. (2021) ได้ศึกษา เรื่องการไปสู่อาคาร Net-zero Carbon โดยใช้การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนดาดฟ้าของอาคารเพื่อการศึกษา ในประเทศเนปาล ได้ข้อสรุปว่า สามารถตอบสนองความต้องพลังงานของอาคารได้ 100% จึงทำให้การปล่อยคาร์บอนจากช่วงการใช้งานอาคารนั้นลดลงถึง 76.3 ตันคาร์บอน โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Szalay et al. (2022) เรื่องการพัฒนาแนวคิดบ้านขนาดกะทัดรัดปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ตลอดวงจรชีวิต โดยประเมินทั้งการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร และคิดต้นทุนนั้น เป็นไปได้ด้วยการชดเชยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar PV. โดยจำนวนของแผงโซล่าเซลล์นั้น ต้องถูกคำนวณและกำหนดอย่างชัดเจนและเพียงพอ อีกข้อที่สำคัญคือ พฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารก็ส่งผลต่อการ

ผลิตพลังงานด้วยเช่นกัน โดยหากผู้ใช้มีการใช้พลังงานที่สูง อาจทำให้ไปสู่การปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ได้ยากขึ้น แสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 Global Warming Potential of The Variants According to The Life Cycle Stages

ที่มา: (Szalay et al., 2022)

2.11 ผลกระทบต่อข้อกำหนดการออกแบบพลังงานหมุนเวียนในอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

จากการศึกษาของ Kim et al. (2021) เรื่องผลกระทบต่อข้อกำหนดการออกแบบพลังงานหมุนเวียนของอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ภายใต้สถานการณ์สภาพอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ได้ข้อสรุปว่า ผลกระทบที่มีต่อการออกแบบพลังงานหมุนเวียนในอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์นั้น มีทั้งหมด 3 ข้อ ดังนี้

The Simulation Building Models คือ การจำลองประสิทธิภาพอาคารควรเป็นไปตามข้อกำหนดด้านการใช้พลังงานขั้นต่ำ

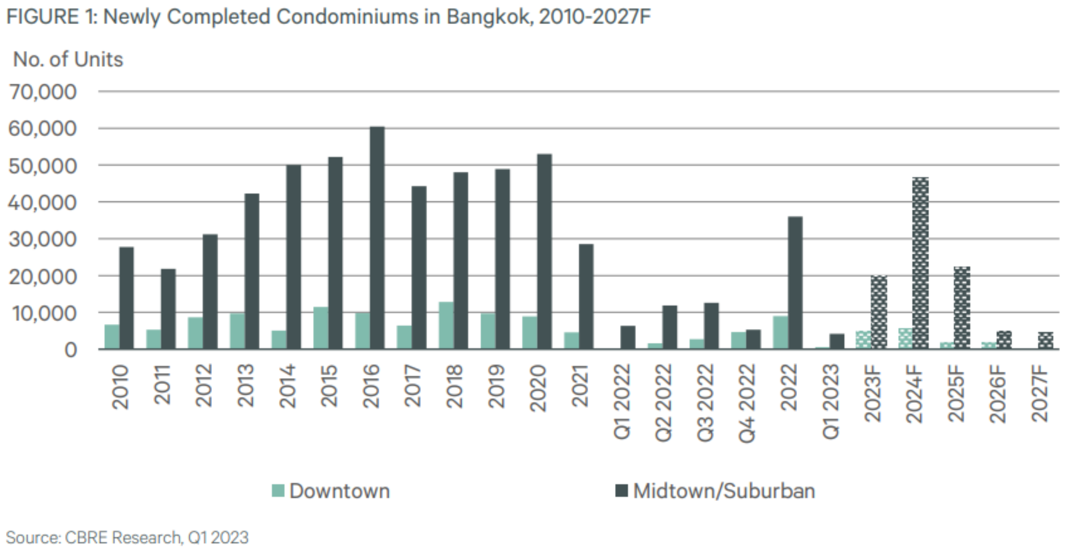
The GHG Emission Trends คือ แนวโน้มการปล่อย GHG ในแต่ละสภาพอากาศควรเป็นไปตามรูปแบบเดียวกัน เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้า ต้องเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์สภาพอากาศในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

The Capacity of On-site PV. System Required คือ ความสามารถของระบบ PV. ในแต่ละสถานที่อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในท้องถิ่น กล่าวคือ หากอนาคตสภาพอากาศมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ก็จะส่งผลให้ความจุของแหล่งพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นด้วย

2.12 อาคารพักอาศัยในกรุงเทพ ฯ

ข้อมูลจาก แผนกวิจัย ซีบีอาร์ซี (ข้อมูลเชิงลึกและการศึกษาวิจัยตลาด) พบว่ากรุงเทพ ฯ ในปี ค.ศ. 2023 มีโครงการคอนโดมิเนียมที่สร้างแล้วเสร็จและเปิดใหม่ เพิ่มมากขึ้น 20% และส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ใจกลางเมือง และชานเมืองของกรุงเทพ ประมาณ 98.6% และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2024-2025 (CBRE, 2566) ตามที่แสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 คอนโดมิเนียมสร้างแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 2010-2027F

ที่มา: (CBRE, 2566)

สรุปจากการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมทำให้ได้ข้อมูลสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในปัจจุบัน และการคาดการณ์ในอานาคต เพื่อนำมาใช้ในการสร้างไฟล์อากาศที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต และจากข้อมูลสัดส่วนของการปล่อยคาร์บอนจากภาคการผลิตไฟฟ้า ภาคอาคารพักอาศัยที่ค่อนข้างสูง และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของคอนโดมิเนียมในกรุงเทพ ฯ จึงส่งผลให้การปล่อยคาร์บอนจากคอนโดมิเนียมเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จึงใช้ข้อมูลของอาคารคอนโดมิเนียมในกรุงเทพนี้ มาเป็นอาคารกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะใช้ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อทราบถึงผลกระทบของอาคารคอนโดมิเนียมต่อสิ่งแวดล้อม และทราบถึงแนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศ วิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูล เพื่อประเมินพลังงาน ประเมินวัฏจักรชีวิต และชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ภายใต้ไฟล์อากาศที่สร้างขึ้นให้สอดคล้องกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของอากาศ ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย โดยมีระเบียบวิธีวิจัยเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังภาพที่ 15

3.1 แผนการดำเนินงาน

3.1.1 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาช่องว่างในงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา

3.1.2 แปลงไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ให้เป็นไฟล์ข้อมูลตัวเลข เพื่อทำการวิเคราะห์และพิจารณาเปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ ทั้ง 3 ไฟล์ (ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080)

3.1.3 กำหนดแบบอาคารอ้างอิง โดยศึกษาในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

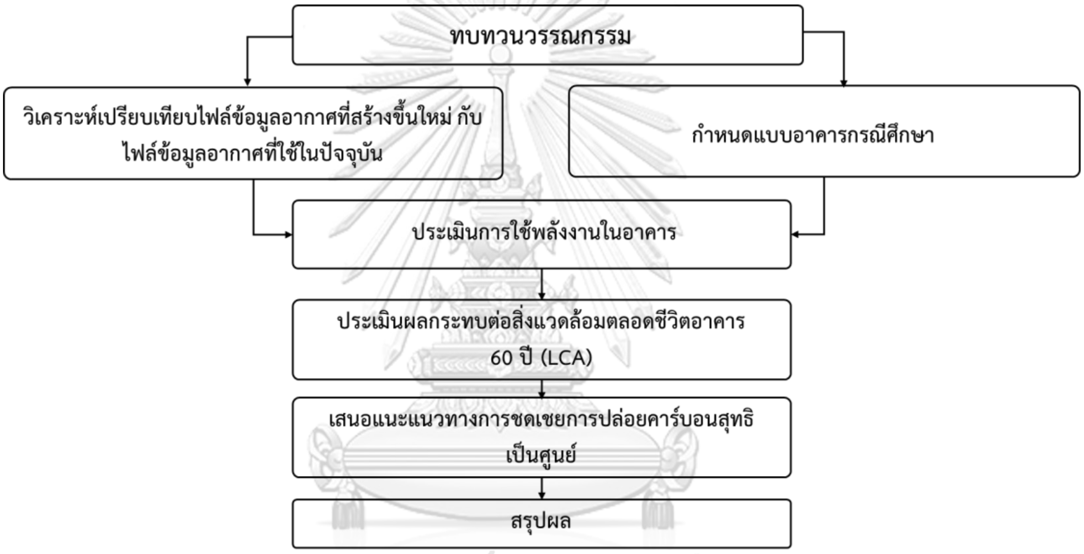
3.1.4 ประเมินการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยการจำลองโดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศทั้งหมด 4 ไฟล์ เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร ตลอด 1 ปี และคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี ด้วยวิธีการใช้ผลการจำลองการใช้พลังงานเป็นค่าคงที่ตลอด 60 ปี (ใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง) เปรียบเทียบกับผลการจำลองการใช้พลังงานเป็นค่าที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ตลอด 60 ปี (ใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ปี ค.ศ. 2020 ในการจำลอง)

3.1.5 ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตอาคาร ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (Life Cycle Assessment) โดยยึดฐานข้อมูลจาก Software OneClick LCA (2023) ซึ่งตัวซอฟแวร์ได้ใช้ฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุจาก Ecoinvent Database : For The Availability of Environmental Data Worldwide Ecoinvent (2023) ส่วนการแปลงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า งานวิจัยยึดใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยตามฐานข้อมูลของ CEIC (2022) โดยพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณค่าการใช้พลังงานแบบคงที่

ตลอด 60 ปี กับการคำนวณค่าการใช้พลังงานที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ตลอด 60 ปี

3.1.6 คำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดช่วงชีวิตอาคาร 60 ปีภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ โดยแบ่งการชดเชยการปล่อยคาร์บอนเป็นลำดับ คือชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 20%, 50%, 75%, 100% ตามแนวทางของกระทรวงพลังงาน

3.1.7 สรุปผลถึงประสิทธิภาพการชดเชยการปล่อยคาร์บอน แต่ละลำดับ



ภาพที่ 15 แผนการดำเนินงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

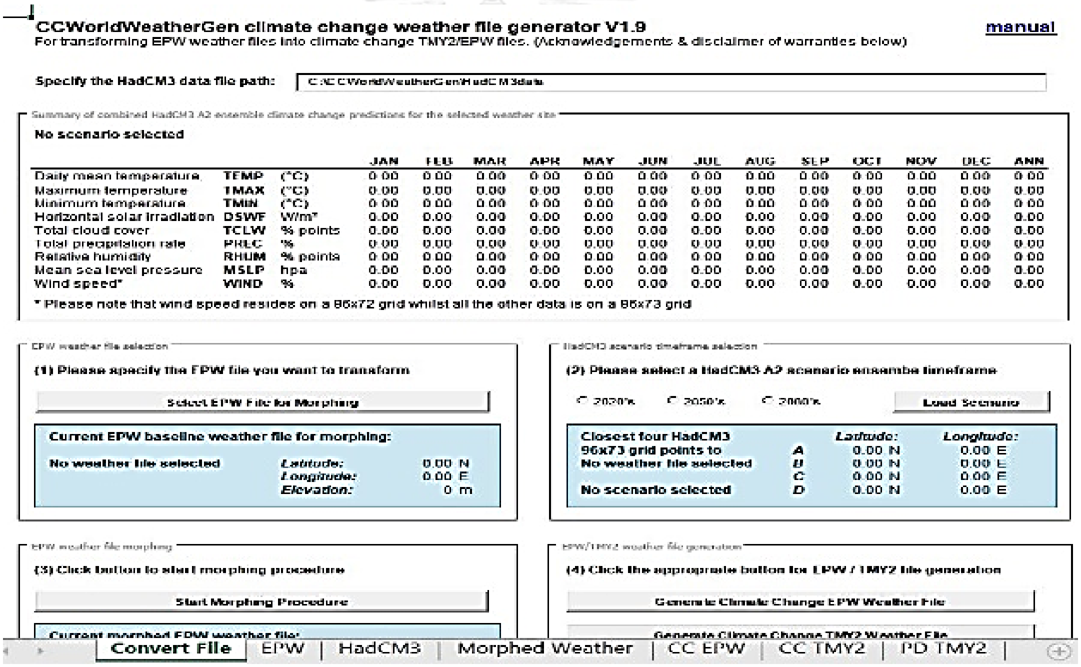
3.2 สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศ

สร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต โดยจะสร้างข้อมูลอากาศในปี ค.ศ. 2020, 2050 และ 2080 โดยใช้ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ร่วมกับข้อมูลการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต โดยใช้วิธี Morphing ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบันของกรุงเทพฯ ใช้ข้อมูลในประเภทไฟล์ EPW (Energy Weather File) ที่มีชื่อว่า Bangkok 484560 (IWEC) ซึ่งไฟล์ IWEC (International Weather for Energy Calculations) เป็นไฟล์รูปแบบข้อมูลสำหรับใช้ในการจำลองประสิทธิภาพอาคาร ที่จัดทำ

ขึ้นโดย ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers) โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983-1993 โดยสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากฐานข้อมูลของเว็บไซต์ Energyplus.net/weather-location

3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศ ใช้โปรแกรม CCWorldWeatherGen V1.9 โดยใช้ไฟล์ Bangkok 484560 (IWEC) ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ร่วมกับไฟล์ HadCM3 ทำให้ได้ไฟล์ข้อมูลอากาศในปี ค.ศ. 2020, 2050 และ 2080 ในรูปแบบ EPW ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลอากาศรายชั่วโมง ที่สามารถนำมาใช้การจำลองประสิทธิภาพอาคารได้ แสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 โปรแกรม CCWorldWeatherGen

ที่มา: (CCworldweatherGen, 2013)

3.2.3 ข้อมูลการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต ใช้ข้อมูล HadCM3 (Centre Coupled model 3) ซึ่งเป็นการคาดคะเนโดยใช้สถานการณ์ที่ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และยังไม่มีมาตรการลดภาวะโลกร้อนที่จริงจัง ที่ทาง IPCC ฉบับที่ 3 ได้จัดทำขึ้น ซึ่งเป็นข้อมูลจากช่วงเวลา ปี ค.ศ. 1961-1990 และนำมาปรับเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของ 3 ช่วงเวลา คือ ปี ค.ศ. 2020, 2050 และ 2080 ตาม Climate Zone ของแต่ละประเทศ โดยประเทศไทยนั้น

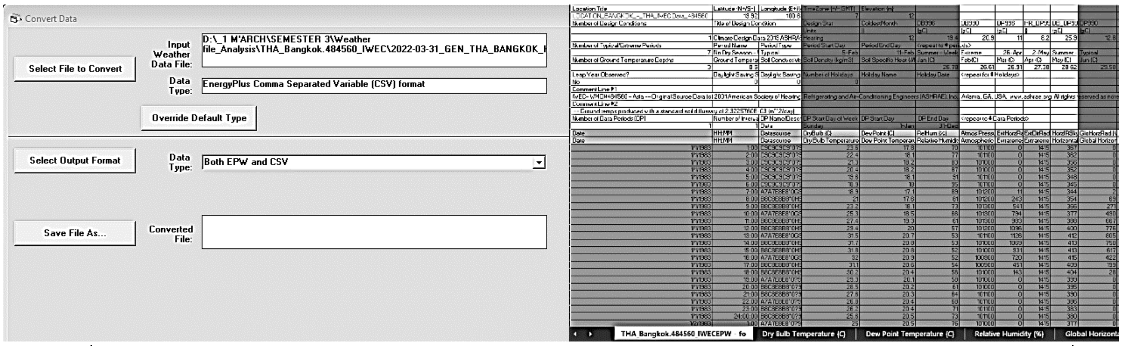
เป็น Zone A2 หรือ ภูมิอากาศแบบ Tropical สามารถดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูล HadCM3 ได้จากฐานข้อมูลของเว็บไซต์ ipcc-data.org

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลอากาศ

การวิเคราะห์ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020, 2050 และ 2080 ที่สร้างขึ้นให้เป็นไปตามการคาดการณ์สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ พิจารณาเปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) โดยใช้วิธีทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูล และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอากาศโดยจะแยกคิดในแต่ละข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Weather Statistics and Conversions ที่เป็นโปรแกรมย่อยจาก EnergyPlus เพื่อใช้ในการแปลงไฟล์ข้อมูลอากาศ (EPW) ให้เป็นรูปแบบไฟล์ CSV ในโปรแกรม Excel โดยจะแสดงค่าเป็นตัวเลข ในแต่ละชั่วโมง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถอ่านค่าและจัดทำแผนภูมิต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ไฟล์อากาศ ดังภาพที่ 17 และการวิเคราะห์นั้นจะวิเคราะห์ด้วยค่า Min-Max-Average ของข้อมูลรายวันและรายชั่วโมง ไปจนถึงรายเดือน ของแต่ละปี โดยจะแยกตัวอย่างของแต่ละข้อมูล โดยใช้ตารางข้อมูลเฉลี่ยของแต่ละไฟล์อากาศ กราฟเส้นและแผนภาพกล่อง (Box-plot) นอกจากนี้จะทำแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart) โดยสร้างจากโปรแกรม Psychrometric Chart (AndrewMarsh) เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสภาวะน่าสบายของอากาศในแต่ละปีด้วย โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีดังนี้

- Dry Bulb Temperature: อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)
- Relative Humidity: ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
- Radiation: การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (w/m^2)
- Comfort Zone: สภาวะน่าสบาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 17 การแปลงไฟล์ข้อมูลอากาศให้อยู่รูปแบบตัวเลข หรือไฟล์ CSV ในโปรแกรม Excel เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของไฟล์ข้อมูลอากาศ

เพื่อวิเคราะห์สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิของมนุษย์ (Thermal comfort) จึงได้นำข้อมูลไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) และไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) ที่เป็นรูปแบบไฟล์ .EPW มาสร้างแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงสภาวะอากาศในช่วงเวลาหนึ่ง โดยแสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลอากาศแต่ละข้อมูล และทับซ้อนด้วยข้อมูลของช่วงสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) เพื่อวิเคราะห์สภาพอากาศที่อยู่ในช่วงของขอบเขตสภาวะน่าสบายของแต่ละไฟล์อากาศที่สร้างขึ้นใหม่ เปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลอากาศในปัจจุบัน ตามแนวทางของ Liu et al. (2020) ที่ได้ศึกษาเรื่อง Effective of Passive Design Strategies in Responding to Future Climate Change for Residential Buildings in Hot and Humid Hong Kong หรือ ประสิทธิภาพของการออกแบบ แบบ Passive ที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคต ของสภาพอากาศแบบร้อนชื้น โดยศึกษาอาคารพักอาศัย ในฮ่องกง

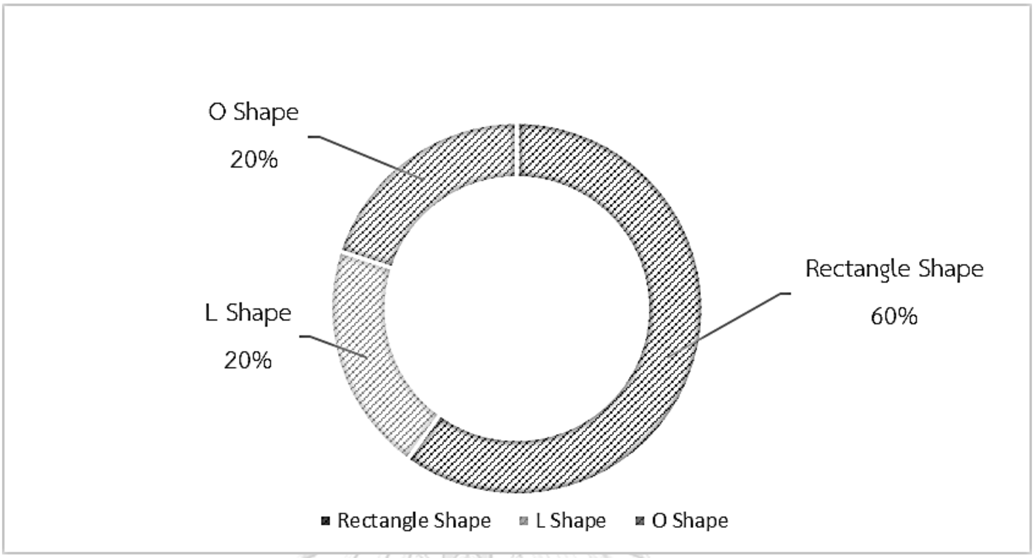
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4 การสร้างอาคารอ้างอิง

3.4.1 การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิง อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยในกรุงเทพฯ

การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ผู้วิจัยใช้วิธีการศึกษาจากการเก็บข้อมูลแบบแปลนอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในกรุงเทพฯ จากสื่ออินเทอร์เน็ต จำนวน 10 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่จะสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2566 เพื่อไม่ให้อาคารต้องเข้าข่ายอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร จึงได้ทำการสำรวจอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 7 ชั้น หรือไม่เกิน

23 เมตร (Low Rise Condominium) พบว่าอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยร้อยละ 60 มีลักษณะการวางผังอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภาพที่ 18



ภาพที่ 18 สัดส่วนของรูปแบบการวางผนังอาคาร จากการสำรวจอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย จำนวน 10 หลัง ที่จะสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2566

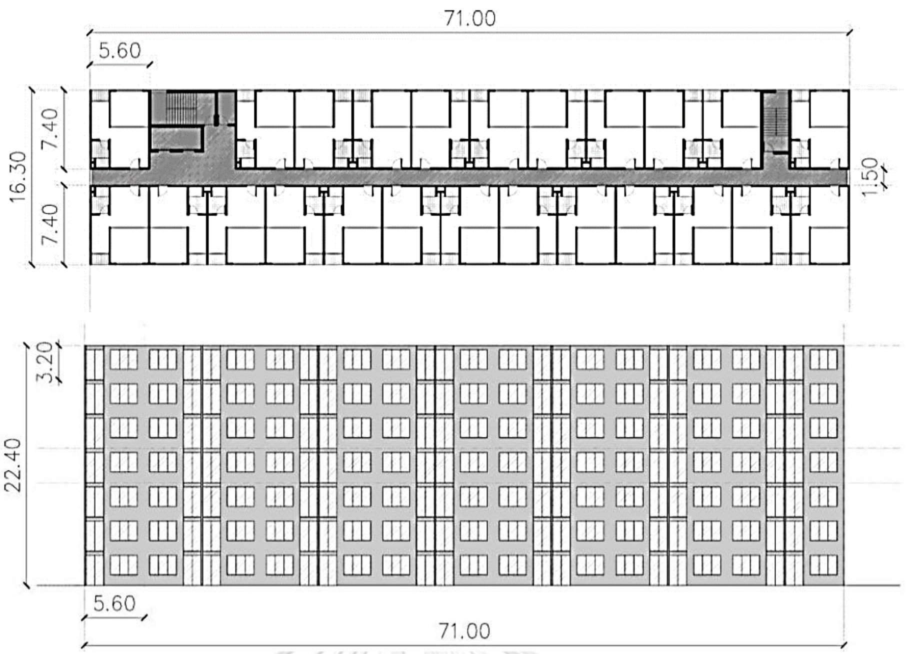
ที่มา: ผู้วิจัย

ศึกษางานวิจัยของ กันตพงศ์ ศรีเมือง (2564) ซึ่งได้สำรวจอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในกรุงเทพฯ จำนวน 21 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่มีการก่อสร้างในช่วงปี พ.ศ. 2551-2565 เพื่อไม่ให้อาคารต้องเข้าข่ายอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร จึงได้ทำการสำรวจอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 7 ชั้น หรือไม่เกิน 23 เมตร และพบว่าอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยร้อยละ 61.90 มีลักษณะการวางผังอาคารเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ขายให้มากที่สุด โดยข้อมูล ความกว้าง ความยาว ความสูงชั้น และจำนวนยูนิตในแต่ละชั้น มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิญญา บุญมา (2555) ที่เก็บข้อมูลของอาคารพักอาศัยรวมในกรุงเทพฯ เพื่อจัดทำเป็นอาคารพักอาศัยต้นแบบ จำนวน 13 อาคาร ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบทั้งหมดร้อยละ 40 สัดส่วนของอาคารเป็น 1 ต่อ 4.3 สัดส่วนพื้นที่ Core ต่อพื้นที่อาคารต่อชั้นเป็น 1 ต่อ 6.3 ระบบปรับอากาศเป็นระบบแยกส่วน ค่าอุณหภูมิที่ 24 °C พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 8.13 วัตต์ / ตร.ม. พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์เท่ากับ 8.96 วัตต์/ตร.ม. โดยข้อมูลที่อ้างอิงจากงานวิจัยทั้ง 2 งานวิจัย ทำให้ได้ข้อมูลอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยกรณีศึกษา

