

การวิเคราะห์การกระจายตัวและแนวโน้มดัชนีองศาวันความเย็น
รายภูมิภาคของประเทศไทย
REGIONAL DISTRIBUTION AND TREND ANALYSIS OF COOLING
DEGREE-DAY INDICES IN THAILAND

อภิวัฒน์ ชัยสุกัญญาสันต์¹ พงศกร คชาพงศ์กุล² และ สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์^{3*}

¹นักศึกษา,วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลรัตนโกสินทร์, 96 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ศาลายา อำเภอพุทธมณฑล นครปฐม 73170,
aphiwat.chai@rmutr.ac.th

²อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม, วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 96 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ศาลายา อำเภอพุทธมณฑล
นครปฐม 73170, E-mail: pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

^{3*}อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก, สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 96 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ศาลายา อำเภอพุทธมณฑล
นครปฐม 73170, E-mail: sirichai.jir@rmutr.ac.th

Aphiwat Chaisukanyasan¹, Pongsakorn Kachapongkun², Sirichai Jirawongnuson^{3*}

¹Student, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, 96 Mu 3 Phutthamonthon Sai 5
Road, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170 Thailand,
E-mail: aphiwat.chai@rmutr.ac.th

²Co-advisor, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala
University of Technology Rattanakosin, 96 Mu 3 Phutthamonthon Sai 5 Road, Salaya,
Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170 Thailand,
E-mail: pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

^{3*}Major-advisor, Department of Engineering, Rajamangala University of Technology
Rattanakosin, 96 Phutthamonthon Sai 5 Road, Salaya, Phutthamonthon District, Nakhon
Pathom 73170, E-mail: sirichai.jir@rmutr.ac.th

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแผนที่ค่าดัชนี CDDs ทั้ง 6 ภูมิภาคของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันระหว่างปี 2020-2024 ของ 6 จังหวัดตัวแทนในแต่ละภูมิภาค ใช้อุณหภูมิฐาน 25 °C ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น ผลของงานวิจัยพบว่าภาคกลางและภาคตะวันออกมี CDDs สูงสุด 1739 และ 1732 ขณะที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่ำสุด 1206 และ 1175 และค่าเฉลี่ยรวมทั้งประเทศเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 ในช่วง 5 ปี ผลมาจากภาวะโลกร้อน ส่งผลให้มีความต้องการพลังงานเพื่อระบบปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างระดับความสูงกับ CDDs $R^2 = 0.51$, $p\text{-value} = 0.11$, $t\text{-stat} = -2.07$ บ่งชี้ว่าพื้นที่ราบลุ่มต้องใช้พลังงานเพื่อปรับอากาศมากกว่าพื้นที่สูงเป็นผลมาจาก CDDs ที่สูงกว่า โดยภาคที่มีค่า CDDs สูง เช่น ภาคกลางและภาคตะวันออก ควรเพิ่มความหนาแน่นและกำหนดเกณฑ์ OTTV/RTTV ตามมาตรฐาน BEC ให้เข้มงวดกว่าภาคที่มีค่า CDDs ต่ำ งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนอนุรักษ์พลังงาน และการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานของประเทศได้.

คำสำคัญ: ดัชนีองศาวันความเย็น, การใช้พลังงานในอาคาร, ภูมิอากาศของประเทศไทย

ABSTRACT

This study aims to develop a CDDs map covering all six regions of Thailand based on daily average temperature data from 2020-2024 for six representative provinces. The base temperature of 25 °C was applied in accordance with ASHRAE standards for hot-humid climates. The results reveal that the Central and Eastern regions exhibit the highest CDDs values of 1739 and 1732 respectively, while the Northern and Northeastern regions record the lowest values of 1206 and 1175. The national average CDDs increased by 5.9% over the five-year period, reflecting the influence of global warming and a continuing rise in cooling energy demand. Linear regression analysis indicates a negative correlation between altitude and CDDs ($R^2 = 0.51$, $p = 0.11$, $t = -2.07$), suggesting that lowland areas require greater cooling energy compared with highland areas. Regions with higher CDDs, such as the Central and Eastern regions, should adopt thicker insulation and stricter OTTV/RTTV criteria under Thailand's Building Energy Code (BEC) than regions with lower CDDs. The outcomes of this study can be applied to energy conservation planning and the design of energy-efficient buildings in Thailand.