ความกว้างของอาคาร	16.30 เมตร
ความยาวของอาคาร	71.00 เมตร
ความสูงของอาคารรวมทุกชั้น	22.40 เมตร
จำนวนชั้นพักอาศัย	7 ชั้น
ความสูงของแต่ละชั้น	3.20 เมตร
ความกว้างทางเดิน	1.50 เมตร
จำนวนยูนิต	175 ยูนิต
จำนวนยูนิตใน 1 ชั้น	25 ยูนิต
พื้นที่อาคารทั้งหมด	8,101.1 ตร.ม.
พื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด	6,185.80 ตร.ม.
ผนัง	คอนกรีตสำเร็จรูป (Precast) ฉาบปูนเรียบทาสี หนา 150 มม. มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value) เท่ากับ 3.608 W/m^2-k
พื้น	คอนกรีตสำเร็จรูป
หลังคา	คอนกรีตเสริมเหล็ก
หน้าต่าง	วงกบอลูมิเนียม และติดตั้งอุปกรณ์บังแดด
กระจก	กระจกใสตัดแสง U=6.81 W/m^2 SHGC 0.71
WWR	40%
LPD	8.13 W/m^2
EQD	8.96 W/m^2
HVAC System	ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (24°C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 19 แบบอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยอ้างอิงในการศึกษา

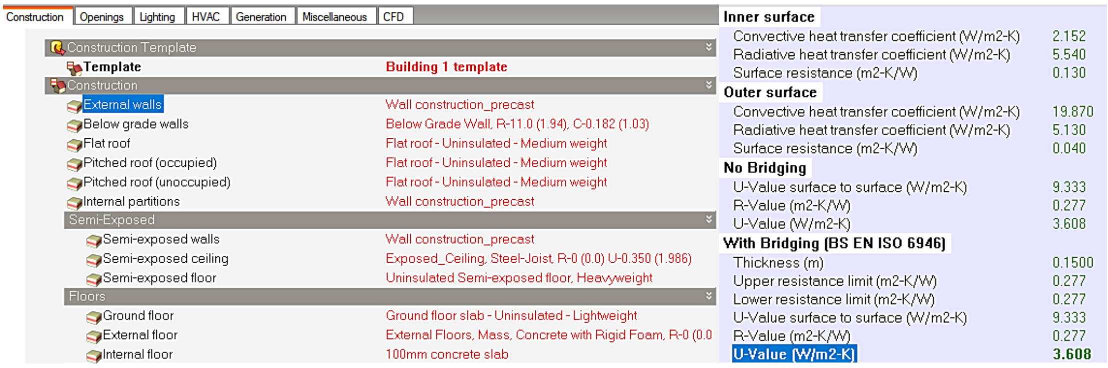
ที่มา: (กันตพงศ์ ศรีเมือง, 2564)

3.5 ทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร ในแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศ

ภาพที่ 20 หุ่นจำลองในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006

ที่มา: ผู้วิจัย

3.5.1 แบบอาคารอ้างอิงสำหรับการจำลองการใช้พลังงานด้วย Designbuilder v7.0.2.006 เพื่อสร้างหุ่นจำลองในโปรแกรม ตามข้อมูลพื้นฐานตามตารางที่ 3 จึงทำให้ได้หุ่นจำลอง ตามภาพที่ 20

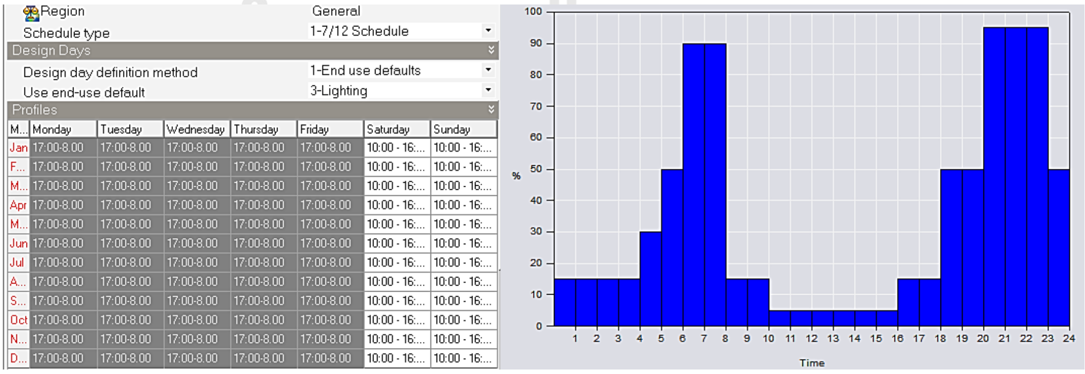


ภาพที่ 21 การตั้งค่าวัสดุเปลือกอาคารในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006

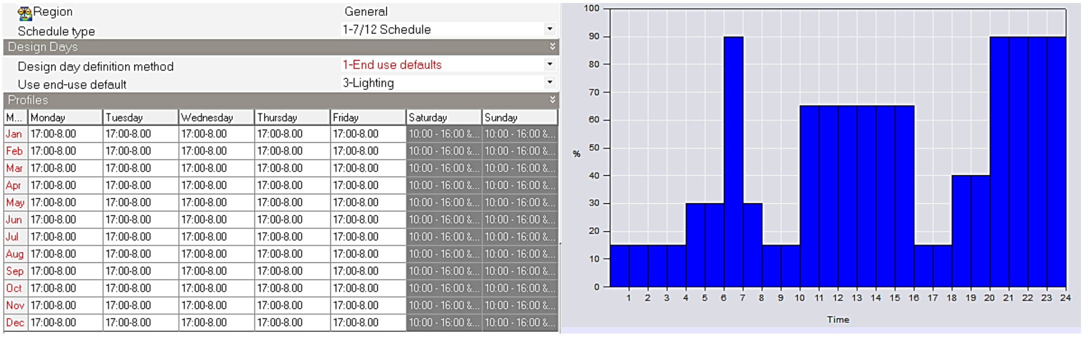
3.5.2 การกำหนดตารางการใช้งานอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

1) ผู้วิจัยได้กำหนดตารางการใช้งานพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ดังนี้ การใช้งานในวันจันทร์-ศุกร์ จะมีการใช้งานในช่วงเวลาหลังเลิกงานไปจนถึงก่อนเที่ยงคืนเนื่องจากเวลาหลังจากนั้นจะเป็นเวลานอนหลับจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างน้อยลง ตั้งแต่ประมาณ 17:00-23:00น. และกลับมาใช้งานอีกทีในช่วงเวลาเช้ามืดไปจนถึงช่วงก่อนออกไปทำงานตั้งแต่ประมาณ 05:00-08:00น. ภาพที่ 22 ส่วนตารางการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานอุปกรณ์ ในวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ จะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากผู้ใช้งานอาคารไม่ต้องออกไปทำงาน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้มีการใช้งานเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาตั้งแต่ประมาณ 10:00-16:00น. ตามภาพที่ 23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

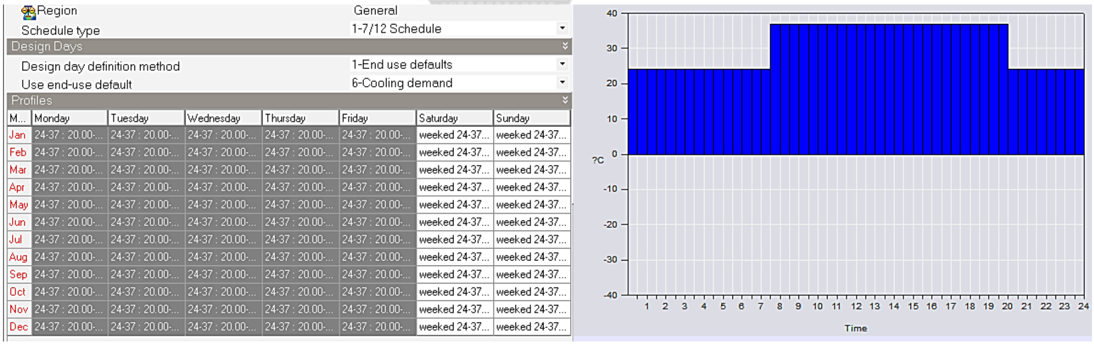


ภาพที่ 22 การตั้งค่าตารางการใช้งานอาคารในวันจันทร์-ศุกร์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006

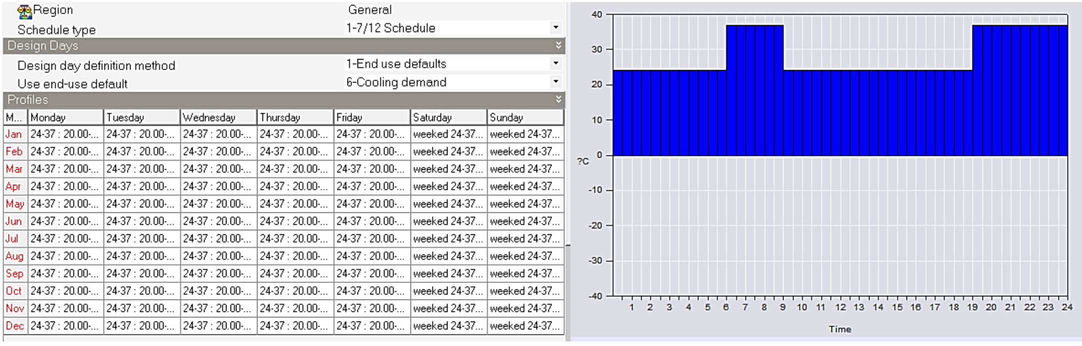


ภาพที่ 23 การตั้งค่าตารางการใช้งานอาคารในวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006

2) การกำหนดตารางการใช้งานอาคาร ผู้วิจัยได้กำหนดตารางการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ ในวันจันทร์-ศุกร์ ดังนี้ กำหนดให้มีการตั้งอุณหภูมิที่ 24°C กำหนดให้มีการใช้งานในเวลากลางคืน ตั้งแต่ประมาณ 20:00น.-07:00น. ตามภาพที่ 24 และในช่วงวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ กำหนดให้มีการใช้งานระบบปรับอากาศเพิ่มมากขึ้นในเวลากลางวัน ตั้งแต่ประมาณ 9:00-19:00น. ตามภาพที่ 25



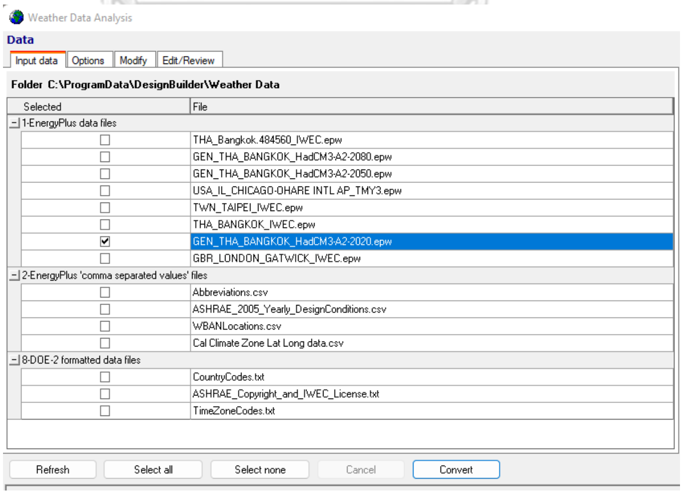
ภาพที่ 24 การตั้งค่าการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ วันจันทร์-ศุกร์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006



ภาพที่ 25 การตั้งค่าการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ในโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006

3.5.3 การแปลงไฟล์ข้อมูลอากาศให้เข้ากันได้กับโปรแกรม DesignBuilder v7.0.2.006

เนื่องจากไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (IWECC) จำเป็นต้องแปลงค่าข้อมูลเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และให้เข้ากันได้กับชุดข้อมูลรายวันในหนึ่งสัปดาห์ และรูปแบบกราฟิก ของโปรแกรม DesignBuilder จึงจำเป็นต้องตั้งค่าให้ข้อมูลปี อยู่ในปีค.ศ. 2002 เพื่อให้ข้อมูลตรงกัน และเพื่อสร้างชุดข้อมูลสภาพอากาศที่ปรับเปลี่ยนของสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้เครื่องมือแปลงข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่สามารถตั้งค่าในโปรแกรม ภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การแปลงค่าไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (IWECC) เพื่อให้ข้อมูลเข้ากันได้กับโปรแกรม Designbuilder v7.0.2.006

3.5.4 จำลองการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยโปรแกรม Designbuilder โดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990)

3.5.5 จำลองการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยโปรแกรม Designbuilder โดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ ทั้ง 3 ช่วงเวลา คือไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020, 2050 และ 2080

3.6 วิเคราะห์และประเมินผลจากการจำลอง

การจำลองการใช้พลังงานอาคารด้วยโปรแกรม Designbuilder จะทำให้ได้ข้อมูลการใช้พลังงานรวม 1 ปี (Net Site Energy: kWh/Yr) และค่าดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อพื้นที่ต่อปี (Operation Energy Use Index :EUI) โดยแยกเป็นพลังงานในการทำความเย็น (Cooling) พลังงานในการทำความร้อนในน้ำร้อน (Heating) และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (Electricity) จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจำลองการใช้พลังงานรวมต่อปีกับค่า EUI ของการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศทุกไฟล์เพื่อดูค่าพลังงานรวมที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ทิศทางของการเปลี่ยนแปลงนั้น

3.7 การคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร 60 ปี

โดยการคำนวณจะแบ่งแยกออกเป็น 2 วิธี คือ

3.7.1 คำนวณโดยใช้ผลการจำลองของการใช้พลังงาน (Net Site Energy) เป็นค่าคงที่ตลอด 60 ปี ตัวอย่างเช่น ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร 1 ปี เท่ากับ 10 kWh/Yr หากคำนวณการใช้พลังงาน 60 ปี ผลรวมจะเท่ากับ 600 kWh/Yr ซึ่งการคำนวณนี้จะใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (Typical Weather Data File)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7.2 คำนวณโดยใช้ผลการจำลองของการใช้พลังงาน (Net Site Energy) เป็นค่าตามการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) หรือค่าที่จะเป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต (Regression Calculation) ตัวอย่างเช่น ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร 1 ปี เท่ากับ 10 kWh/Yr หากคำนวณการใช้พลังงาน 60 ปี ผลรวมจะไม่เท่ากับ 600 kWh/Yr แต่จะเพิ่มมากขึ้น ตามค่าของการใช้พลังงานที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นทุกๆปี ตามสถานการณ์การคาดคะเนในอนาคต โดยการคำนวณนี้จะใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (Future Weather Data File) คือไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 และคำนวณต่อไปอีก 60 ปี โดยจะสิ้นสุดที่ปี

ค.ศ. 2080 จากนั้นนำผลของการคำนวณการใช้พลังงาน 60 ปีของทั้ง 2 วิธีนี้ พิจารณาเปรียบเทียบกัน เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างและทิศทางการเปลี่ยนแปลง

3.8 ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวม 60 ปีทั้ง 2 วิธีข้างต้น สามารถนำไปศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารตลอด 60 ปี (Life Cycle Assessment) ด้วยโปรแกรม One Click LCA โดยแบ่งการประเมินเป็น 5 ส่วน ดังนี้

3.8.1 A1-A3: Construction Material ขั้นตอนของผลิตภัณฑ์ หรือวัสดุ จะครอบคลุมถึงผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือวัสดุ ที่พร้อมจะจัดส่งไปยังสถานที่ก่อสร้าง รวมถึงการสกัดวัตถุดิบ การขนส่ง และการปล่อยมลพิษจากการผลิต โดยค่า ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในช่วงระยะ 100ปี (Global Warming Potential: GWP) โดยสำหรับประเทศไทยนั้นจะอ้างอิงฐานข้อมูลจากหลากหลายฐานข้อมูล เช่น องค์กรที่รวบรวมข้อมูลพร้อมใช้งานด้านสิ่งแวดล้อมทั่วโลก Ecoinvent (2023) และข้อมูลวัสดุของประเทศไทยที่ผ่านการรับรองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม (Environmental Product Declaration : EPD), One Click LCA Generic Construction Definitions ที่ได้รวบรวมข้อมูลวัสดุและผลิตภัณฑ์มากกว่า 150,000 ข้อมูลในปัจจุบัน และได้รับการตรวจสอบแล้ว โดยรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทั้งภาครัฐและเอกชนรวมเข้ากับฐานข้อมูลของ OneClick LCA ซึ่งงานวิจัยได้ทำการถอดปริมาณวัสดุประกอบอาคาร ของวัสดุแต่ละชนิดซึ่งจะมีหน่วยเป็น เมตร ตารางเมตร และลูกบาศก์เมตร และนำปริมาณนั้น มารวมกับข้อมูลปริมาณการปล่อยคาร์บอนของวัสดุ ในโปรแกรมหรือที่เรียกว่า Embodies Carbon ซึ่งจะมีหน่วยเป็น เมตร ตารางเมตร หรือลูกบาศก์เมตรต่อคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (m^2 or m^3/CO_2e) ตามที่แสดงในตารางที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนของวัสดุ (ข้อมูลจากโปรแกรม OneClick LCA)

วัสดุ	Quantity m/m2/m3/kg	Global warming potential (GWP)	Transport (Km.)	Service life อายุการใช้งาน	ฐานข้อมูล
Vertical Strcutures and façade					
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Exterior:Precast Concrete wall: Density 2400kg/m3)	340 m3	336.36 kg CO2e/m3	300	As Building (60ปี)	IEA2020
สีอะคริลิกสำหรับทาภายนอก (Acrylic paint for Exterior)	110 kg	2.5 kg CO2e/kg	300	10	IEA2020
เสาคอนกรีต (Concrete column)	154 m	336.36 kg CO2e/m3	300	As Building (60ปี)	LCA genneric
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Interior:Precast Concrete wall)	280 m3	336.36 kg CO2e/m3	300	As Building (60ปี)	IEA2020
Horizontal Structures : beam,floors and roofs					
หลังคาคอนกรีต (Precast Concrete roof)	1,661.26 m3	336.36 kg CO2e/m3	300	As Building (60ปี)	IEA2020
ปูนฉาบ (Ready-mix Concrete)	237.32 m3	270.88 kg CO2e/m3	300	As Building (60ปี)	IEA2020
เมมเบรนกันซึมสำหรับหลังคา (Bitumen-polymer membrane roofing)	23.73 m3	0.68 kg CO2e/kg	300	20	IEA2020
คานหลังคาคอนกรีต (Concrete beam)	3,749.20	336.36 kg CO2e/m3	300	As Building (60ปี)	LCA genneric
Other Strucres and materials					
_Windows and doors					
ประตูไม้อัด (Plywood,generic 4-50mm.)	36.4 m3	329.4 kgCO2e/m3	340	As Building (60ปี)	IEA2020
กระจกใสตัดแสง (Float glass,single pane 3-12mm.)	8.03m3	1.22 kgCO2e/kg	380	35	IEA2020
โครงเคร่าอะลูมิเนียม (Aluminum profile for suspended ceiling system 38X24mm	2909.2 m	2.4 kgCO2e/m	470	As Building (60ปี)	IEA2020
_Finishes and coverings					
ฝ้ายิปซั่มบอร์ด (Gypsum plaster board 6.5-25mm.)	103 m3	0.29 kgCO2e/kg	60	As Building (60ปี)	IEA2020
Building technology					
แผงโซล่าเซลล์ติดตั้งบนหลังคา (Photovoltaic system (PV), rooftop)	925 m2	258 kgCO2e/m	320	25	IEA2020

3.8.2 A4: Transportation to Site คือการขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งจะครอบคลุมถึงผลกระทบของการขนส่งวัสดุจากโรงงานไปยังสถานที่ก่อสร้าง โดยขั้นตอนนี้ผู้วิจัยอ้างอิงข้อมูลระยะทางจากโรงงานไปสู่สถานที่ก่อสร้างจากฐานข้อมูลบางส่วนของ IEA 2020 และข้อมูลจากงานวิจัยของ (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2022) ที่ได้ให้ข้อมูลว่าส่วนใหญ่โรงงานผลิตจะอยู่ห่างจากสถานที่ก่อสร้างไม่เกิน 300 กิโลเมตร โดยแสดงในตารางที่ 4

3.8.3 A5: Construction/Installation Process จะครอบคลุมถึงผลกระทบจากการใช้พลังงานและน้ำในไซต์ก่อสร้าง การจัดการของเสีย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการสูญเสียวัสดุ ขั้นตอนนี้คือการจำลองสถานการณ์ของสถานที่ก่อสร้าง (Construction Site Scenario) โดยเลือกข้อมูลตามเขตภูมิอากาศ เพื่อพิจารณาผลกระทบด้านการใช้ไฟฟ้า เชื้อเพลง ของเสีย และการขนส่ง โดยประเทศไทยนั้นเลือกใช้ข้อมูล Average Site Impact-Tropical โดยผลกระทบนี้จะ ส่วนการจำลองสถานการณ์ของการก่อสร้างนั้นจะคำนวณจากพื้นที่รวมภายใน โดยไม่รวมผนังภายนอกและนับรวม 1 ชั้นของอาคาร (Gross Interior Floor Area: GIFA) และขั้นตอนการจำลองการรื้อถอนอาคาร (Deconstruction/Demolition Site Scenario) จะคำนวณจากพื้นที่รวมภายในอาคารโดยไม่รวมผนังภายนอก และนับรวมพื้นที่ทุกชั้นของอาคาร Gross Internal Area: GIA โดยทั้ง 2

ส่วนนี้จะมีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (m^2/CO_2e) ส่วนต่อไปเป็น Energy Use on Site ขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการก่อสร้างอาคาร โดยผู้วิจัยได้กำหนดค่าการใช้ไฟฟ้าในเบื้องต้นตามผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารในช่วงระยะเวลา 1 ปี เนื่องจากการสร้างคอนโดมิเนียมในปัจจุบันจะใช้ระยะเวลาสร้างโดยประมาณ 1 ปี

3.8.4 B1-7: Use Stage เป็นการรวมข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนวัสดุของอาคาร ข้อมูลช่วงการใช้งานอาคาร การบำรุงรักษาอาคารและวัสดุ การซ่อมแซม การเปลี่ยนวัสดุ การตกแต่งใหม่ โดยอ้างอิงข้อมูลอายุการใช้งานของวัสดุตามตารางที่ 2 ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะรวมไปถึงการนำเข้าพลังงานในช่วงใช้งานอาคาร พลังงานที่ผลิตจากพลังหมุนเวียน (Operational Energy Use) และครอบคลุมถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำ รวมถึงการผลิต และการขนส่ง และการบำบัดน้ำเสีย (Operational Water Use)

ขั้นตอน B6: Operational Energy Use งานวิจัยนี้ ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษาในระยะเวลา 1 ปี ในโปรแกรม Designbuilder เพื่อนำผลจำลองมาทำการคำนวณการใช้พลังงานตลอด 60 ปี ตาม 2 วิธีข้างต้น คือการคำนวณโดยใช้ค่าคงที่ 60 ปี และคำนวณโดยใช้ค่าตามการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ 60 ปี (หัวข้อ 3.7.1 และ 3.7.2) แล้วนำข้อมูลรวมเข้ากับข้อมูลส่วนอื่น ๆ ในโปรแกรม

3.8.5 C1-4: End of Life Stage เป็นการรวมข้อมูลของผลกระทบจากกระบวนการรีไซเคิลวัสดุจากการก่อสร้าง จนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการขยะ หรือผลกระทบของกระบวนการเตรียมการและการฝังกลบของขยะที่ไม่สามารถ รีไซเคิลได้ ข้อมูลสิ้นสุดของการดำรงอยู่ของอาคาร การรื้อถอน การขนส่งขยะ การจัดการขยะ และการฝังกลบ และยังรวมถึงการปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นจากการนำพลังงานเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่

3.8.6 D: Reuse, Recovery and/or Recycling Potentials โดยขั้นตอนสุดท้ายนี้แสดงถึงการนำวัสดุกลับมาใช้ซ้ำ และ/หรือการรีไซเคิลตามศักยภาพที่สามารถทำได้ของแต่ละวัสดุ

โดยผลทั้งหมดจะได้เป็นปริมาณที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือ Global Warming (kg CO_2e) ตามภาพที่ 25 ซึ่งการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทำได้โดยการแปลงค่าการใช้ไฟฟ้าเป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ตามฐานข้อมูลของ CEIC Data Global Database หรือ Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy โดยข้อมูลของประเทศไทยในปี ค.ศ. 2022 อยู่ที่ 0.407 kg

/kWh เป็นการเก็บข้อมูลในเชิงสถิติ ที่เก็บในปี ค.ศ. 1987-2022 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ขึ้นตรงกับรายงานสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ของกระทรวงพลังงานของประเทศไทย (CEIC, 2022)

Base case building - Life-cycle assessment, EN-15978 Project basic information

Commercial usage is forbidden. One Click LCA Student (International) Business + Carbon Designer, EDUCATION, Apinya Wetchakama 14.06.2023 19:48

38 770 Tonnes CO_2e | 79.58 kg CO_2e / m^2 / year | 1 938 510 € Social cost of carbon

› Carbon Heroes Benchmark

⌄ Results

Life cycle assessment results Download Results Summary

	Result category	Global warming kg CO_2e	Acidification kg SO_2e	Eutrophication kg PO_4e	Ozone Depletion kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ	Biogenic carbon storage kg CO_2e bio	
A1-A3	Construction Materials	1,94E6	6,37E3	1,12E3	7,51E−2	3,6E2	1,02E7	3,41E4	Details
A4	Transportation to site	6,04E4	1,85E2	3,97E1	1,11E−2	6,19E0	1,33E6		Details
A5	Construction/installation process	1,62E5	5,25E2	3,01E2	2,38E−2	2,08E1	2,93E6		Details
B1-B5	Maintenance and material replacement	2,08E5	1,26E3	1,9E2	2,37E−2	1,37E2	2,96E6		Details
B6	Energy consumption	3,61E7	1,59E5	3,59E4	2,18E0	6,12E3	5,18E8		Details
B7	Water use	2,03E5	1,4E3	3,21E2	8,24E−3	4,99E1	3,32E6		Details
C1-C4	End of life	6,66E4	3,63E2	7,77E1	1,25E−2	8,05E0	1,52E6		Details
D	External impacts (not included in totals)	−3,64E5	−1,17E3	−1,7E2	−1,44E−2	−1,75E2	−4,16E6		Details
	Total	**3,88E7**	**1,69E5**	**3,79E4**	**2,33E0**	**6,7E3**	**5,4E8**	**3,41E4**	
	Results per denominator								
	Gross Internal Floor Area (IPMS/RICS) 8120.0 m^2	4,77E3	2,08E1	4,67E0	2,87E−4	8,26E−1	6,65E4	4,2E0	

ภาพที่ 27 การตั้งค่าการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารในโปรแกรม One Click LCA

3.9 การศึกษาการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ด้วยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากค่า Global Warming (kg CO_2e) สามารถนำไปศึกษา การชดเชยการปล่อยคาร์บอนของอาคาร เพื่อไปสู่อาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) บนตัวอาคาร จากแบบอาคารกรณีศึกษา ที่ได้จำลองพลังงานแล้ว จึงนำมาศึกษาการชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการ จำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) ด้วยเครื่องมือ Photovoltaic Installation ในโปรแกรม DesignBuilder เพื่อ Generate พลังงานจาก การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้การจำลองทั้งหมด 4 ไฟล์อากาศและเปรียบเทียบกัน โดยแผงโซล่าเซลล์ที่เลือกใช้เป็นของ Solar PPM รุ่นSPPM 600W-Monocrystaline Monofacial (MIT) ที่ผลิตในประเทศไทยและส่งออกทั่วโลกและได้รับมาตรฐาน ISO มีค่าการเสื่อมสภาพอยู่ที่ 0.55% ต่อปี ตลอดอายุการใช้งาน 25-30 ปี

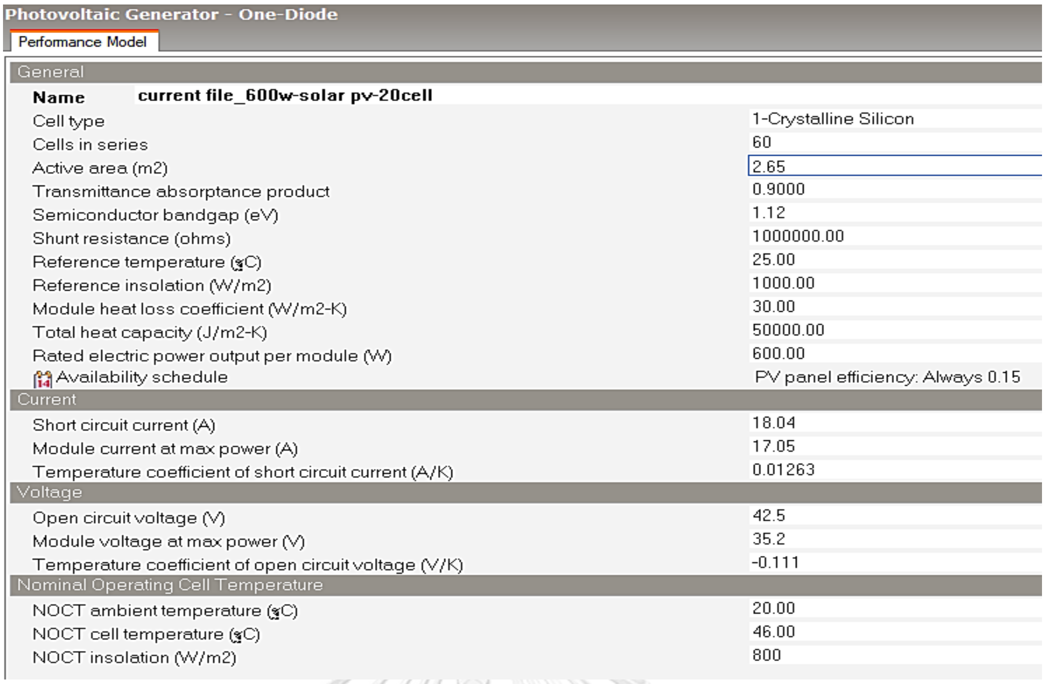
ซึ่งค่าพลังงานที่ได้จากการจำลองต้องนำมาคิดหักลบกับค่าเสื่อมสภาพของแผงโซล่าเซลล์ ซึ่งจะผลิตพลังงานได้น้อยลงทุก ๆ ปี ปีละ 0.55% ตลอด 30 ปี และหากมีการเปลี่ยนแผงโซล่าเซลล์ทุก 30 ปี จะส่งผลให้การผลิตพลังงานในปีที่ 31 จะผลิตพลังงานได้เท่ากับปีแรกที่พึ่งติดตั้งใหม่ แสดงในตารางที่ 3

3.9.1 ทำการตั้งค่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บนหลังคา ของอาคารกรณีศึกษา โดยใช้แผงโซล่าเซลล์ Solar PPM รุ่นSPPM 600W-Monocrystaline Monofacial (MIT) ขนาด 2.2 ตร.ม. โดยติดตั้งทั้งหมด 350 แผง โดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 5 และนำไปตั้งค่าในโปแกรมตามภาพที่ 28-29

ตารางที่ 5 การตั้งค่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การตั้งค่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (อ้างอิงวิธีการตั้งค่าตามคำแนะนำของ Designbuilder)	
ประเภท	ข้อมูลการตั้งค่า (SolarPPM)
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำกระแสไฟฟ้า (Performance type)	Equivalent One-Diode
ประเภทของเซลล์ (Cell Type)	Crystalline Silicon
จำนวนเซลล์ใน 1 แผง (Cell In Series)	60
พื้นที่การผลิตพลังงานไฟฟ้า/แผง (Active Area)	2.65 M2 per array
กำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้/แผง (Rated Electric Power Output)	600 W
การไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (Short Circuit current)	18.04 Amp
ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถผลิตได้ Module current at max power (A)	17.05 Amp
เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น-หรือลดลง หน่วยเป็น แอมป์/เคลวิ่น :Temperature coefficient short circuit current)	0.012628 A/K
แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage)	42.5 V
แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสูงสุด Module voltage at max power	35.2 V
ค่าสัมประสิทธิอุณหภูมิของแรงดันวงจรเปิด (Temperature Coefficient of Open Circuit Voltage) (V/K)	-0.111

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

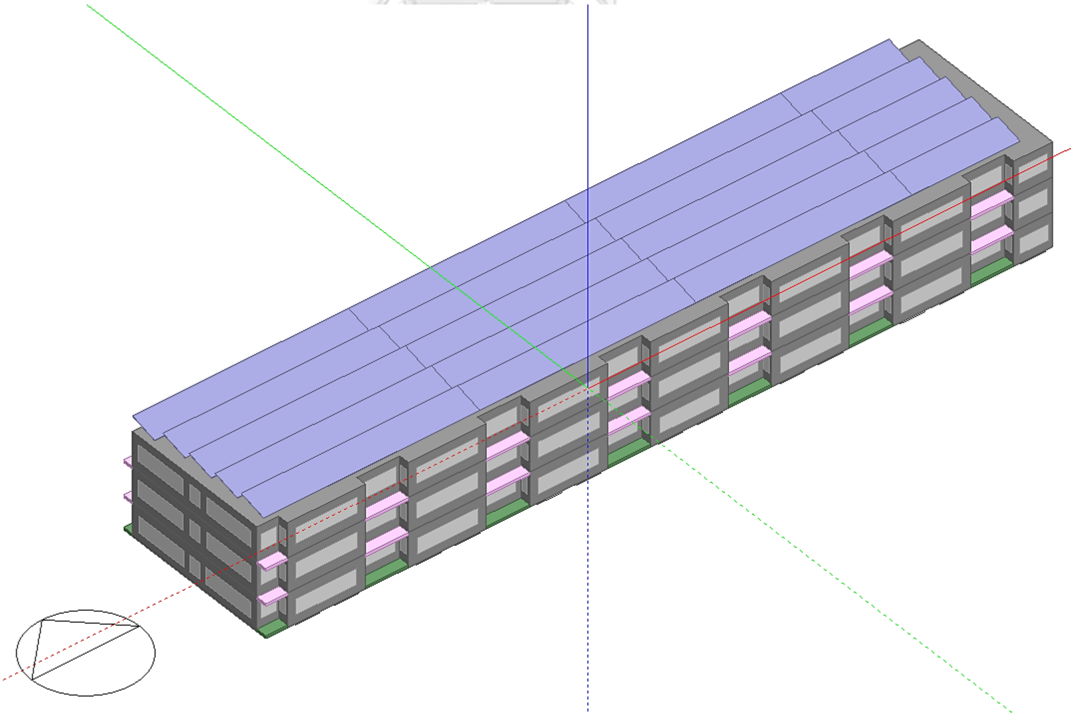


Photovoltaic Generator - One-Diode

Performance Model

General	
Name	**current file_600w-solar pv-20cell**
Cell type	1-Crystalline Silicon
Cells in series	60
Active area (m2)	2.65
Transmittance absorptance product	0.9000
Semiconductor bandgap (eV)	1.12
Shunt resistance (ohms)	1000000.00
Reference temperature (ºC)	25.00
Reference insolation (W/m2)	1000.00
Module heat loss coefficient (W/m2-K)	30.00
Total heat capacity (J/m2-K)	50000.00
Rated electric power output per module (W)	600.00
Availability schedule	PV panel efficiency: Always 0.15
Current	
Short circuit current (A)	18.04
Module current at max power (A)	17.05
Temperature coefficient of short circuit current (A/K)	0.01263
Voltage	
Open circuit voltage (V)	42.5
Module voltage at max power (V)	35.2
Temperature coefficient of open circuit voltage (V/K)	-0.111
Nominal Operating Cell Temperature	
NOCT ambient temperature (ºC)	20.00
NOCT cell temperature (ºC)	46.00
NOCT insolation (W/m2)	800

ภาพที่ 28 การตั้งค่าการจำลอง การติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้า ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยกรณีศึกษา



ภาพที่ 29 การตั้งค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยกรณีศึกษา

จากผลการจำลองของอาคารกรณีศึกษาใน 1 ปี โดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) สามารถนำค่าพลังงานที่ได้จากการจำลองมาคิดหักลบกับค่าเสื่อมสภาพของแผงโซล่าเซลล์ ซึ่งจะผลิตพลังงานได้น้อยลงทุก ๆ ปี ปีละ 0.55% ตลอด 30 ปี และหากมีการเปลี่ยนแผงโซล่าเซลล์ทุก 30 ปี จะส่งผลให้การผลิตพลังงานในปีที่ 31 จะผลิตพลังงานได้เท่ากับปีแรกที่พึ่งติดตั้งใหม่ และนำพลังงานที่หักลบแล้ว มาแปลงค่าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ตามฐานข้อมูลของ ตามฐานข้อมูลของ CEIC (2022) หรือ Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy โดยข้อมูลของประเทศไทยอยู่ที่ 0.407 kgCO_2/kWh จากนั้นนำมาหักลบกับค่าการปล่อยคาร์บอนทั้งหมดของอาคารตลอด 60 ปี โดยแบ่งการชดเชยการปล่อยคาร์บอนเป็นลำดับตามแผนนโยบายของกระทรวงพลังงาน คือ ลดการปล่อยคาร์บอนลง 20% 50% 75% 100% และพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่าง การชดเชยการปล่อยคาร์บอนจากการใช้ไฟล์อากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020-2080) ซึ่งเป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในการจำลอง กับการชดเชยการปล่อยคาร์บอนจากการใช้ไฟล์อากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ในการจำลอง โดยผลที่ได้จะต้องเป็นปริมาณของการผลิตไฟฟ้าที่ต้องผลิตให้ได้เพื่อชดเชยคาร์บอนในแต่ละลำดับของการชดเชย หน่วยเป็น kWh

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ของปี ค.ศ. 2020, 2050, และ 2080 แล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) เพื่อศึกษาสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป และนำไปใช้ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคารและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตอาคาร และเสนอแนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ทำให้แสดงผลการวิจัยในประเด็นดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ไฟล์ข้อมูลอากาศ

เมื่อทำการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตแล้ว นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน โดยจะวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และสภาวะน่าสบาย ได้ดังนี้

4.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง Dry Bulb Temperature

เมื่อแปลงไฟล์ IWECC เป็นไฟล์ในรูปแบบ CSV (Comma Separated Value) ที่เป็นข้อมูลตัวเลขในรูปแบบตาราง โดยใช้เครื่องหมายจุลภาค ในการแบ่งคอลัมน์ สามารใช้ Excel เปิดใช้ไฟล์ข้อมูล จากนั้นสามารถนำมาหาค่าเฉลี่ย (Average) ค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) ได้ โดยข้อมูลตัวเลขจะแสดงอุณหภูมิเป็นรายชั่วโมง ทั้งหมด 24 ชั่วโมงใน 1 วัน รวมเป็น 8,760 ชั่วโมงใน 1 ปี โดยค่าเฉลี่ยรายเดือนตลอด1ปีของทุกไฟล์อากาศนั้น สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 6

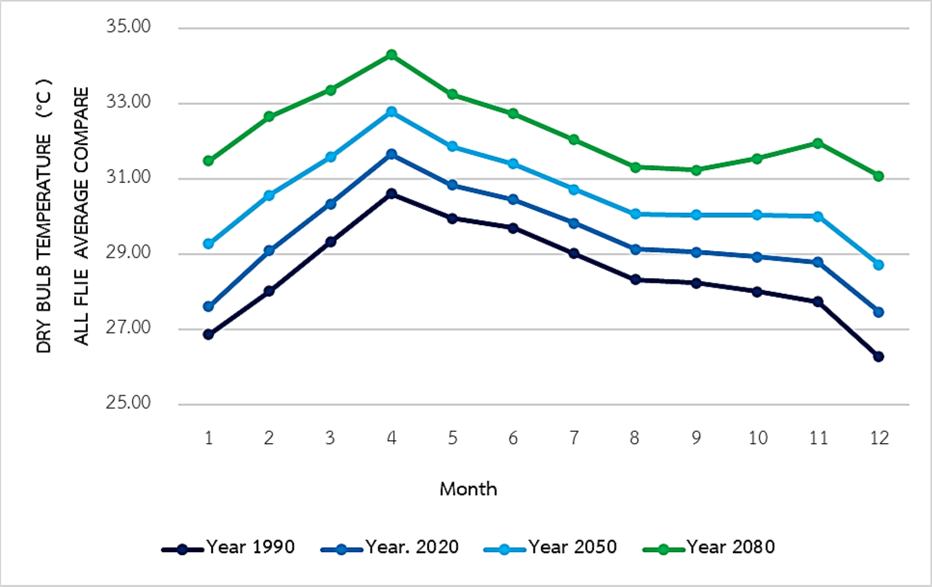
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด ตลอดทั้งปี ของทุกไฟล์ข้อมูลอากาศ

ข้อมูลอุณหภูมิกระเปราะแห้งเฉลี่ยรายปี (องศาเซลเซียส)				
	ปี ค.ศ. 1990	ปี ค.ศ. 2020	ปี ค.ศ. 2050	ปี ค.ศ. 2080
ค่าเฉลี่ย (Average)	28.50	29.43	30.59	32.25
ค่าต่ำสุด (Minimum)	15.00	15.30	17.30	19.70
ค่าสูงสุด (Maximum)	38.50	39.90	41.30	42.00

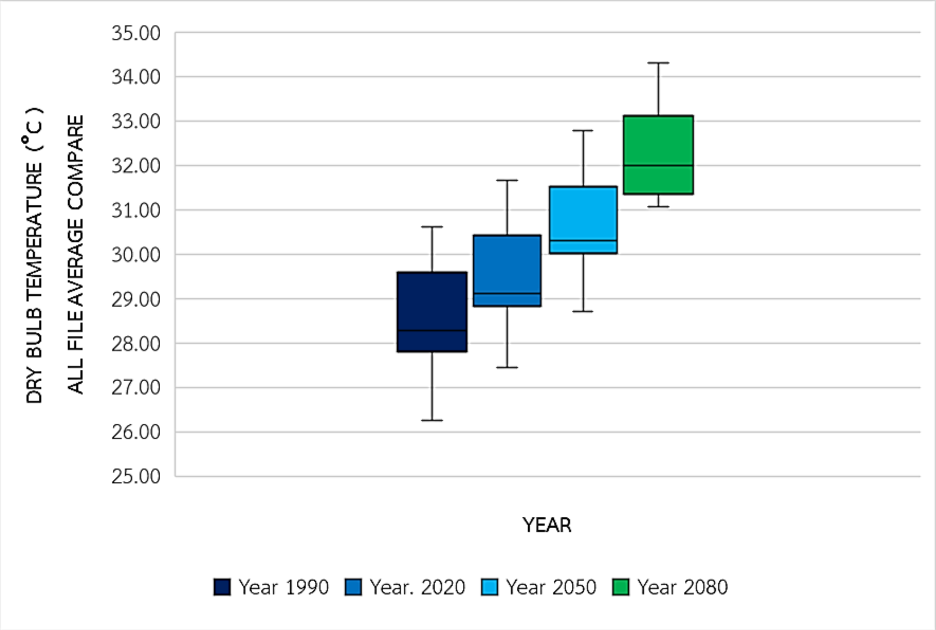
จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี ในปี ค.ศ. 1990 อยู่ที่ 28.50 °C และเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี ค.ศ. 2020 อยู่ที่ 29.43 °C ปี ค.ศ. 2050 อยู่ที่ 30.59 °C ปี ค.ศ. 2080 อยู่ที่ 32.25 °C แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น 3.75-4 °C

เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของไฟล์อากาศทั้ง 4 ไฟล์ จากตารางที่ 6 และภาพที่ 30 จะเห็นว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยแต่ละเดือนใน 1 ปี จะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 4-5 °C โดยช่วงเดือนเมษายนเป็นเดือนที่อุณหภูมิสูงสุด (30-34 °C) และเดือนธันวาคมจะต่ำสุด (26-31 °C)



ภาพที่ 30 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีของไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

และนอกจากนี้อุณหภูมิค่าสูงสดและค่าต่ำสุดในแต่ละปีก็เพิ่มสูงขึ้นในทุกปีเช่นเดียวกัน ซึ่งจะแสดงโดยแผนกล่อง Box-Plot โดยขีดล่างสุดแสดงถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งต่ำสุดในปีนั้น ขีดบนสุดแสดงถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุดในปีนั้น และสุดท้ายขีดตรงกลางแสดงถึงคือค่ามัธยฐาน (Median) ซึ่งเป็นค่าระดับที่เป็นกลางที่สุดจากทุกค่า พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยไฟล์ปี ค.ศ. 1990 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 28.5 °C เพิ่มขึ้นเป็น 29.4 °C ในข้อมูลของไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020 เพิ่มสูงขึ้นเป็น 30.5 °C ในข้อมูลของไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2050 และสุดท้ายเพิ่มขึ้นเป็น 32.5 °C ในข้อมูลของไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2080 โดยข้อมูลของทั้ง 4 ไฟล์อากาศจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีสูงขึ้นประมาณ 4 °C ตามที่แสดงในภาพที่ 31



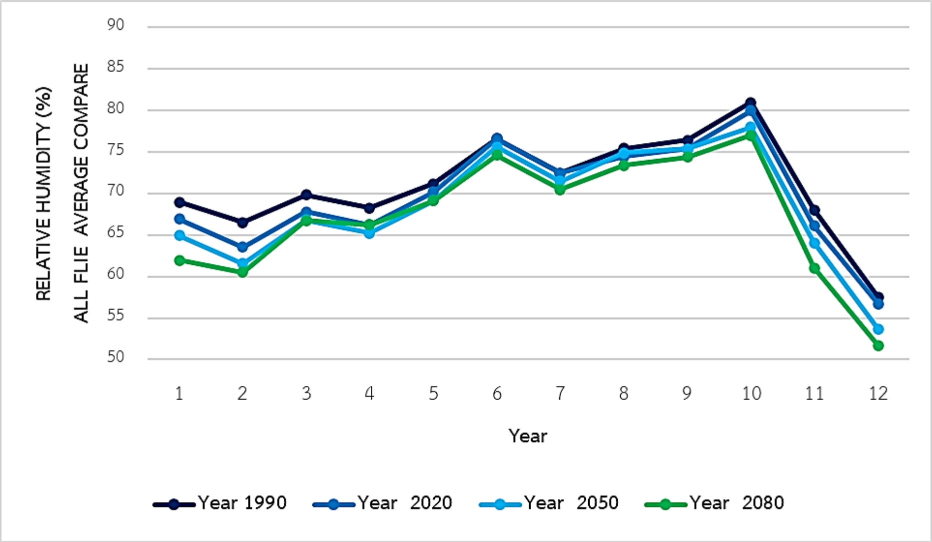
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 31 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยใน 1 ปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

4.1.2 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ Relative Humidity

ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนใน 1 ปีของแต่ละไฟล์อากาศ จะเห็นว่าข้อมูลความชื้นสัมพันธ์จะอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างสูง (50-80%) ซึ่งเป็นลักษณะของประเทศไทยที่มีอากาศร้อนตลอดทั้งปี จึงทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละเดือน แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันของแต่ละไฟล์อากาศ 4 ไฟล์ จะเห็นได้ว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยลดลงในทุกเดือน ประมาณ 7% โดยในช่วงพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมเป็นช่วงที่อากาศเย็นลง ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 จนถึงไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 จะลดลงมากที่สุดจาก 68% เป็น

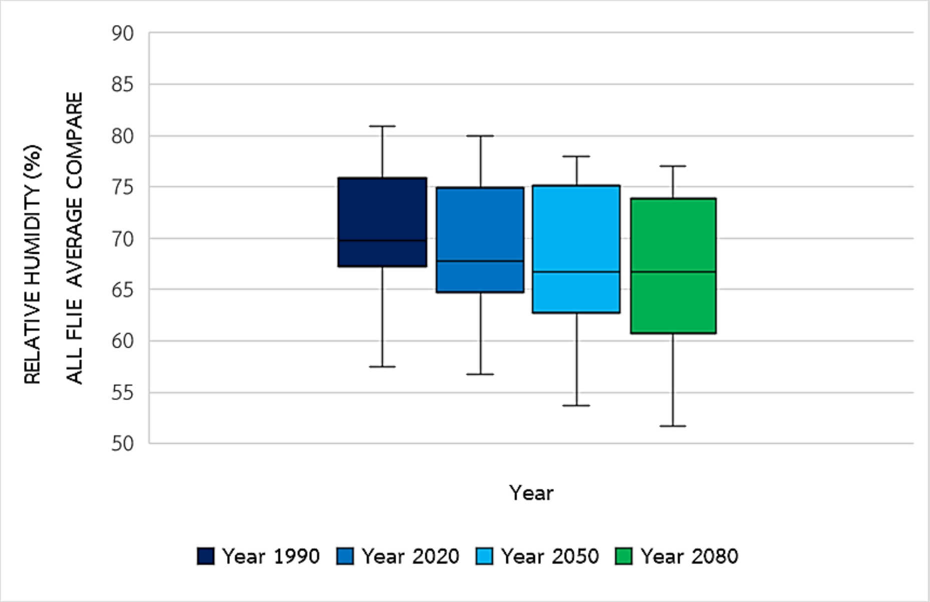
61% และในช่วงเดือนเมษายนถึงกันยายนจะลดลงน้อยที่สุดจาก 75% เป็น 74% โดยลดลงประมาณ 1% ตามที่แสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนใน 1ปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

ในส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี จากไฟล์ปี ค.ศ. 1990-2080 จะเห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์จะค่อยๆ ลดลง ในทุก ๆ ปี แต่จะลดลงเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในไฟล์ปี ค.ศ. 1990 อยู่ที่ 70% จากนั้นลดลงเป็น 69% ในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020 ลดลงเป็น 68% ในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2050 และสุดท้ายลดลงเป็น 67% ในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2080 แสดงในภาพที่ 33

CHULALONGKORN UNIVERSITY



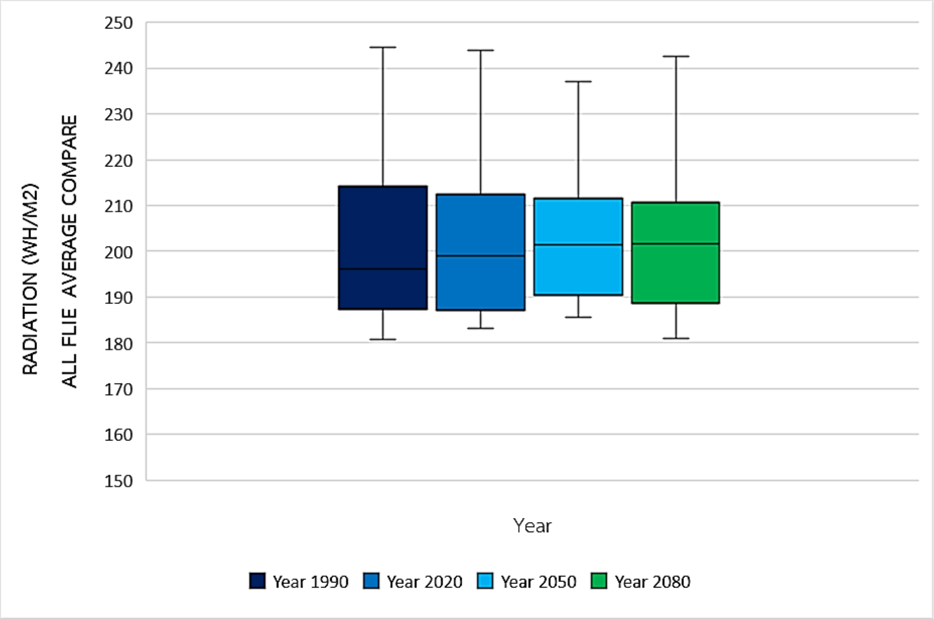
ภาพที่ 33 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

4.1.3 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ Radiation

โดยต่อมาเป็นการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศ จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของทุกไฟล์ข้อมูลอากาศจะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยในเดือนมกราคมจะอยู่ที่ 196-202Wh/m^2 และเพิ่มสูงขึ้นมากในเดือนมีนาคม อยู่ที่ 243-245Wh/m^2 และค่อยๆลดลงจนในเดือนกันยายนจะอยู่ที่ 192-197Wh/m^2 และในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมนั้น แต่ละไฟล์อากาศจะมีความแตกต่างกัน ที่สังเกตเห็นได้ชัดกว่าช่วงเดือนอื่นๆ โดยในข้อมูลในไฟล์อากาศปี ค.ศ. 1990-2020 จะอยู่ที่ 190Wh/m^2 จากนั้นเพิ่มสูงขึ้น เป็น 195Wh/m^2 ในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2050 และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 198Wh/m^2 ในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2080 ตามภาพที่ 34

ภาพที่ 34 ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

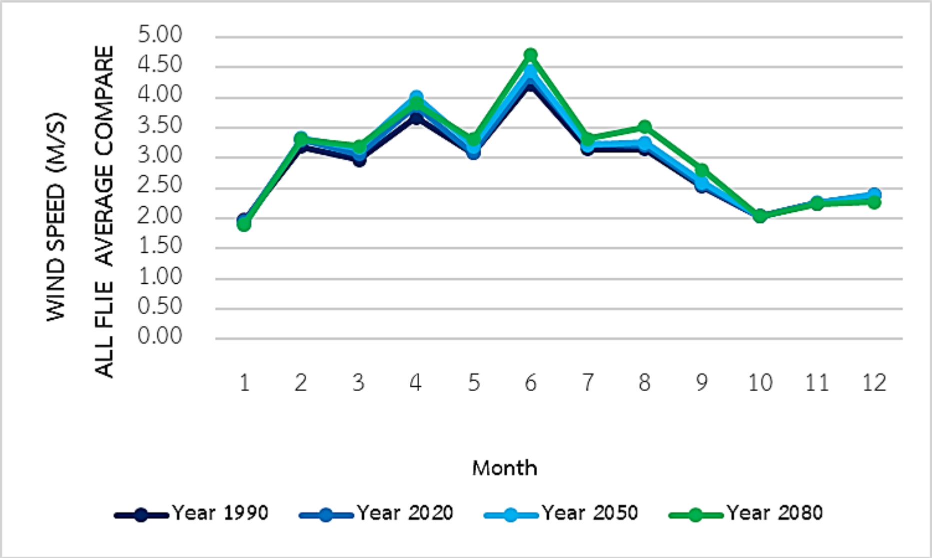
การแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี พบว่ามีการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่มากนัก โดยในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 1990-2020 อยู่ที่ 204 Wh/m^2 และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 206 Wh/m^2 ในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2050-2080 แสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

4.1.4 ความเร็วลม Wind Speed

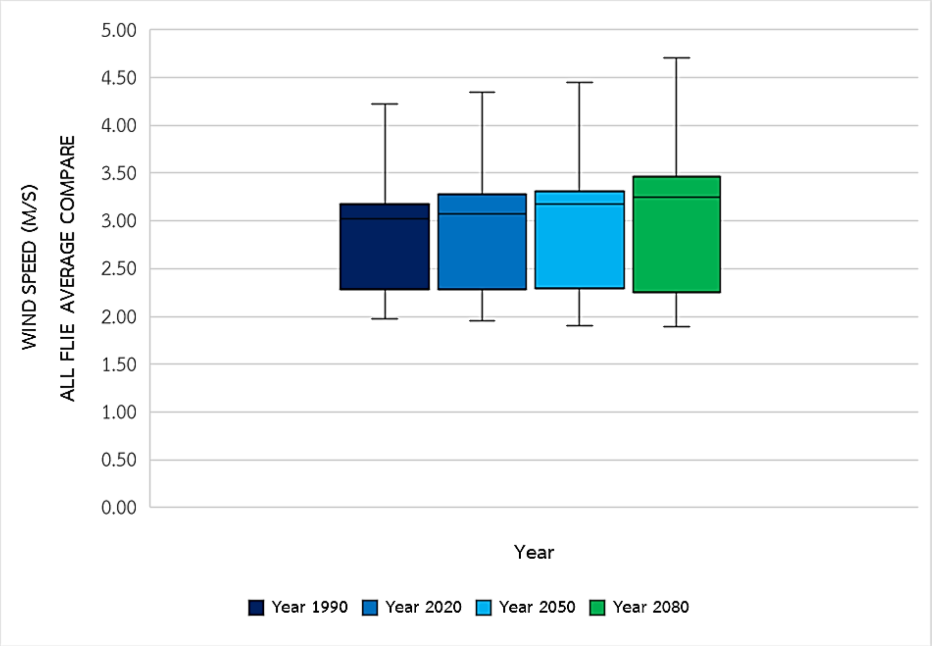
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเร็วลมรายเดือน ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) พบว่าเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกันยายน ระดับความเร็วลมเฉลี่ยเพิ่มขึ้น จากไฟล์ข้อมูลปี ค.ศ. 1990 โดยที่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ระดับความเร็วลมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทุกปี เดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายนความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม ความเร็วลมเฉลี่ยลดต่ำลงเล็กน้อย ตามภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปี พบว่าค่าความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก โดยในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 1990-2020 อยู่ที่ 2m/s (เมตรต่อวินาที) และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 3m/s ในข้อมูลไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2050-2080 ภาพที่ 37



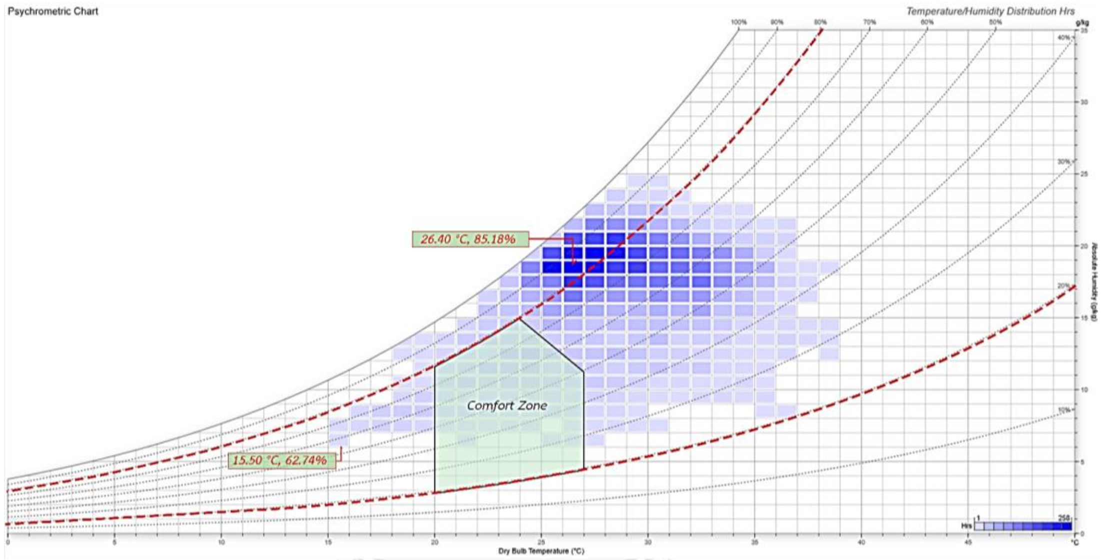
ภาพที่ 37 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปีของแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์

4.1.5 สภาวะน่าสบาย

งานวิจัยนี้แสดงข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ไปข้างต้น คือ ข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ สภาวะน่าสบาย โดยช่องสี่เหลี่ยมสีม่วงแต่ละช่องนั้น แสดงถึงรายละเอียดของสภาพอากาศรายชั่วโมง ใน 1 ปี โดยสีม่วงอ่อนแสดงถึง สภาพอากาศที่มีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ ที่สูงสุดใน 1 ปี และสีม่วงอ่อน แสดงถึงสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่ำสุดในแต่ละปี และกรอบสี่เหลี่ยมสีเขียวอ่อน แสดงถึงช่วงของสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ตามข้อมูลงานวิจัยของ ซึ่งจะมีสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้อยู่ที่ 80% ของผู้ให้สำรวจ ซึ่งพบว่าสภาวะน่าสบายอยู่ที่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง เท่ากับ 20 °C – 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 20%-80% ซึ่งมีจุดตัดของความอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ที่ 24 °C และ 50% ตามทฤษฎีของ Milne-Givoni (Manzano-Agugliaro et al., 2015) ทำให้ได้ข้อมูลในแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศตามที่แสดงในภาพที่ 38-41

ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 โดยสีม่วงอ่อนแสดงถึงผลรวมของ 2 ข้อมูลคือ ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในรอบ 1 ปี และยังหมายถึงจำนวนชั่วโมงใน 1 ปีที่จะมีสภาพอากาศต่ำสุด ซึ่งมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 15.50 °C และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 62.74 % โดยข้อมูลยิ่งสีอ่อนมาก ยิ่งมีจำนวนชั่วโมงที่มีสภาพอากาศดังกล่าวน้อยตามไปด้วย ส่วนสีม่วงเข้ม

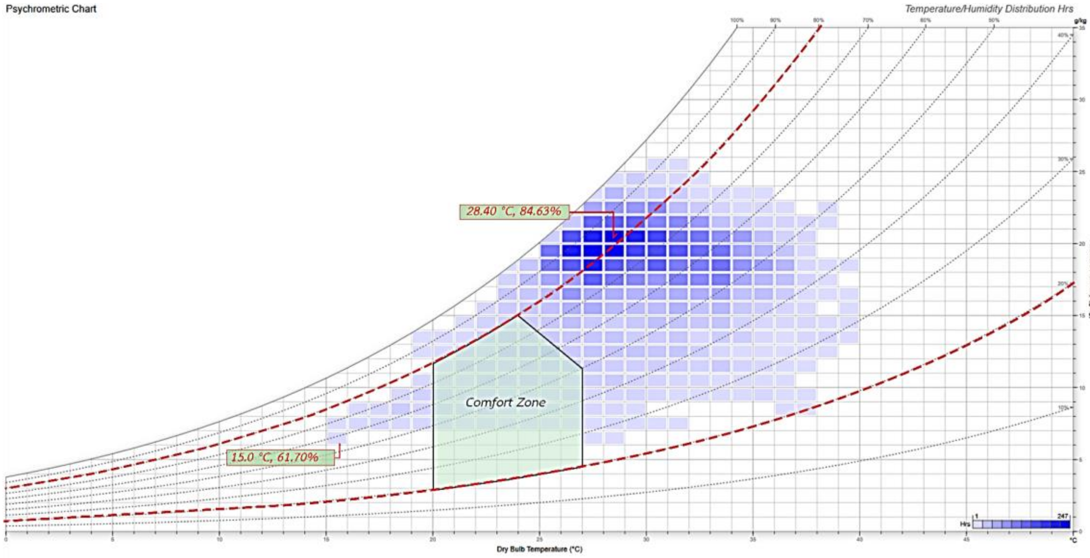
แสดงถึงผลรวมของ 2 ข้อมูลคือ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในรอบ 1 ปี และยังหมายถึงจำนวนชั่วโมงใน 1 ปีที่จะมีสภาพอากาศสูงสุด ซึ่งมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุดเท่ากับ 26.40 °C และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 85.18 % โดยคิดเป็น โดยข้อมูลยิ่งสีเข้มมาก ยิ่งมีจำนวนชั่วโมงที่มีสภาพอากาศดังกล่าวมากตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาสภาวะน่าสบาย จะมีจำนวนชั่วโมงเท่ากับ 56 ชั่วโมง โดยจะมีอุณหภูมิประมาณ 25°C และความชื้นสัมพัทธ์ 76.77% ที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย ตามที่แสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990

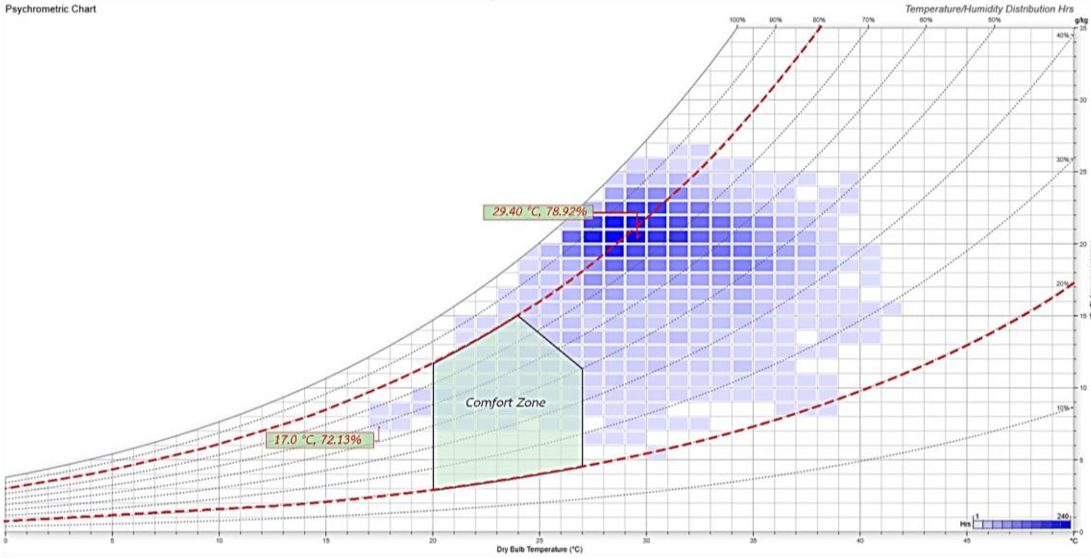
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 มีข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 15.0 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 61.70% ส่วนข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 28.40 °C และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 84.64 % และเมื่อพิจารณาสภาวะน่าสบาย จะมีจำนวนชั่วโมงเท่ากับ 26 ชั่วโมง โดยจะมีอุณหภูมิประมาณ 25°C และความชื้นสัมพัทธ์ 76.2% ที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย ตามที่แสดงในภาพที่ 39



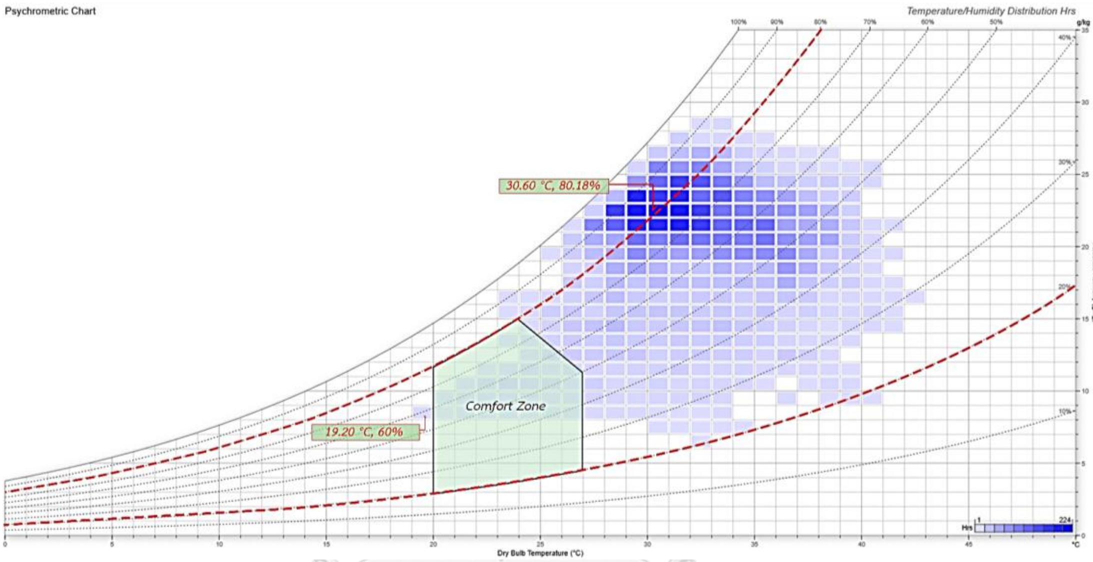
ภาพที่ 39 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020

ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050 มีข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 17.0 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 72.13% ส่วนข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 29.40 °C และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 78.92 % และเมื่อพิจารณาสภาวะน่าสบาย จะมีจำนวนชั่วโมงเท่ากับ 17 ชั่วโมง โดยจะมีอุณหภูมิประมาณ 24.80°C และความชื้นสัมพัทธ์ 77.66% ที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย ตามที่แสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050

ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 มีข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 19.20 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 60.0 % ส่วนข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 30.60 °C และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 80.18 % และเมื่อพิจารณาสภาวะน่าสบาย จะมีจำนวนชั่วโมงเท่ากับ 14 ชั่วโมง โดยจะมีอุณหภูมิประมาณ 26.20°C และความชื้นสัมพัทธ์ 59.71% ที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย ตามที่แสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงสภาพภูมิอากาศเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง ในทุก ๆ ปี และจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบายใน 1 ปี จะลดต่ำลง จากภาพที่ 38-41 แสดงให้เห็นว่าไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) จะขยับไปในทิศทางขวาและสูงขึ้นมากกว่าไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ซึ่งขยับไปในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) ที่สูงขึ้น และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความชื้นสมบูรณ์ (Absolute Humidity) สูงขึ้นตามไปด้วย

4.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา 1 ปี

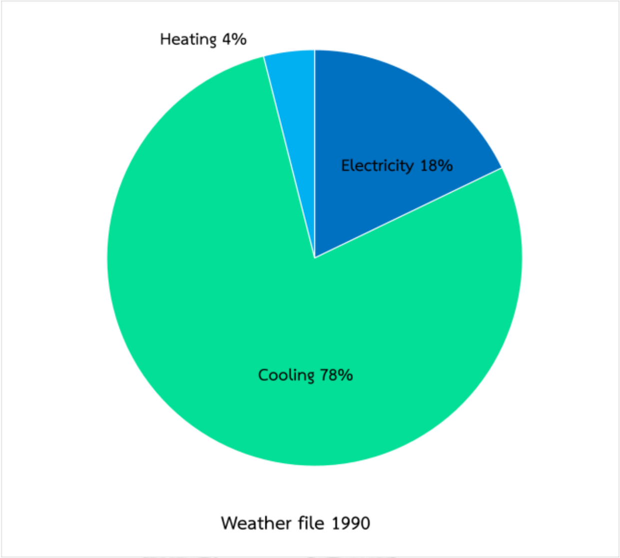
เมื่อทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารใน 1 ปี ด้วยไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ คือ ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) และไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศแต่ละปีในการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา

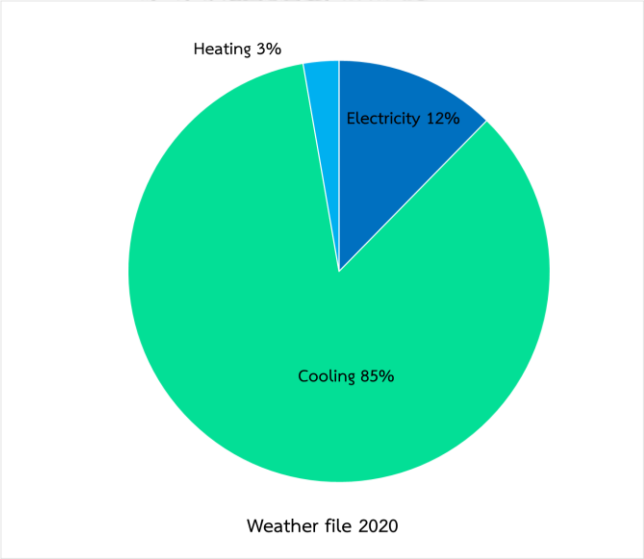
Weather file	Electricity (kWh/Yr)	Cooling (kWh/Yr)	Heating (kWh/Yr)	Total Net site energy (kWh/Yr)	Energy per building Area (kWh/m2/Yr)
1990	155,618.47	680,719.52	34,473.38	870,811.37	117.54
2020	155,618.47	1,071,085.11	34,473.38	1,261,176.96	170.24
2050	155,618.47	1,293,150.79	34,473.38	1,483,242.64	200.21
2080	155,618.47	1,606,867.00	34,473.38	1,796,959.05	242.56

เมื่อนำมาคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานในด้านต่าง ๆ ในแต่ละปี พบว่าอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยมีสัดส่วนการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน โดยพลังงานทั้งหมด (Net Site Energy) จะถูกแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ พลังงานไฟฟ้า พลังงานการทำความเย็น และพลังงานการทำความร้อนของน้ำร้อน โดยการใช้พลังงานจากการทำความเย็น เป็นสัดส่วนที่มากที่สุดกว่าการใช้พลังงานในด้านอื่น ๆ คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 78% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080) ในการจำลองการใช้พลังงาน พบว่ามีค่าการใช้พลังงานการทำความเย็นเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปีของการใช้ไฟล์อากาศ โดยไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 85% ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050 และ 2080 มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 87% และ 89% ตามลำดับ ตามที่แสดงในภาพที่ 42-45

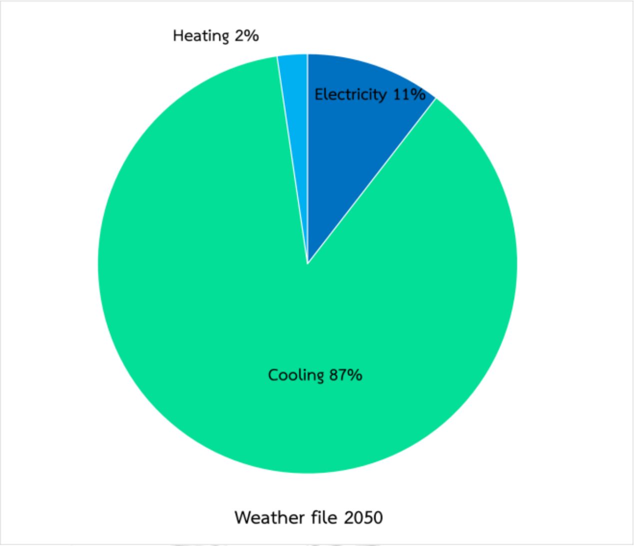
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



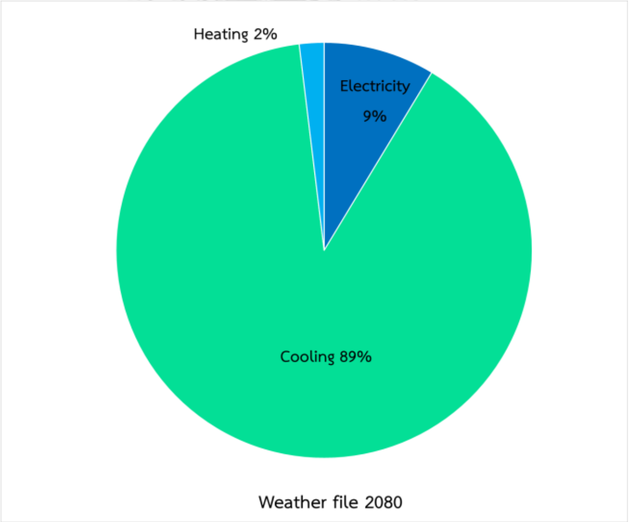
ภาพที่ 42 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง



ภาพที่ 43 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 ในการจำลอง



ภาพที่ 44 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050 ในการจำลอง



ภาพที่ 45 สัดส่วนการใช้พลังงานใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 ในการจำลอง

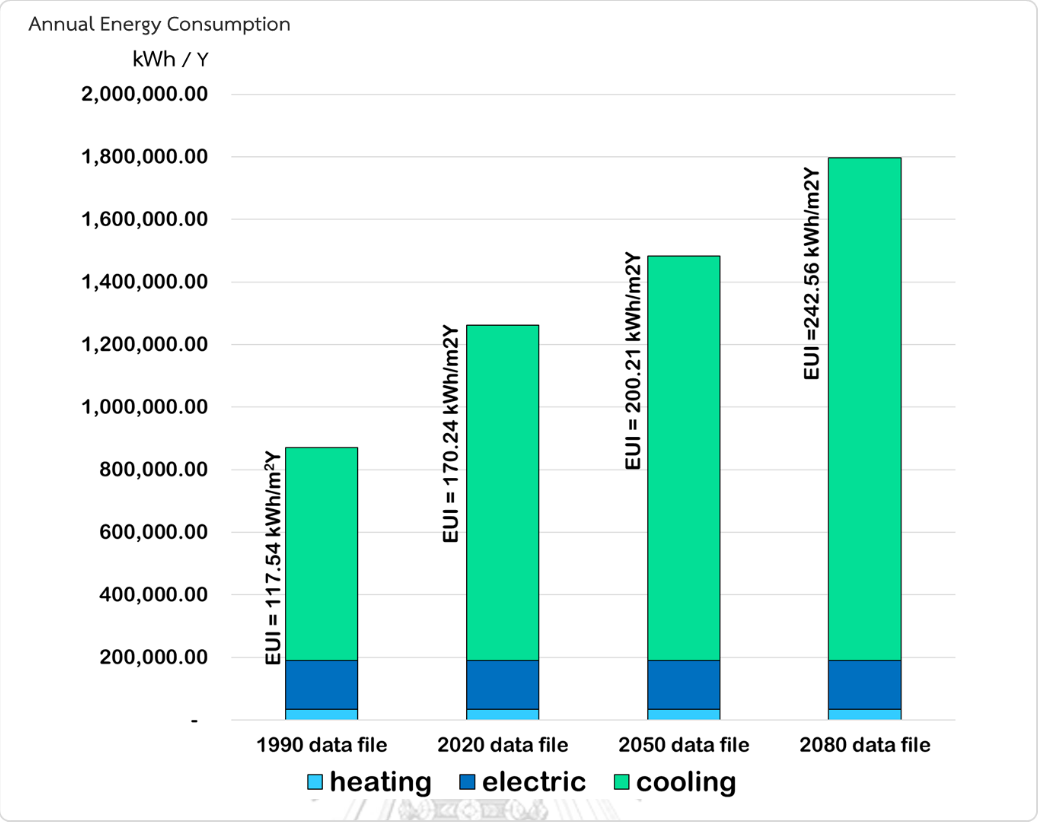
เมื่อนำทุกสัดส่วนของพลังงานรวมกันทั้งหมด ของการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ในการจำลองนั้นทำให้ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมดเท่ากับ 870 MWh/Yr และมีค่าดัชนีการใช้พลังงาน Operation Energy Use Index หรือ ค่า EUI เท่ากับ 117 kWh/m^{2}Yr เมื่อใช้ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020 ในการจำลองทำให้มีค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมดเท่ากับ 1,261 MWh และค่า EUI เท่ากับ 170.24 kWh/m^{2}Yr ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานรวมเพิ่มขึ้นคิดเป็น 30% ของการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ในการจำลอง

เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050 ในการจำลอง ทำให้มีค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมดเท่ากับ 1,483 MWh และค่า EUI เท่ากับ 200.21 kWh/m^{2}Yr ซึ่งมีการใช้พลังงานรวมเพิ่มขึ้นคิดเป็น 14% ของการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 ในการจำลอง

เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 ในการจำลอง ทำให้มีค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมดเท่ากับ 1,796 MWh และค่า EUI เท่ากับ 242.56 kWh/m^{2}Yr ซึ่งมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นคิดเป็น 17% ของการใช้ไฟล์ข้อมูลปี ค.ศ. 2050 ในการจำลอง

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมจากการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ไปจนถึงปี ค.ศ. 2080 มีค่าพลังงานรวมที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น 51 % โดยค่าที่ส่งผลกระทบต่อค่าพลังงานรวมมากที่สุด คือ ค่าพลังงานการทำความเย็น (cooling) แสดงในภาพที่ 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 46 การใช้พลังงานรวมและการใช้พลังงานแยกตามประเภทใน 1 ปี ของอาคารกรณีศึกษา เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศแต่ละปีในการจำลอง

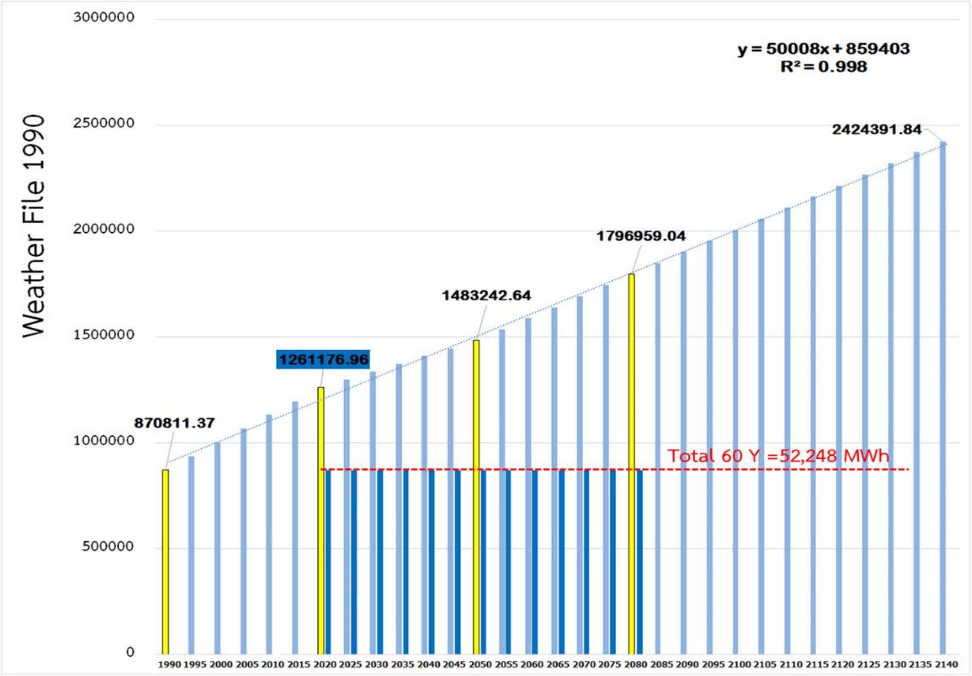
4.3 ผลการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร 60 ปี

ผลจากการจำลองการใช้พลังงานรวม 1 ปี ในอาคารกรณีศึกษา ของแต่ละไฟล์อากาศนั้น ทำให้ทราบถึง การเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดของการใช้พลังงานรวมในอาคาร โดยเมื่อพิจารณาในปี ค.ศ. 2080 มีค่าพลังงานรวมเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 926 MWh หรือคิดเป็น 51% ของการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 เนื่องจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ดังนั้นหากพิจารณาการคำนวณการใช้พลังงานตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยที่ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคตนั้น อาจส่งผลให้การจำลองการใช้พลังงานอาคารในอนาคตอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารตลอด 60 ปี ด้วยกัน 2 วิธี (ตามหัวข้อที่ 3.7.1-3.7.2) เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันเมื่อใช้วิธีการคำนวณโดยที่คำนึงถึงสถานกาณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และโดยที่ไม่ได้คำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ คือ

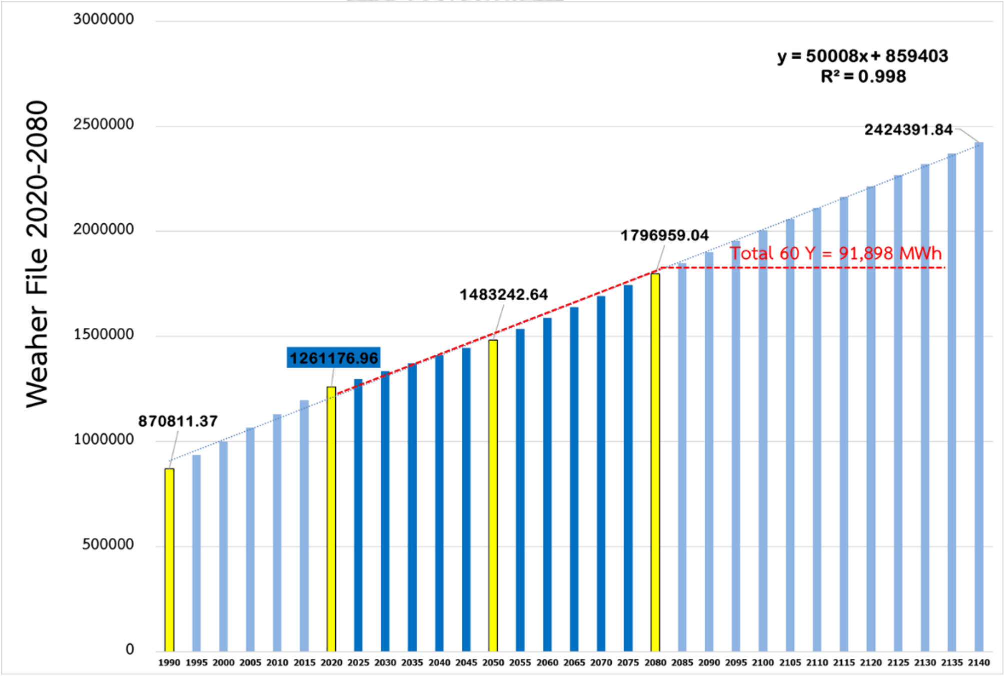
1) คำนวณโดยใช้ผลการจำลองของการใช้พลังงาน (Net Site Energy) เป็นค่าคงที่ตลอด 60 ปี ตัวอย่างเช่น ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร 1 ปี เท่ากับ 10 kWh/Yr หากคำนวณการใช้พลังงาน 60 ปี ผลรวมจะเท่ากับ 600 kWh/Yr ซึ่งการคำนวณนี้จะใช้ผลการจำลองการใช้พลังงานเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) หรือ Typical Weather Data File:1990 ในการจำลอง โดยผลรวมการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารตลอด 1 ปี เท่ากับ 870,811kWh/Yr หากคำนวณไปตลอด 60 ปี ด้วยค่าคงที่นั้นจะเท่ากับ 52,248 MWh/60Yr โดยกราฟสีเหลืองแสดงถึงแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศที่ใช้ในการจำลอง กราฟสีฟ้าอ่อนแสดงถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี ของการใช้พลังงานเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในปีต่าง ๆ ทั้ง 4 ปี ในการจำลอง และเส้นสีน้ำเงินเข้มแสดงถึงผลการคำนวณการใช้พลังงานเมื่อเป็นค่าคงที่ไปตลอด 60 ปี เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง ตามภาพที่ 47

2) คำนวณโดยใช้ผลการจำลองของการใช้พลังงาน (Net Site Energy) ที่เป็นค่าตามการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น โดยอ้างอิงค่าการใช้พลังงานจากการจำลองเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศทั้ง 4 ไฟล์ เพื่อหาค่าการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในทุก ๆ ปี ตลอด 60 ปี เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต เพื่อให้ได้ข้อมูลของการคำนวณเป็นข้อมูลปัจจุบันมากที่สุด เมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น จึงสามารถแสดงเป็นสมการ Y=50,008(x) + 859,403 โดยค่าความผันแปรทั้งหมด R^2 เท่ากับ 0.998 ซึ่งสมการนี้จะเป็นตัวช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าการใช้พลังงานรวม 1 ปี ในทุก ๆ ปี ที่อยู่ตรงกลางระหว่างปี ค.ศ. 1990 ไปจนถึงปี ค.ศ. 2080 และยังคำนวณต่อไปอีก 60 ปี เพื่อให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น และนำผลรวมค่าการใช้พลังงานจากปีแรกไปจนถึงปีที่ 60 มาเป็นผลรวมสุดท้ายของค่าพลังงานในอาคารตลอดช่วงชีวิตอาคารที่สอดคล้องไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในอนาคต โดยจะเริ่มปีแรกของการคำนวณอยู่ที่ปี ค.ศ. 2020 เพื่อให้ผลการคำนวณเป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด ซึ่งทำให้ได้ผลรวมของการจำลองการใช้พลังงานตลอด 60 ปี ของอาคารกรณีศึกษาในปีค.ศ. 2020-2080 เพิ่มมากขึ้น เป็น 90,637 MWh ตามที่แสดงในภาพที่ 48 โดยกราฟสีเหลืองแสดงถึงแต่ละไฟล์ข้อมูลอากาศที่ใช้ในการจำลอง กราฟสีฟ้าอ่อนแสดงถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี ของการใช้พลังงานเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศในปีต่าง ๆ ทั้ง 4 ปี ในการจำลอง และเส้นสีน้ำเงินเข้มแสดงถึงผลการคำนวณการใช้พลังงานเมื่อเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ ปีไปตลอด 60 ปี เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 ในการจำลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 47 ผลการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา ด้วยค่าคงที่ตลอด 60 ปี

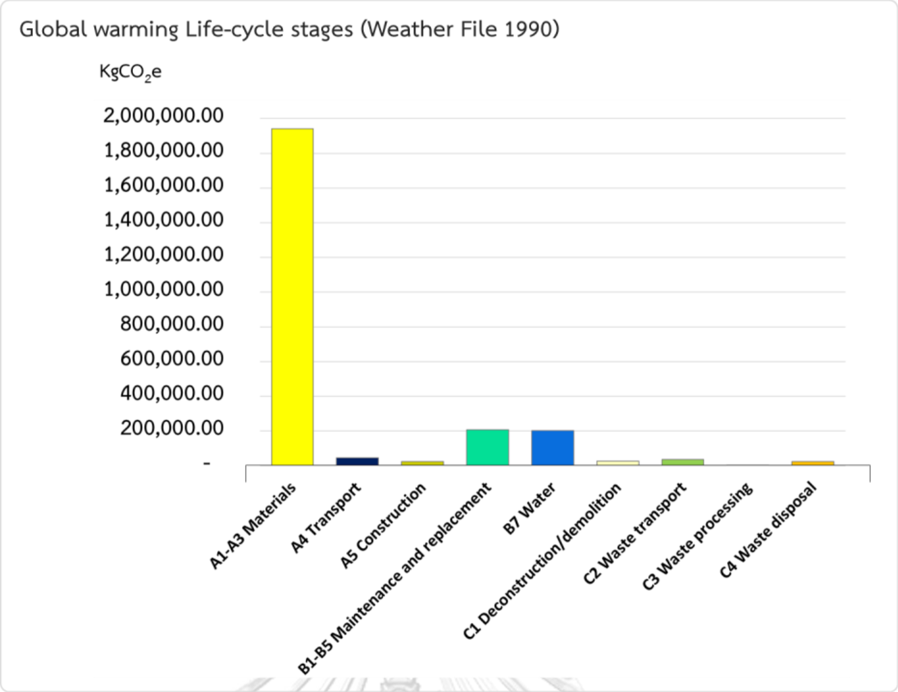


ภาพที่ 48 ผลการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา ด้วยค่าแบบที่เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

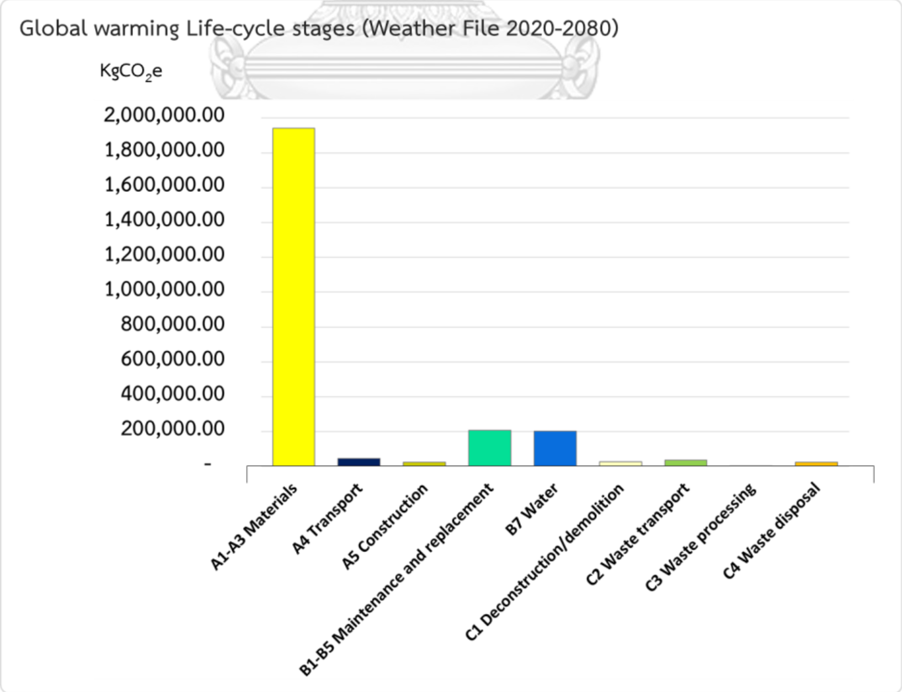
4.4 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร

เมื่อนำผลรวมการคำนวณของการใช้พลังงานแบบการใช้ค่าคงที่ และแบบที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศตลอด 60 ปี มาแปลงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (Emission Factor = 0.407 $kgCO_2/kWh$) (CEIC, 2022) แล้วนำไปรวมกับข้อมูลส่วนอื่น ๆ ตามหัวข้อที่ 3.8.1-3.8.5 (A1-C4) เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร พบว่ามีค่าการปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมด เท่ากับ 34 x 10^6 $kgCO_2e$ โดยจะแยกการแสดงข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ส่งผลกระทบในระยะสั้นของอาคาร และส่วนที่ส่งผลกระทบในระยะยาวตลอดการดำรงอยู่ของอาคารมากที่สุด ดังนี้

4.4.1 ข้อมูล A1-A5, B1-B5, B7, C1-C4 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร พบว่าเมื่อใช้วิธีการคำนวณค่าการใช้พลังงานแบบค่าคงที่ โดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.1990 ในการจำลอง และใช้วิธีคำนวณพลังงานแบบที่เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ โดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.2020-2080 พบว่ามีค่าการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิต (Global Warming-Life Cycle Stage) ที่เท่ากัน ซึ่งคิดเป็น 2.5 x 10^6 $kgCO_2e$ โดยส่วนที่มากที่สุดคือ ส่วน A1-A3 หรือส่วนของวัสดุ (Material) มีค่าการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตเท่ากับ 1.9 x 10^6 $kgCO_2e$ รองลงมาคือส่วน B1-B5,B7 หรือส่วนของการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนวัสดุเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน (Maintenance and Replacement) และส่วนการใช้น้ำ โดยมีค่าการปล่อยคาร์บอนใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.20 x 10^6 $kgCO_2e$ สุดท้ายคือส่วนของการรื้อถอน การขนส่งขยะหรือเศษวัสดุ การแปรรูปขยะหรือเศษวัสดุ และการฝังกลบขยะ โดยมีค่าการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.005-0.037 x 10^6 $kgCO_2e$ ตามที่แสดงในภาพที่ 49-50

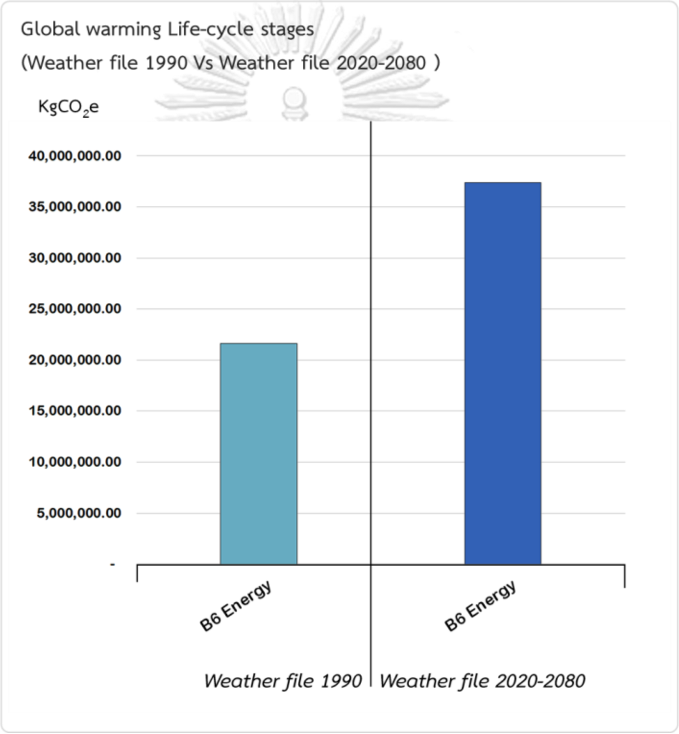


ภาพที่ 49 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน A1-C4 เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990



ภาพที่ 50 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน A1-C4 เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080

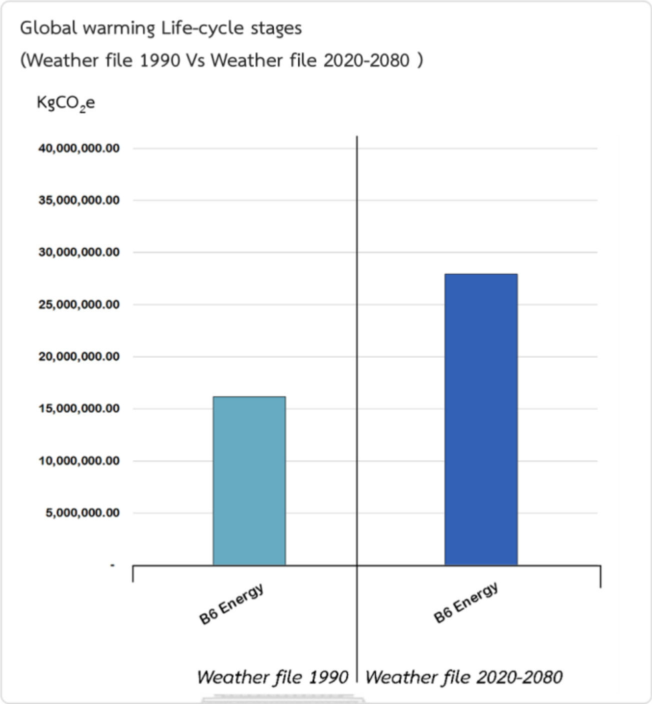
4.4.2 ข้อมูล B6 ซึ่งจะเป็นเฉพาะข้อมูลในส่วนของ Operation Energy และส่งผลกระทบในระยะยาวตลอดการดำรงอยู่ของอาคาร โดยผลการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.1990 ในการจำลอง พบว่ามีค่าการปล่อยคาร์บอน (Global Warming-Life Cycle Stage) เท่ากับ 21 x 10^6 $kgCO_2e$ และเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.2020-2080 พบว่ามีค่าการปล่อยคาร์บอน (Global Warming-Life Cycle Stage) เพิ่มมากขึ้นเป็น 37 x 10^6 $kgCO_2e$ ตามที่แสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน B6 เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 กับการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080

4.4.3 คำนึงถึงกรณีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลงตามแนวโน้มทั่วโลก ตามหัวข้อที่ 2.7 ของข้อมูล B6 ซึ่งเป็นข้อมลูเฉพาะในส่วนของ Operation Energy โดยผลการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.1990 ในการจำลอง พบว่ามีค่าการปล่อยคาร์บอน (Global Warming-Life Cycle Stage) เท่ากับ 16 x 10^6 $kgCO_2e/60Yr$ และเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูล

อากาศปี ค.ศ.2020-2080 พบว่ามีค่าการปล่อยคาร์บอน (Global Warming-Life Cycle Stage) เพิ่มมากขึ้นเป็น 27 x 10^6 kgCO_2e/60Yr ตามที่แสดงในภาพที่ 52



ภาพที่ 52 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารกรณีศึกษาตลอด 60 ปี ส่วน B6 เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 กับการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 (กรณีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาผลการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร ทั้ง 2 ส่วน ตามหัวข้อ 3.4.1-3.4.2 รวมกัน พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง จะมีค่าการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคารรวม (Global Warming-Life Cycle Stage) เท่ากับ 24 x 10^6 kgCO_2e โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงาน (B6 : Energy) มากที่สุดเท่ากับ 21 x 10^6 kgCO_2e หรือคิดเป็น 90 % ของการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตรวมทั้งหมด และรองลงมาเป็นส่วนของวัสดุ (A1-A3 : Material) จะมีค่าการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคารรวม (Global Warming-Life Cycle Stage) เท่ากับ 1.9 x 10^6 kgCO_2e หรือคิดเป็น 8% ของการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตรวมทั้งหมด

เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.2020-2080 ในการจำลอง จะมีค่าการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคารรวม (Global Warming-Life Cycle Stage) เท่ากับ 39 x 10^6 kgCO_2e ของการปล่อย

คาร์บอนตลอดชีวิตรวมทั้งหมด โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงาน (B6 : Energy) มากที่สุดเท่ากับ 37 x 10^6 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็น 93% และรองลงมาเป็นส่วนของวัสดุ (A1-A3 : Material) จะมีค่าการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคารรวม (Global Warming-Life Cycle Stage) เท่ากับ 1.9 x 10^6 $kgCO_2e$ เช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากสัดส่วนของการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้สัดส่วนร้อยละของวัสดุน้อยลง เท่ากับ 5% ของการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตรวมทั้งหมด ตามที่แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลรวมการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร ตลอด 60 ปี

Life cycle assessment					
	Category	Global Warming - Life-cycle stages (kg CO2e)	Percentage of overall Global Warming	Total net site energy 60 yr.	Emission factor calculation (0.69)
Weather file 1990	A1-A3 Materials	1,941,549.88	4.96		
	A4 Transport	46,882.80	0.12		
	A5 Construction	23,707.52	0.06		
	B1-B5 Maintenance and replacement	208,151.58	0.53		
	B6 Energy	36,652,450.56	93.58	53,119,493.57	36,652,450.56
	B7 Water	203,357.78	0.52		
	C1 Deconstruction/demolition	27,608.00	0.07		
	C2 Waste transport	37,576.02	0.10		
	C3 Waste processing	577.23	0.00		
	C4 Waste disposal	24,440.56	0.06		
	Total	39,166,301.95			
Weather file 2020-2080	A1-A3 Materials	1,941,549.88	2.95		
	A4 Transport	46,882.80	0.07		
	A5 Construction	23,707.52	0.04		
	B1-B5 Maintenance and replacement	208,151.58	0.32		
	B6 Energy	63,409,887.17	96.19	91,898,387.20	63,409,887.17
	B7 Water	203,357.78	0.31		
	C1 Deconstruction/demolition	27,608.00	0.04		
	C2 Waste transport	37,576.02	0.06		
	C3 Waste processing	577.23	0.00		
	C4 Waste disposal	24,440.56	0.04		
	Total	65,923,738.55			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.5 การชดเชยการปล่อยคาร์บอน (ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกรณีศึกษา)

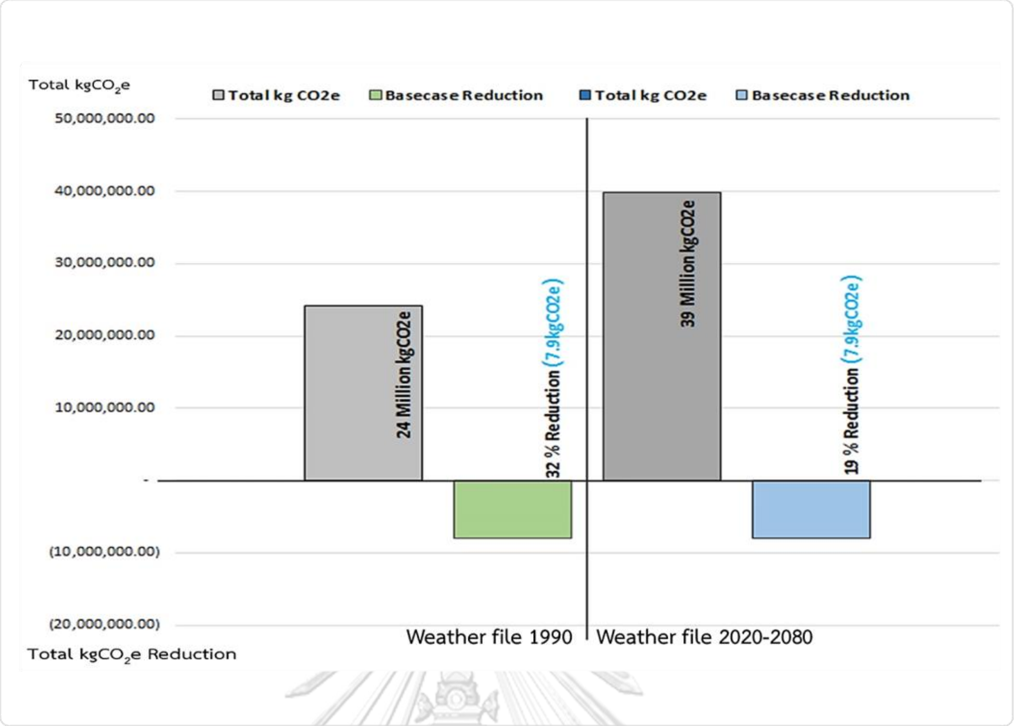
การชดเชยการปล่อยคาร์บอนด้วยวิธีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จำเป็นจะต้องมีการคำนวณค่าเสื่อมสภาพของแผงโซล่าเซลล์ โดยอ้างอิงข้อมูลจาก ศูนย์เทคโนโลยีทางเลือก (The Centre for Alternative Technology: CAT) CAT (2022) ได้ทำการทดสอบระบบแผงโซล่าเซลล์ พบว่าประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์จะลดลงเพียง 9% เมื่อใช้งานไป 13 ปี (ประมาณ 0.7% ต่อปี) และนอกจากนี้ ศูนย์ทดสอบ LEE-TISO ที่สวิตเซอร์แลนด์ ได้ทำการทดสอบระบบผลิตพลังงานของโซล่าเซลล์ที่เชื่อมต่อกับกริดแห่งแรกของโลก พบว่าผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์นั้นลดลงอย่างมาก ประมาณ 0.5% ต่อปี Greenmatch (2023) จากแหล่งข้อมูลนี้

และตามข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัทผลิตโซล่าเซลล์ที่ได้มาตรฐาน ISO 9001:2015 ของประเทศไทย คือบริษัท Solar PPM จึงได้เลือกใช้แผงโซล่าเซลล์รุ่น SPPM ที่มีค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ทุก ๆ ปี ตลอด 25 ปี (13.75% / 25 ปี) เนื่องจากพบว่าประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์จะสามารถทำงานได้แม้ว่าประสิทธิภาพจะลดลง งานวิจัยจึงได้กำหนดให้อายุการใช้งานอยู่ที่ 30 ปี ซึ่งหมายความว่าตลอด 60 ปี จะมีการเปลี่ยนแผงโซล่าเซลล์จำนวน 2 ครั้ง ซึ่งทุกครั้งที่ติดตั้งใหม่ ค่าเสื่อมสภาพก็จะถูกคำนวณใหม่คือเริ่มต้นที่ 0.55% ต่อปี และค่าการปล่อยคาร์บอนของวัสดุ (Embodies Carbon) นั้นต้องคำนวณเป็น 2 เท่าเช่นเดียวกัน จากข้อมูลข้างต้น จึงได้สร้างสมการเพื่อการคำนวณการชดเชยการปล่อยคาร์บอนจากการติดตั้งบนพื้นที่หลังคาจริงของอาคารกรณีศึกษา ดังภาพที่ 53

ภาพที่ 53 สมการการคำนวณการชดเชยการปล่อยคาร์บอน

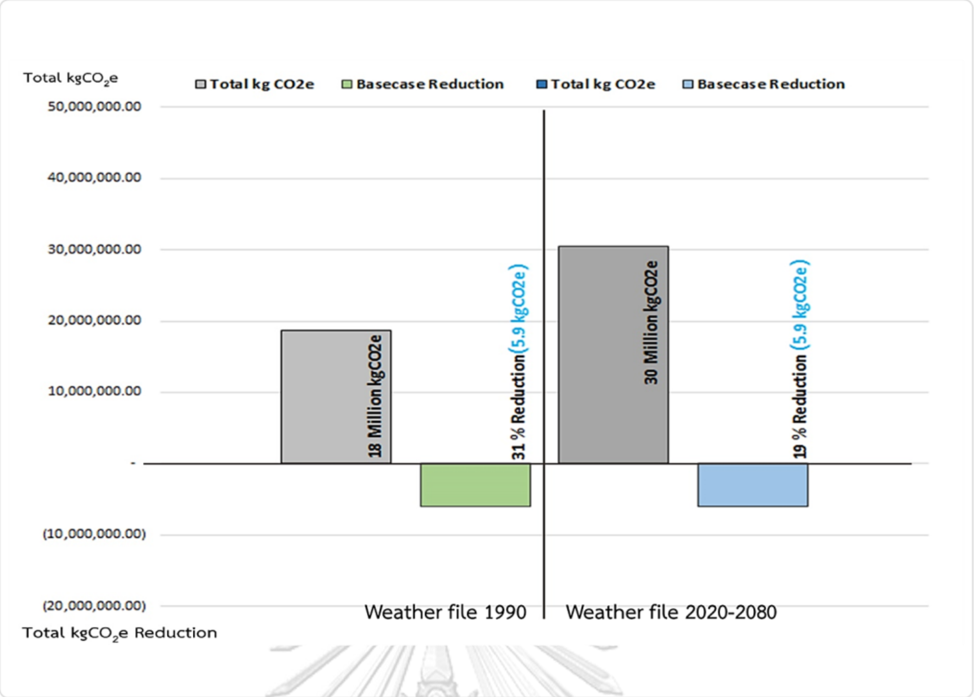
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การพิจารณาชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาอาคารกรณีศึกษา มีพื้นที่เท่ากับ 1,183 ตร.ม. ซึ่งสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ขนาด 600W พื้นที่แผงละ 2.2 ตร.ม. ได้ทั้งหมด 350 แผง และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้แผงละ 956 kWh/Yr หรือเท่ากับ 326,027 kWh/Yr ซึ่งเมื่อพิจารณาตลอด 60 ปี จะเท่ากับ 19,534,460 kWh/60Yr ซึ่งจะสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 7.9×10^6 $kgCO_2e$ หรือเท่ากับ 32% ของการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง และสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้เท่า 19% ของการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ในการจำลอง ตามภาพที่ 54



ภาพที่ 54 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (บนพื้นที่หลังคาของอาคารกรณีศึกษา) เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020-2080

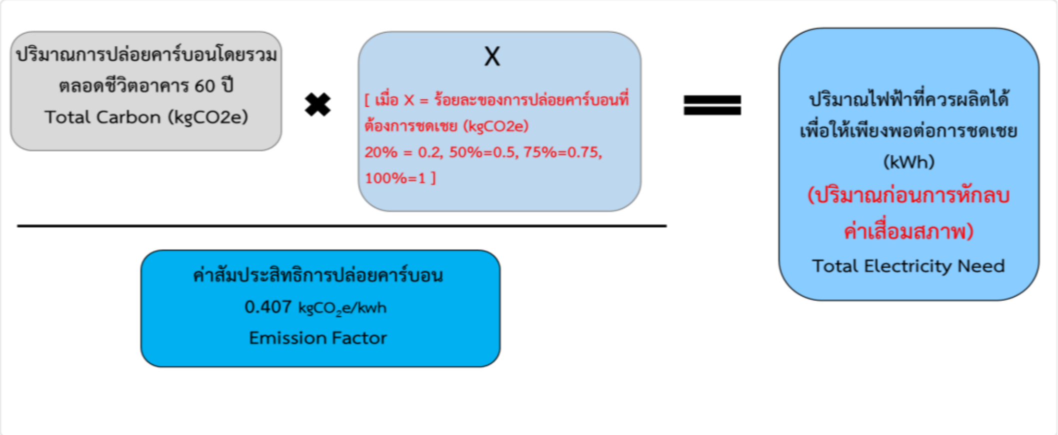
การคำนึงถึงกรณีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลงตามแนวโน้มทั่วโลก ตามหัวข้อที่ 2.7 ของการชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาอาคารกรณีศึกษา ซึ่งหลังคามีพื้นที่เท่ากับ 1,183 ตร.ม. ซึ่งสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ขนาด 600w พื้นที่แผงละ 2.2 ตร.ม. ได้ทั้งหมด 350 แผง และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้แผงละ 956 kWh/Yr หรือเท่ากับ 326,027 kWh/Yr ซึ่งเมื่อพิจารณาตลอด 60 ปี จะเท่ากับ 19,534,460 kWh/60Yr ซึ่งจะสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 5.9×10^6 kgCO_2e หรือเท่ากับ 31% ของการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง และสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้เท่า 19% ของการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ในการจำลอง ตามภาพที่ 55



ภาพที่ 55 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (บนพื้นที่หลังคาของอาคารกรณีศึกษา) เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 2020-2080 (กรณีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง)

4.6 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

การชดเชยการปล่อยคาร์บอนด้วยวิธีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จำเป็นจะต้องมีการคำนวณค่าเสื่อมสภาพของแผงโซล่าเซลล์ โดยอ้างอิงข้อมูลจากฐานข้อมูลต่างๆ ตามหัวข้อ 4.5 จึงได้สร้างสมการเพื่อการคำนวณเป็นดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 สมการการคำนวณการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

จากสมการข้างต้น จะทำให้ได้ข้อมูลดังประเด็นต่อไปนี้

4.6.1 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ในการจำลอง หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 11,919 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 22% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักค่าเสื่อมสภาพแล้วนั้น จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 4.8 x 10^6 kgCO_2e หรือสามาชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 20% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 29,798 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 56% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 12 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 50% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 44,698 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 84% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 18 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 75% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 59,597 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 112% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 24 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด ตามที่แสดงในภาพที่ 57 (กราฟด้านซ้าย)

4.6.2 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ในการจำลอง

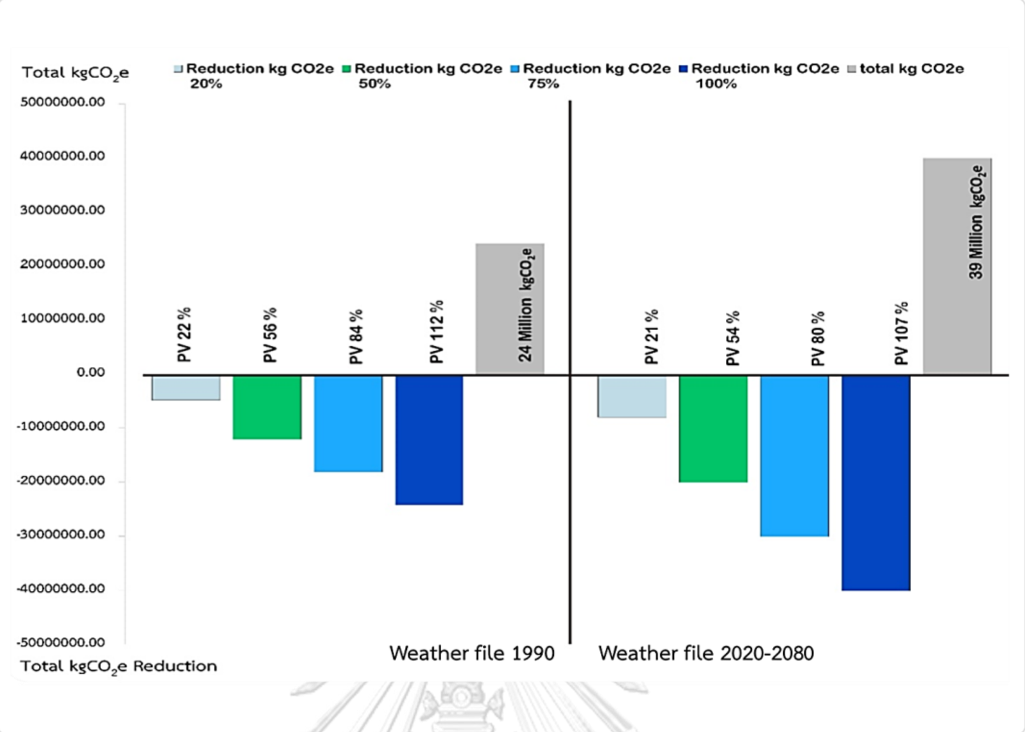
หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 19,714 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 21% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 7.9 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 20% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 49,286 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 54% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 19 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 50% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 73,930 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 80% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 29 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 75% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 98,573 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 107% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 39 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด ตามที่แสดงในภาพที่ 57 (กราฟด้านขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 57 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ปี ค.ศ. 2020-2080

4.6.3 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) กรณีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ในการจำลอง หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 13,940 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 26% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักค่าเสื่อมสภาพแล้วนั้น จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 3.7 x 10^6 kgCO_2e หรือสามาชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 20% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 34,851 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 66% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 9.3 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 50% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 52,276 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 98% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 13 x 10^6 $kgCO_2e$ หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 75% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 69,702 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 131% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 18 x 10^6 $kgCO_2e$ หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด ตามที่แสดงในภาพที่ 58 (กราฟด้านซ้าย)

4.6.4 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ในการจำลอง เมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 22,746 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 6.0 x 10^6 $kgCO_2e$ หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 20% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

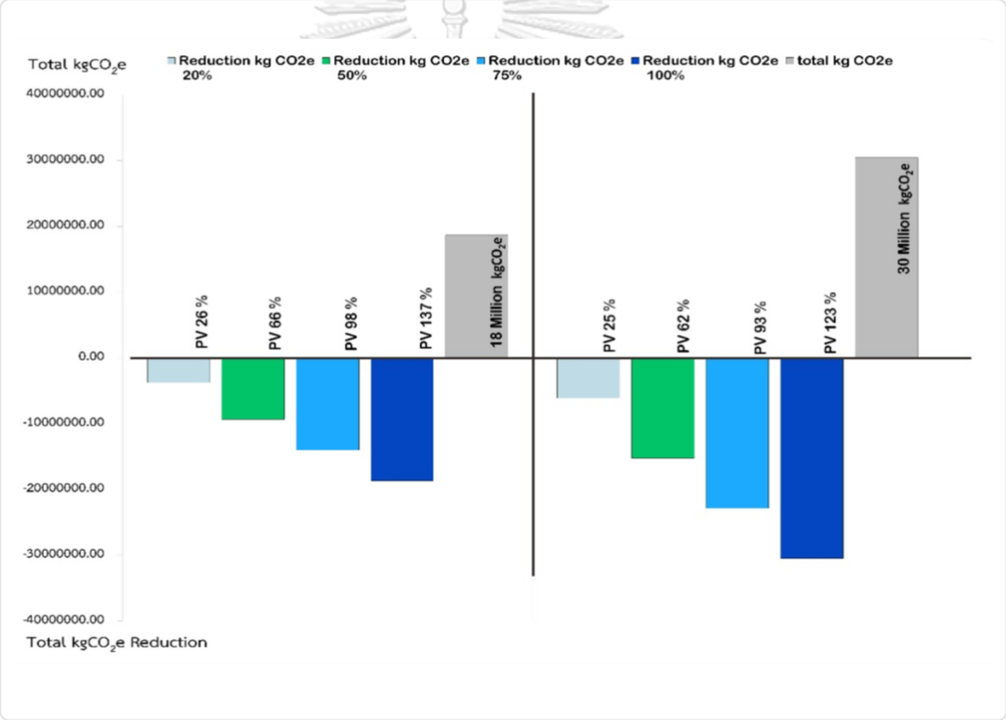
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 56,866 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 62% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 15 x 10^6 $kgCO_2e$ หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 50% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

เมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 85,395 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 93% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้

เท่ากับ 22 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 75% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

เมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 113,732 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 124% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 30 x 10^6 kgCO_2e หรือสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด ตามที่แสดงในภาพที่ 58 (กราฟด้านขวา)



ภาพที่ 58 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 และ ปี ค.ศ. 2020-2080 (กรณีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเปลี่ยนแปลงการดำเนินชีวิตและกิจกรรมของมนุษย์ไม่ว่าจะโดยตรงหรือโดยอ้อม ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลกมากขึ้น จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ภาวะอากาศเปลี่ยนแปลง หรือ Climate Change ขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิใกล้ผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น น้ำแข็งในโลกเกิดการละลายเร็วขึ้น และนอกจากนั้นการขยายตัวของเมืองหลวงต่าง ๆ ทั่วโลก หรือ Urban Heat Island ยังส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น และมีแนวโน้มว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคต ทำให้ทั่วโลกหันมาสนใจกับการรับมือกับปัญหาอากาศเปลี่ยนแปลงที่กำลังเกิดขึ้น และเริ่มจริงจังกับแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากยิ่งขึ้น เพื่อบรรลุเป้าหมายการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ. 2050 ทั่วโลก จึงทำให้เกิดคำถามงานวิจัยที่ว่า

"การดำรงอยู่ของอาคารหนึ่งหลัง ย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง แม้ในสถานการณ์ในอดีตที่ยังไม่ได้คำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในปัจจุบันและอนาคต แล้วหากต้องคำนึงถึงสถานการณ์ดังกล่าว อาคารจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ มากขึ้นเพียงใด และการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศของกรุงเทพฯ ในปัจจุบันนี้ ที่ยังไม่มีข้อมูลที่สอดคล้องไปตามสถานการณ์ของสภาพอากาศ จะส่งผลให้การคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต มีความคลาดเคลื่อนมากเพียงใด

นอกจากนี้การจะไปสู่อาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ และแนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร ด้วยการใช้พลังงานหมุนเวียน จะเป็นไปได้ยากมากขึ้นเพียงใด และต้องใช้ปริมาณมากเพียงใด ถึงจะเพียงพอต่อการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์"

จึงนำไปสู่วิจัยนี้ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศของกรุงเทพฯ ในอนาคต ที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในอนาคตขึ้น โดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศที่ทางสำนักงานเทคโนโลยีอาคารของกระทรวงพลังงานสหรัฐ (DOE BOT) หรือ EnergyPlus ได้พัฒนาขึ้น โดยเลือกใช้ตำแหน่งที่ตั้งเป็นกรุงเทพฯ เพื่อเป็นตัวแทนของไฟล์ข้อมูลอากาศของ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประเทศไทยในปัจจุบันและเป็นข้อมูลตั้งต้น ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลอากาศที่ได้เก็บข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1990 นำมารวมกับข้อมูลการคาดคะเนอากาศในอนาคตโดยใช้ไฟล์ UK Met Office Hadley Centre Coupled Model 3 (HadCM3) จัดทำขึ้นโดย IPCC ที่เป็นข้อมูลการคาดคะเนโดยใช้สถานการณ์ที่ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และยังไม่มีมีมาตรการการลดภาวะโลกร้อนที่จริงจัง (A2 Scenario) โดยใช้เครื่องมือที่ช่วยสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศของโลกที่เป็นไปตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศสำหรับสถานที่ต่าง ๆ ทั่วโลก (CCWorldWeatherGen) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทางมหาวิทยาลัย Southampton ได้พัฒนาขึ้น ทำให้ได้ไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคต คือ ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080

จากนั้นทำการวิเคราะห์ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ ภาวะน่าสบาย และเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงนี้กับไฟล์ข้อมูลอากาศในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่จะส่งผลต่อการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร

จากนั้นใช้ไฟล์อากาศทั้ง 4 ไฟล์นี้ในการจำลองการใช้พลังงานของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ระยะ 1 ปี และทำการวิเคราะห์ผลการจำลองการใช้พลังงาน ว่าในแต่ละปีของไฟล์ข้อมูลอากาศนั้น มีความแตกต่างกันอย่างไร

เพื่อศึกษาผลการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ จึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณการใช้พลังงานตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี ที่ไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และผลการคำนวณการใช้พลังงานตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี ที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ

เนื่องจากผลของการใช้พลังงานตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี ที่เป็นไปได้ว่าจะส่งผลกระทบในระยะยาวของการดำรงอยู่ของอาคาร จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคาร ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (Life Cycle Assessment) โดยใช้ซอฟต์แวร์การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารอัตโนมัติ ที่จะช่วยคำนวณและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคาร (OneClick LCA) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารเมื่อไม่ได้คำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และเมื่อคำนึงถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของอากาศ ว่ามีทิศทางการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากนั้นได้เสนอแนะแนวทางการชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร โดยใช้แนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนเป็นลำดับ จากน้อยจนไปสู่การปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ตามแนวทางของกระทรวงพลังงาน โดยมีผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ไฟล์ข้อมูลอากาศในปัจจุบันและไฟล์ที่สร้างขึ้นใหม่

ไฟล์ข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ ที่เป็นไปตามการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ นั้นมีความแตกต่างจากไฟล์ข้อมูลอากาศในปัจจุบันอย่างเห็นได้ชัด โดยสามารถสรุปแยกตามประเด็นการพิจารณาแต่ละข้อมูลดังนี้

ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายปี เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 1 ℃ ในทุก ๆ ไฟล์ข้อมูลอากาศ โดยจากเดิมไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 มีค่าเฉลี่ย 28.5 ℃ เพิ่มสูงขึ้นเป็น 32.4 ℃ ในไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 โดยเพิ่มขึ้นเป็น 4 ℃

ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี จะค่อย ๆ ลดลงประมาณ 1% ในทุก ๆ ไฟล์ข้อมูลอากาศ โดยจากเดิมไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 มีค่าเฉลี่ย 70% ลดลงเป็น 67% ในไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 โดยลดลงเป็น 4%

ผลลัพธ์การวิเคราะห์เรื่องอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของไฟล์ข้อมูลแต่ละไฟล์นั้น สอดคล้องไปกับการวิเคราะห์ไฟล์ข้อมูลอากาศในงานวิจัยของ ณัฏฐา ตระกูลไทย (2558) ซึ่งอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงขึ้นประมาณ 4 ℃ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงประมาณ 3%

ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยประมาณ 2 Wh/m^2 โดยจากเดิมไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 มีค่าเฉลี่ย 204 Wh/m^2 เพิ่มสูงขึ้นเป็น 206 Wh/m^2 ในไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080

ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปี เพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 1 m/S โดยจากเดิมไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 มีค่าเฉลี่ย 2 m/S เพิ่มสูงขึ้นเป็น 3 m/S ในไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาสภาวะน่าสบายตามทฤษฎีของ Milne Giove แล้วพบว่า สภาวะน่าสบาย ในไฟล์ข้อมูลอากาศ ปี ค.ศ. 1990 มีอุณหภูมิประมาณ 25°C และความชื้นสัมพัทธ์ 76.77% ซึ่งจำนวนชั่วโมงที่จะมีสภาพอากาศแบบนี้ใน 1 ปีนั้นเท่ากับ 56 ชั่วโมง

ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020 มีอุณหภูมิประมาณ 25°C และความชื้นสัมพัทธ์ 76.2% ซึ่งจำนวนชั่วโมงที่จะมีสภาพอากาศแบบนี้ใน 1 ปี นั้นเท่ากับ 26 ชั่วโมง

ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2050 มีอุณหภูมิประมาณ 24.80°C และความชื้นสัมพัทธ์ 77.66% ซึ่งจำนวนชั่วโมงที่จะมีสภาพอากาศแบบนี้ใน 1 ปี นั้นเท่ากับ 17 ชั่วโมง

ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 มีอุณหภูมิประมาณ 26.20°C และความชื้นสัมพัทธ์ 59.71% ซึ่งจำนวนชั่วโมงที่จะมีสภาพอากาศแบบนี้ใน 1 ปี นั้นเท่ากับ 14 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาสภาวะน่าสบายของไฟล์อากาศแต่ละไฟล์เปรียบเทียบกันแล้ว พบว่า จำนวนชั่วโมงที่จะมีสภาพอากาศที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายของไฟล์อากาศนั้น มีจำนวนลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกๆไฟล์ข้อมูลออากาศ จากปี ค.ศ 1990 จำนวนชั่วโมงเท่ากับ 59 ชั่วโมงใน 1 ปี และลดลงเป็น 14 ชั่วโมงใน 1 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.2 การใช้พลังงานในอาคารใน 1 ปี

เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงทำให้อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยมีการใช้พลังงานรวมสูงขึ้น โดยผลการจำลองการใช้พลังงานรวม เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง ทำให้มีผลการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 117 kWh/m^{2}Yr หรือ เท่ากับ 870,811.37 kWh/Yr และเพิ่มขึ้นเป็น 242 kWh/m^{2}Yr เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็น 51% ของการใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานรวมโดยใช้ไฟล์อากาศในปัจจุบัน เปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งสอดคลองกับผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยของงานวิจัยของกันตพงศ์ ศรีเมือง (2564) ที่พบว่ามีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 849,983 kWh/Yr แต่จะมีปริมาณการ

ปล่อยคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 345,943.081 kgCO2e/Yr ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยของ กันตพงศ์ ที่มีปริมาณเท่ากับ 508,00.35 kgCO2e/Yr เนื่องจากใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าที่ต่างกัน

พลังงานที่ส่งผลกระทบต่อพลังงานรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานด้านอื่นๆ คือ พลังงานการทำความเย็น โดยผลการจำลองการใช้พลังงานการทำความเย็นเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2080 ในการจำลอง มีผลเพิ่มขึ้นเป็น 57% ของผลการจำลองการใช้พลังงานการทำความเย็นเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลกาศปี ค.ศ. 1990

5.1.3 การใช้พลังงานในอาคารตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี

การใช้พลังงานตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี พิจารณาเป็น 2 กรณี ดังนี้

1) กรณีที่ไม่ได้คำนึงถึงการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปีปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) ทำให้ผลการคำนวณการจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มีพลังงานรวมเท่ากับ 52,248 MWh/60Yr
2) กรณีที่คำนึงถึงการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ (ใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080) ทำให้ผลการคำนวณการจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มีพลังงานรวมเพิ่มขึ้นเป็น 91,898 MWh/60Yr โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็น 43 % เมื่อเทียบกับการคำนวณผลการจำลองการใช้พลังงานตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี ตามกรณีที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี แบ่งเป็นตาม 2 กรณีข้างต้น

1) ตามกรณีที่ 1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยตลอดชีวิต ทำให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนโดยรวม (A1-C4) เท่ากับ 24 x 10^6 kgCO_2e/60Yr เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ กันตพงศ์ ศรีเมือง (2564) ที่มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมตลอด 60 ปี เท่ากับ 24.08 x 10 kgCO_2e/60Yr

โดยสัดส่วนที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยคาร์บอนโดยรวมมากที่สุดคือ คือ การใช้พลังงาน (B6) ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 21 x 10^6 kgCO_2e/60Yr หรือคิดเป็น 90 % ของปริมาณการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร โดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990

และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงาน (B6) ในกรณีที่คำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลงตามแนวโน้มทั่วโลก พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ 1990 ในการจำลอง มีค่าการปล่อยคาร์บอนลดลง เท่ากับ 16 x 10^6 kgCO_2e/60Yr หรือลดลงคิดเป็น 23% ของปริมาณการปล่อยคาร์บอนในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนไม่ได้ลดลง

2) ตามกรณีที่ 2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ทำให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนโดยรวม (A1-C4) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีปริมาณเท่ากับ 39 x 10^6 kgCO_2e/60Yr ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็น 40% เมื่อเทียบกับผลการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยสัดส่วนที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยคาร์บอนโดยรวมมากที่สุดคือ คือ การใช้พลังงาน (B6) ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 37 x 10^6 kgCO_2e/60Yr หรือคิดเป็น 93% ของปริมาณการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็น 42 % เมื่อเทียบกับผลการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990

และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงาน (B6) ในกรณีที่คำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลงตามแนวโน้มทั่วโลก พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ 2020-2080 ในการจำลอง มีค่าการปล่อยคาร์บอนลดลง เท่ากับ 27 x 10^6 kgCO_2e/60Yr หรือลดลงคิด

เป็น 27% ของปริมาณการปล่อยคาร์บอนในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนไม่ได้ลดลง

ผลการใช้พลังงานโดยรวมตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง การไม่ได้คำนึงถึงการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และการคำนึงถึงการคาดคะเนสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (2 กรณีข้างต้น) จึงส่งผลให้การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนโดยรวมเพิ่มสูงขึ้นในปริมาณที่สอดคล้องกัน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาผลกระทบในระยะยาวตลอดชีวิตอาคารนั้น การใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัยจึงส่งผลกระทบมากที่สุดต่อการปล่อยคาร์บอนโดยรวม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร (2022) เรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารพักอาศัย พบว่า ในตลอดชีวิตของอาคารพักอาศัยนั้น มีสัดส่วนของปริมาณการปล่อยคาร์บอนมากที่สุด คือ สัดส่วนการใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคาร

5.1.5 การชดเชยการปล่อยคาร์บอน (ติดตั้งบนพื้นที่หลังคาอาคารกรณีศึกษา)

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาอาคารกรณีศึกษา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอด 60 ปี ได้ในปริมาณ 19,534MWh/60Yr ซึ่งจะสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 7.9 x 10^6 kgCO_2e/60Yr หรือเท่ากับ 32% ของการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 19990 ในการจำลอง และสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ลดลงเท่ากับ 19% เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ในการจำลอง

เมื่อพิจารณาการชดเชยการปล่อยคาร์บอน ของพื้นที่หลังคาอาคารกรณีศึกษา และคำนึงถึงกรณีค่าการสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลงตามแนวโน้มทั่วโลก พบว่า สามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ลดลง เท่ากับ 5.9 x 10^6 kgCO_2e/60Yr หรือคิดเป็น 31% ของการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง และสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้เป็นลัดส่วนเท่าเดิมเมื่อไม่ได้พิจารณาการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน ซึ่งเท่ากับ 19% ของการปล่อยคาร์บอนโดยรวมทั้งหมด เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ในการจำลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.6 การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

การชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell) ตามกรณีที่ 1 (ใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990) พบว่าหากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 61,440 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 117% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปีแล้ว จะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 39 x 10^6 kgCO_2e จึงจะสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด หรือสามารถไปสู่การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ได้

การชดเชยการปล่อยคาร์บอนตลอดชีวิตอาคาร 60 ปี โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) ตามกรณีที่ 2 (ใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080) พบว่าหากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณ 103,392 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 136% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้วจะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 65 x 10^6 kgCO_2e จึงจะสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด หรือสามารถไปสู่การชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาการชดเชยการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ กรณีแนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนลดลง พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990 ในการจำลอง หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณ 69,702 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 131% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้วจะสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 18x10^6 kgCO_2e หรือคิดเป็น 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 2020-2080 ในการจำลอง พบว่าหากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณ 113,732 MWh/60Yr หรือคิดเป็น 124% ของการใช้พลังงานรวมตลอด 60 ปี หลังจากหักลบค่าเสื่อมสภาพ 0.55% ตลอด 60 ปี แล้วจะสามารถ

แปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้เท่ากับ 30×10^6 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็น 100% ของการปล่อยคาร์บอนทั้งหมด

5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยชดเชยการปล่อยคาร์บอนลงได้ แต่ต้องคำนึงถึงการออกแบบอาคารที่จะสามารถติดตั้งได้เพียงพอ และนอกจากนั้นต้องคำนึงถึงการออกแบบให้อาคารประหยัดพลังงานมากขึ้นด้วย

ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร โดยในข้อมูลในส่วน A5 ที่เป็นข้อมูลของการใช้พลังงานรวมของโครงการในช่วงการก่อสร้าง อาจจะทำให้ข้อมูลผลรวมมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น หากสามารถทราบถึงหรือเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรคำนวณการใช้พลังงานในส่วนการสร้างอย่างจริงจังมากยิ่งขึ้น

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนให้สุทธิเป็นศูนย์ได้นั้น จำเป็นต้องผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก แต่การติดตั้งบนพื้นที่หลังคาอาคารกรณีศึกษานั้น ยังไม่เพียงพอต่อการชดเชยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในอนาคตได้ จึงจำเป็นต้องหาพื้นที่ในส่วนอื่นของอาคาร เช่น การใช้ระบบเปลือกอาคารผสานเซลล์แสงอาทิตย์ (Building-Integrated Photovoltaics: BIPV) การติดตั้งบนพื้นที่โครงการ เช่น บนหลังคาที่จอดรถ เป็นต้น หรือ การติดตั้งนอกพื้นที่โครงการ และต้องคำนึงถึงมาตรการประหยัดพลังงานในอาคารร่วมด้วย และนอกจากนั้นควรศึกษาในอาคารพักอาศัยแนวราบเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบกัน

ขอบเขตงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงเทคโนโลยีในอนาคต เช่น ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต (PV Efficiency) การเปลี่ยนผ่านจากระบบไฟฟ้าระบบกริดสู่ระบบไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Grid Transition to Renewable Energy) และการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในเวลากลางคืน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

Andrea, J. (2021). *The U.N. climate report's five future-decoded-FIVE FUTURE DECODE*. REUTERS. Retrieved August 9, 2021 from https://www.reuters.com/business/environment/un-climate-reports-five-futures-decoded-2021-08-09/

Belcher, S. E., Hacker, J., & Powell, D. S. (2005). Constructing design weather data for future climates. *Building Services Engineering Research and Technology*, *26*. https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa

BREEAM. (2014). *BREEAM UK New Construction* Retrieved 6 june 2022 from https://files.bregroup.com/breeam/technicalmanuals/BREEAMUK2014SchemeDocument/#05_health/hea04.htm?Highlight=Thermal%20Comfort

BREEAM. (2020). *Net zero carbon : Built environment solutions to support routes to net zero carbon*. BRE GROUP. Retrieved January 31, 2023 from https://bregroup.com/products/breeam/breeam-solutions/breeam-net-zero-carbon/

CAT, C. f. A. T. (2022). *Photovoltaic (PV) Solar Panels*. Retrieved 1 may 2022 from https://cat.org.uk/info-resources/free-information-service/energy/solar-photovoltaic/

CBRE. (2566). *รายงานภาพรวมตลาดอสังหาริมทรัพย์ในกรุงเทพ ฯ ไตรมาส 1 ปี 2566*. Retrieved 12 July 2023 from https://www.cbre.co.th/th-th/insights#sort=%40publishdate%20descending&numberOfResults=9

CCworldweatherGen. (2013). *Climate Change world Weather File Genaration for Worldwide Weather Data*. University of Southampton enrgy & Climate change. Retrieved 2 เมษายน 2565 from https://energy.soton.ac.uk/climate-change-world-weather-file-generator-for-world-wide-weather-data-ccworldweathergen/

CEIC. (2022). *Thailand Carbon Dioxide Emission per Electricity Genneration*. Retrieved 1 July 2023 from https://www.ceicdata.com/en/thailand/carbon-dioxide-emissions-statistics

ClimateData.ca. (2018). *Climate Data in Action : Future Weather Files*. Retrieved 2 may

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2018 from https://climatedata.ca/climate-data-in-action-future-weather-files/

Construction21. (2019). *Overview An Introduction to Life Cycle Assessment (LCA)*. https://www.construction21.org/articles/h/overview-an-introduction-to-life-cycle-assessment-lca.html

Dhakal, R., Sedai, A., Paneru, S., Yosofvand, M., & Moussa, H. (2021). Towards a Net Zero Building Using Photovoltaic Panels: A Case Study in an Educational Building. *International Journal of Renewable Energy Research*, *11*, 879-889.

Ecoinvent. (2023). *Software Tools , Ecoinvent data is implementd in leading software tools that cover a wide rage of applications*. Retrieved 15July2023 from https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/software-tools/

Enerdata. (2023). *World Trend Over 2000-2050 - EnerBlue Scenario*. Retrieved 12 July 2023 from https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-co2-intensity-of-electricity-generation.html

EnergyPlus. (1996). *Bangkok 484560 (IWEC)*. Retrieved 1 june 2022 from https://energyplus.net/weather-search/bangkok

Greenmatch. (2023). *The Lifespan of Solar panels*. https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/01/the-lifespan-of-solar-panels

Greennetworkthailand. (2022). *COP26*กับบทบาทประเทศไทย ในการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. นิตยสารรายเดือนสำหรับคนรักษ์โลก. Retrieved 8 เมษายน 2565 from https://www.greennetworkthailand.com/cop26-%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%A8%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2/

IEA. (2016). *IEA EBX Annex 72 Assessment Scope-Assessing Lift Cycle Related Environmental Impact Caused by Building* IEA. Retrieved April 8, 2021 from https://annex72.iea-ebc.org/

IPCC. (2021a). *HadCM3 climate scenario data download page*. ipcc data Distribution Centre. Retrieved 10 may 2565 from https://www.ipcc-data.org/sim/gcm_clim/SRES_TAR/hadcm3_download.html

IPCC. (2021b). Sixth Assessment Report : Working group- The Physical Science Basis: Regional fact sheet-Urban Area : Climate Change 2021. *6*(5), 1-2.

IPCC:AR5. (2014). *The Fifth Assessment Report of the IPCC*. Retrieved 7 july 2022 from

https://unfccc.int/topics/science/workstreams/cooperation-with-the-ipcc/the-fifth-assessment-report-of-the-ipcc?gclid=CjwKCAjw-IWkBhBTEiwA2exyO2Os58lP-2UGwKUPOXTOKP6LeV3anQWJ2L3FxUoQIU3_8APBZvBOaRoCOfsQAvD_BwE

IPCC:AR6. (2022). Sixth Assessment Report : Working group- The Physical Science Basis : Future Global Climate : Climate Change 2021 *760*(5), 1-7. https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/

Jentsch, M. F., James, P. A. B., Bourikas, L., & Bahaj, A. S. (2013). Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy*, *55*, 514-524. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.049

Kim, D., Cho, H., Mago, P. J., Yoon, J., & Lee, H. (2021). Impact on Renewable Design Requirements of Net-Zero Carbon Buildings under Potential Future Climate Scenarios. *Climate*, *9*(1).

LEED, Z. (2018). *LEED Zero Verifies net zero goals* Green building council https://www.usgbc.org/programs/leed-zero

Liu, S., Kwok, Y. T., Lau, K. K.-L., Ouyang, W., & Ng, E. (2020). Effectiveness of passive design strategies in responding to future climate change for residential buildings in hot and humid Hong Kong. *Energy and Buildings*, *228*, 110469. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110469

M.F, C.K, C., P.A.B, J., Bahaj, A., & Y.H, Y. (2009). *Development of climate change adapted weather files for building performance simulation: implications for Southeast Asia*.

Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49*, 736-755. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095

Nations, U. (2021). COP 26: Together for our planet. https://www.un.org/en/climatechange/cop26

OneClick. (2023). *Life-Cycle scop specified according to the standarddized module designations* Retrieved 15 jan 2022 from https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064999-Life-Cycle-Stages

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

OneClick LCA. (2023). *Calculate your environmental impacts in minutes*. Retrieved 15July2023 from https://www.oneclicklca.com/

Reveshti, A. M., Ebrahimpour, A., & Razmara, J. (2023). Investigating the effect of new and old weather data on the energy consumption of buildings affected by global warming in different climates. *International Journal of Thermofluids*, *19*, 100377. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100377

Satola, D., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Wiberg, A. H., & Gustavsen, A. (2021). How to define (net) zero greenhouse gas emissions buildings: The results of an international survey as part of IEA EBC annex 72. *Building and Environment*, *192*, 107619. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107619

Szalay, Z., Szagri, D., Bihari, Á., Nagy, B., Kiss, B., Horváth, M., & Medgyasszay, P. (2022). Development of a life cycle net zero carbon compact house concept. *Energy Reports*, *8*, 12987-13013. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.197

TGO. (2565). ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต และการใช้ไฟฟ้า (*Emission Factor)* สำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก. Retrieved 07 July 2023 from https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-tver/120-tver-gwp-emission-factor/3377-emission-factor-30-2565.html

THAI-GLOB. (2016). *Thailand's second assessment report on climate change 2016 รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2*. THAI-GLOB. Retrieved 16 เมษายน 2565 from https://www.thaiglob.org/

UNFCC. (2011). Definitions of climate change - Fact sheeet : Climate change science - The status of climate change science to day (2 may, 2021). https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf

กันตพงศ์ ศรีเมือง. (2564). การประเมินผลมาตรการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในอาคารสำนักงาน และคอนโดมิเนียมพักอาศัย ด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2022). เกณฑ์ประเมินและให้ฉลากแบบบ้านประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยอ้างอิงการจำลองพลังงานและการประเมินวัฏจักรชีวิต. *JARS 2022*, *22*, 187.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณัฏฐา ตระกูลไทย. (2558). ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2022). *Energy Statistics of Thailand 2022 :* รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย *2565*. กระทรวงพลังงาน Retrieved from https://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/18296-energy-statistics-2565

อภิญญา บุญมา. (2555). ผลกระทบจากการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตามกฎหมายที่มีต่อการออกแบบคอนโดมิเนียม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

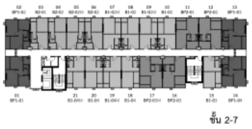
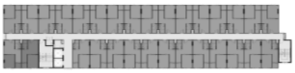
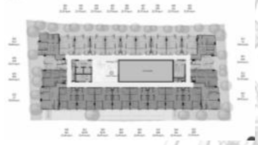
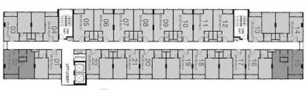
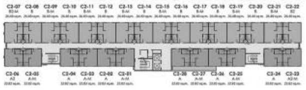
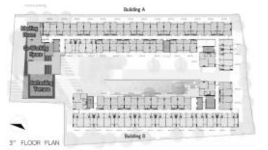
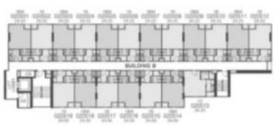
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการศึกษาไฟล์ข้อมูลอากาศตั้งต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Number of Ground Temper	Ground Tempera	Soil Conductivity {W/m-K}	Soil Density {kg/m3}	cific Heat	Jan {C}	Feb {C}	Mar {C}	Apr {C}	May {C}	Jun {C}	Jul {C}	Aug {C}	Sep {C}	Oct {C}	Nov {C}	Dec {C}	<repea	t to Number of temp
3	0.5				26.78	26.61	26.91	27.38	28.62	29.6	30.23	30.4	30.09	29.35	28.35	27.43	2	
Leap Year Observed?	Daylight Saving S	Daylight Saving End Date	Number of Holidays	liday Nar	Holiday Date	<repeat for # Holidays>												
No	0	0	0															
Comment Line #1																		
IWEC- WMO#484560 - Asia -- Original Source Data (c) 2001 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Inc., Atlanta, GA, USA. www.ashrae.org All rights reserved as noted in the License Agreement and Additional Conditions. DISCLAIMER OF WARRANTIES: The data is provided 'as is' without																		
Comment Line #2																		
-- Ground temps produced with a standard soil diffusivity of 2.3225760E-03 {m**2/day}																		
Number of Data Periods [DI	Number of Interv	DP Name/Description	DP Start Day of Week	P Start D	DP End Day	<repeat to # Data Periods>												
1	1	Data	Sunday	1-Jan	31-Dec													
Date	HH:MM	Datasource	DryBulb {C}	ewPoint {	RelHum {%}	Atmos Pre	ExtHorzRa	ExtDirRad	HorzIRSky	GloHo	DirNormRad {Wh/m2}	DifHo	GloHorz	DirNorm	DifHorzIl	ZenLun	WindD	WindSpd {m/s}
Date	HH:MM	Datasource	Dry Bulb Temperature {C}	nt Tempe	Relative Humidity {%}	Atmosphe	Extraterre	Extraterre	Horizontal	Globa	Direct Normal Radiation {Wh/m2}	Diffus	Global H	Direct N	Diffuse H	Zenith L	Wind D	Wind Speed {m/s}
1/1/1983	1:00	C9C9C9C9*0?9?9?9?9?9?9?9A7A7A7	23.6	17.8	70	101100	0	1415	367	0	0	0	0	0	0	0	270	1
1/1/1983	2:00	C9C9C9C9*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	22.4	18.1	77	101100	0	1415	362	0	0	0	0	0	0	0	270	0.7
1/1/1983	3:00	C9C9C9C9*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	21.3	18.2	83	101000	0	1415	356	0	0	0	0	0	0	0	270	0.3
1/1/1983	4:00	C9C9C9C9*0?9?9?9?9?9?9?9A7A7A7	20.4	18.2	87	101000	0	1415	352	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/1983	5:00	C9C9C9C9*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	19.6	18.1	91	101100	0	1415	348	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/1983	6:00	C9C9C9C9*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	18.9	18	95	101100	0	1415	345	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/1983	7:00	A7A7E8E8*0G9G9G9I9I9I9I9A7A7A7A7	18.9	17.1	89	101200	11	1415	344	2	0	2	200	0	200	70	0	0
1/1/1983	8:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	21	17.6	81	101200	243	1415	354	69	32	63	7700	2200	7400	1550	0	1.4
1/1/1983	9:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	23.2	18.1	73	101300	541	1415	366	271	283	160	29100	22700	21100	3370	0	2.7
1/1/1983	10:00	A7A7E8E8*0G9G9G9I9I9I9I9A7A7A7A7	25.3	18.5	66	101300	794	1415	377	490	543	184	53700	48000	26200	4130	10	4.1
1/1/1983	11:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	27.4	19.3	61	101300	983	1415	388	667	688	188	73400	66400	26600	5130	10	3.8
1/1/1983	12:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	29.4	20	57	101200	1096	1415	400	776	785	166	84700	80700	22200	4940	10	3.4
1/1/1983	13:00	A7A7E8E8*0G9G9G9I9I9I9I9A7A7A7A7	31.5	20.7	53	101100	1126	1415	412	805	831	142	89800	86400	19200	4740	330	3.1
1/1/1983	14:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	31.7	20.8	53	101000	1069	1415	413	750	766	169	84200	74500	24800	5410	330	3.1
1/1/1983	15:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	31.8	20.8	52	101000	931	1415	413	617	697	157	68600	67000	23300	4080	330	3.1
1/1/1983	16:00	A7A7E8E8*0G9G9G9I9I9I9I9A7A7A7A7	32	20.9	52	100900	720	1415	415	422	514	159	46600	43500	23600	3370	270	3.1
1/1/1983	17:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	31.1	20.6	54	100900	451	1415	409	199	225	127	21500	15600	17500	2580	270	2.4
1/1/1983	18:00	B8C8E8B8*0H9H9H9I9I9I9I9*0B8B8B8	30.2	20.4	56	101000	143	1415	404	28	0	28	3100	0	3100	960	270	1.7
1/1/1983	19:00	A7A7E8E8*0?9?9?9?9?9?9?9A7A7A7	29.3	20.1	58	101000	0	1415	399	0	0	0	0	0	0	0	270	1
1/1/1983	20:00	B8C8E8B8*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	28.5	20.2	61	101000	0	1415	395	0	0	0	0	0	0	0	270	0.7
1/1/1983	21:00	B8C8E8B8*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	27.6	20.3	64	101100	0	1415	390	0	0	0	0	0	0	0	270	0.3
1/1/1983	22:00	A7A7E8E8*0?9?9?9?9?9?9?9A7A7A7	26.8	20.4	68	101100	0	1415	386	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/1983	23:00	B8C8E8B8*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	26.2	20.4	71	101100	0	1415	383	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1/1983	24:00:00	B8C8E8B8*0?9?9?9?9?9?9?9*0B8B8	25.6	20.5	73	101100	0	1415	380	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาคผนวก ข. การศึกษาแบบอาคารอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับ	ผังพื้น	ที่ตั้ง	ข้อมูล
1		Origin Place Phahol 59 Station	ลักษณะอาคาร : Rectangle Shape จำนวนชั้น : 7 ชั้น
2		Na Vara Phaholyothin 8 (ณ วรา พหลโยธิน 8)	ลักษณะอาคาร : Rectangle Shape จำนวนชั้น : 7 ชั้น
3		ไฮ 48 สุทธิสาร คอนโด (HI 48 SUTTHISAN CONDO)	ลักษณะอาคาร : Rectangle Shape จำนวนชั้น : 7 ชั้น
4		Supalai City Resort สุขุมวิท 107	ลักษณะอาคาร : L Shape จำนวนชั้น : 8 ชั้น
5		Groove Scape ลาดพร้าว - สุทธิสาร	ลักษณะอาคาร : O Shape จำนวนชั้น : 7 ชั้น พื้นที่ต่อชั้น :
6		Groove Muse รัชดา 7	ลักษณะอาคาร : O Shape จำนวนชั้น : 7 ชั้น
7		Lumpini Selected จรัญ 65 - สิรินธร	ลักษณะอาคาร : Rectangle Shape จำนวนชั้น : 8 ชั้น พื้นที่ต่อชั้น :
8		ยูนิโอ รามคำแหง-เสรีไทย	ลักษณะอาคาร : Rectangle Shape จำนวนชั้น : 7 ชั้น พื้นที่ต่อชั้น :
9		ดิ ออริจิ้น อ่อนนุช หรือ THE ORIGIN ONNUT	ลักษณะอาคาร : L Shape จำนวนชั้น : 8 ชั้น
10		เดอะ มูฟ ราม 22 หรือ THE MUVE Ram 22	ลักษณะอาคาร : Rectangle Shape จำนวนชั้น : 8 ชั้น

ภาคผนวก ค. รายละเอียดผลการประเมินวัฏจักรชีวิต (One Click LCA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)

Data sources

Sources

Resource name	Technical specification	Product	Manufacturer	EPD program	EPD number	Environment Data Source	Standard	Verification	Year	Country	Upstream database	Density	Product Category Rules (PCR)	Notes about PCR	Performance ranking	Download EPD
Acrylic emulsion paint, for exterior application	1.08 - 1.21 g/cm3, 38% solids/volume, dry/wet film thickness 30 - 40 / 79 - 105 µm, 9.5 - 12.7 m2/l	Jotashield AF SG	Jotun	EPD Norge	NEPD-1734-712-EN	EPD Jotashield AF SG, Jotun Thailand Ltd. Jotun A/S	EN15804+A1	Internally verified	2019	thailand	ecoinvent	1145.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 607 / 973 See full ranking:	Download EPD
Aluminum profiles, for suspended ceiling systems	38 x 24 mm, 0.356 kg/m of aluminum			INSIDE/INSIDE	NIBE471	EPD 21002-NIBE471 - Aluminium profiel	EN15804+A1	Third-party verified (as per ISO 14025)	2020	netherlands	ecoinvent		EN15804+A1	-	CO2 CML: 220 / 490 See full ranking:	See full dataset
Bitumen-polymer membrane roofing, 1 layer, fully torched			EWA	EPD Norge	NEPD00271E	Single layer mechanically fastened fully torched modified bitumen roof waterproofing system, Bitumen Waterproofing Association	EN15804+A1	Third-party verified (as per ISO 14025)	2014	europe, belgium, denmark, finland, germany, italy, netherlands, sweden	ecoinvent	1256.0	NPCR 022 Roof Waterproofing, rev1	Only with EN15804	CO2 CML: 94 / 149 See full ranking:	Download EPD

ตารางที่ 10 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)

Concrete beam - for concrete buildings, L-beam/T-beam, B45		One Click LCA		One Click LCA generic construction definitions				LOCAL	Other				
Concrete column, for concrete building, rectangular, 0.45 x 0.45 m		One Click LCA		One Click LCA generic construction definitions				LOCAL	Other				
Electricity, Thailand		One Click LCA		LCA study for country specific electricity mixes based on IEA, OneClickLCA 2023		Internally verified	2020	thailand	ecoinvent				Utilities: 769 / 1034 See full ranking:
Float glass, single pane, generic	3-12 mm (0.12-0.47 in), 10 kg/m2 (2.05 lbs/ft2) (for 4 mm/0.16 in), 2500 kg/m3 (156 lbs/ft3)	One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2500.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 43 / 87 See full ranking:

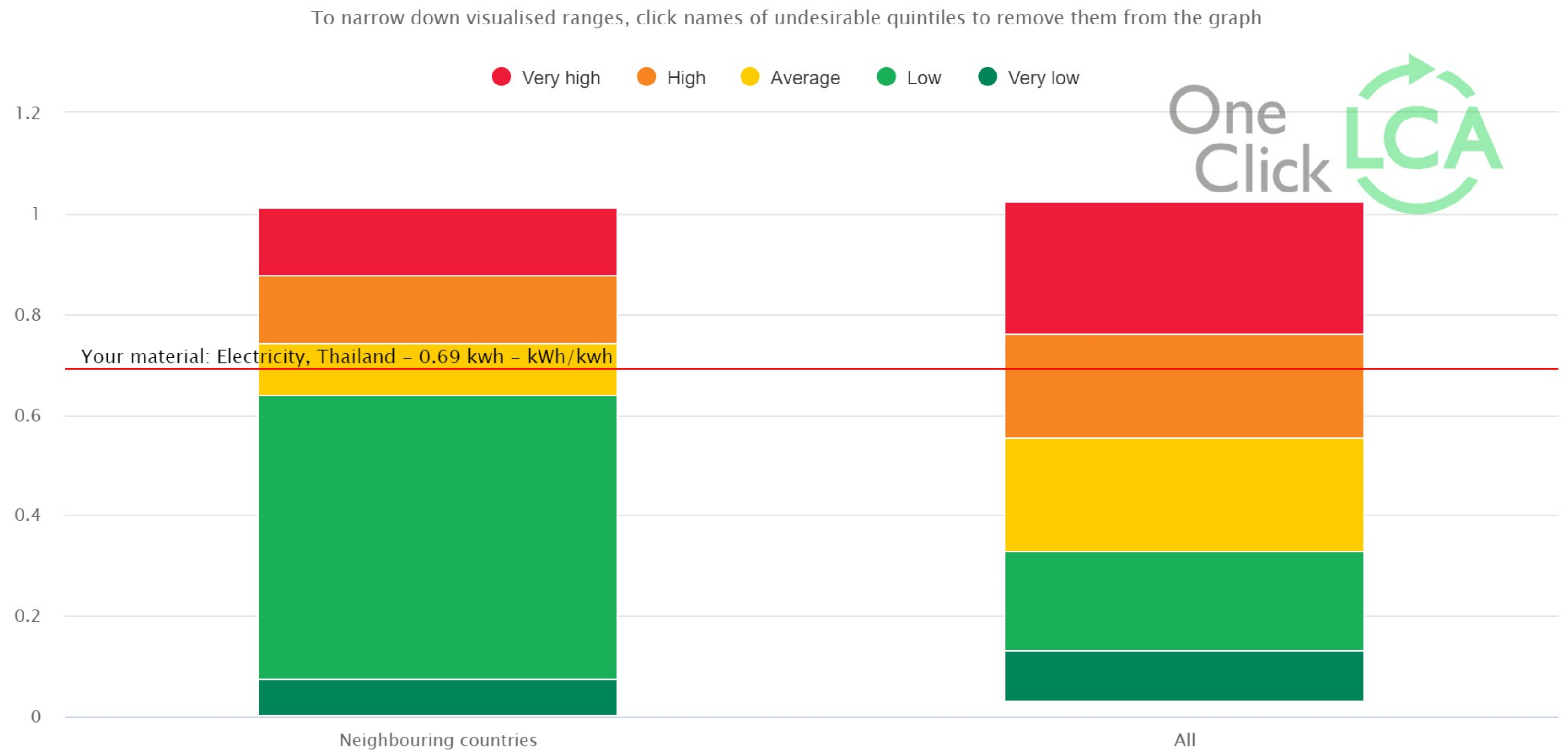
ตารางที่ 11 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)

Float glass, single pane, generic	3-12 mm (0.12-0.47 in), 10 kg/m2 (2.05 lbs/ft2) (for 4 mm/0.16 in), 2500 kg/m3 (156 lbs/ft3)		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2500.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 43 / 87 See full ranking:
Gypsum plaster board, regular, generic	6.5-25 mm (0.25-0.98 in), 10.725 kg/m2 (2.20 lbs/ft2) (for 12.5 mm/0.49 in), 858 kg/m3 (53.6 lbs/ft3)		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	858.0280607132333	EN15804+A1	-	CO2 CML: 273 / 348 See full ranking:
Photovoltaic monocrystalline panel, per m2	14.5 kg/m2, 224 Wp	One Click LCA	One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2022	LOCAL	ecoinvent		EN15804+A1	-	CO2 CML: 35 / 43 See full ranking:
Plywood, generic	4-50 mm (0.16-1.97 in), 620 kg/m3 (38.7 lbs/ft3)		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	620.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 22 / 68 See full ranking:
Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic	C30/37 (4400/5400 PSI), 0% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m3 / 18.72 lbs/ft3), incl. reinforcement		One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 78 / 280 See full ranking:

ตารางที่ 12 รายการแหล่งข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร (OneClick LCA)

Ready-mix concrete, normal-strength, generic	C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m3 / 18.72 lbs/ft3)	One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 510 / 952 See full ranking:
Ready-mix concrete, normal-strength, generic	C40/50 (5800/7300 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (400 kg/m3 / 24.97 lbs/ft3)	One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1, EN15804+A2	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	2400.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 448 / 714 See full ranking:
Reinforcement steel (rebar), generic	90% recycled content, A615	One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Internally verified	2018	LOCAL	ecoinvent	7850.0	EN15804+A1	-	CO2 CML: 96 / 319 See full ranking:

ตารางที่ 13 ข้อมูลการจัดลำดับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย เปรียบเทียบกับ เอเชีย และทั่วโลก (OneClick LCA)



ตารางที่ 14 รายละเอียดของผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในแต่ละส่วน (A1-D) (OneClick LCA)

One Click LCA

Main > Base case > Base case building > Life-cycle assessment, EN-15978 > One Click LCA results report

Life-cycle assessment, EN-15978

Download Excel Close

Section	Result category	Global warming kg CO_2e	Acidification kg SO_2e	Eutrophication kg PO_4e	Ozone Depletion kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ	Biogenic carbon storage kg CO_2e bio
A1-A3	Construction Materials	2,12E6	7,09E3	1,55E3	9,35E−2	3,66E2	1,29E7	3,41E4
A4	Transportation to site	6,09E4	1,87E2	4,01E1	1,12E−2	6,22E0	1,34E6	
A4	Transport to the building site	6,09E4	1,87E2	4,01E1	1,12E−2	6,22E0	1,34E6	
A4-leg2	Transportation to site - leg 2							
A5	Construction/installation process	1,62E5	5,25E2	3,01E2	2,38E−2	2,08E1	2,93E6	
B1-B5	Maintenance and material replacement	5,54E5	2,7E3	1,05E3	6,02E−2	1,47E2	8,41E6	
B6	Energy consumption	3,61E7	1,59E5	3,59E4	2,18E0	6,12E3	5,18E8	
B7	Water use	2,03E5	1,4E3	3,21E2	8,24E−3	4,99E1	3,32E6	
C1-C4	End of life	6,71E4	3,65E2	7,82E1	1,26E−2	8,09E0	1,53E6	
C1	Deconstruction/demolition	4,03E3	7,47E0	1,42E0	6,57E−4	6,21E−1	7,15E4	0E0
C2	Waste transport	3,8E4	1,73E2	3,77E1	7,5E−3	2,36E0	1,09E6	
C3	Waste processing	6,1E2	4,28E0	6,06E−1	8,21E−5	2,07E−1	1,66E4	
C4	Waste disposal	2,45E4	1,8E2	3,85E1	4,4E−3	4,9E0	3,59E5	
D	External impacts (not included in totals)	−3,83E5	−1,25E3	−1,82E2	−1,55E−2	−1,86E2	−4,44E6	
A5m-benefit	Construction site - material use - benefit							
A5-benefit	Construction site - material wastage - benefit	−5,23E3	−8,56E0	−1,04E0	−7,67E−5	−1,54E0	−3,05E4	0E0
D2	Exported energy (not included in totals)							
D	Installed Materials - benefit	−3,78E5	−1,24E3	−1,81E2	−1,54E−2	−1,85E2	−4,41E6	0E0

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อภิญญา เวชกามา
สถานที่เกิด	ยโสธร
วุฒิการศึกษา	หลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต-มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University