KEYWORDS: Cooling Degree Day Index, Building Energy Consumption, Thailand Climate

1. บทนำ

ภาคอาคารเป็นภาคที่ใช้พลังงานสูงร้อยละ 40 ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั่วโลก [1] ปัญหาสำคัญคือแนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยโลกที่สูงขึ้นส่งผลให้ระบบปรับอากาศต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย การใช้พลังงานในภาคอาคารนั้นส่วนใหญ่ใช้กับระบบปรับอากาศ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 ของการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารภาครัฐทั้งหมด [2]

ค่าดัชนีองศาวันความเย็น (Cooling Degree Days: CDDs) คือผลรวมสะสมของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันกับอุณหภูมิฐานที่กำหนด สะท้อนภาระความร้อนที่ระบบปรับอากาศต้องรับมือ ยิ่งค่า CDDs สูง ระบบปรับอากาศยังต้องใช้พลังงานมากขึ้น [3] CDDs มีความเหมาะสมกว่าดัชนีภูมิอากาศอื่นด้วยเหตุผล 3 ประการ ได้แก่ 1) ใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันที่มีพร้อมและครอบคลุมทุกพื้นที่ ต่างจาก Heat Index ที่ต้องใช้ข้อมูลความชื้นรายชั่วโมง 2) เป็นดัชนีสะสมรายปีที่เปรียบเทียบระหว่างภูมิภาคและช่วงเวลาได้โดยตรง เหมาะกับการวางแผนอนุรักษ์พลังงาน และ 3) ได้รับการยอมรับในมาตรฐานสากล ASHRAE [3] และใช้แพร่หลายในงานวิจัยพลังงานอาคารทั่วโลก [4-6] ทำให้เปรียบเทียบกับงานวิจัยนานาชาติได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ CDDs เป็นตัวชี้วัดหลักในการประเมินความต้องการพลังงานของระบบปรับอากาศและการออกแบบขนาดกันความร้อนที่เหมาะสมของแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย

งานวิจัยของ Miranda et al [4] วิเคราะห์แนวโน้ม CDDs พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยโลกจาก 1.5 °C เป็น 2.0 °C ทำให้ CDDs เพิ่มขึ้น 12-34% โดยเฉพาะในเอเชียและแอฟริกา Cros et al [7] ได้ประเมินการเปลี่ยนแปลง CDDs ของประเทศฝรั่งเศส พบว่าปัจจัยด้านประชากรมีอิทธิพลต่อ CDDs เนื่องจากความต้องการพลังงานเพื่อปรับอากาศ Tringa et al [8] พบว่า CDDs ในกรีซมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ฤดูร้อนยาวนานขึ้น และภาระด้านพลังงานสูงขึ้นจากสภาพภูมิอากาศที่ปรับตัวสูงขึ้น Verichev et al [5] ได้วิจัยวิธีคำนวณ CDDs เพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสม โดยใช้อุณหภูมิรายชั่วโมงของ 42 สถานีในแคว้นอันดาลูเซีย ประเทศสเปน ด้วยวิธี Hourly, ASHRAE และ UKMO และนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการรอบวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน พบว่าวิธีคำนวณที่ต่างกันให้ CDDs/ร้อนและความหนาแน่นแตกต่างกันราว 10-20% โดยวิธี ASHRAE ให้ค่าต่ำสุด

ในส่วนของงานวิจัยในเอเชีย Thakur and Kumar [6] คาดว่า CDDs ในอินเดียจะเพิ่มขึ้น 12%, 16% และ 34% ภายในปี 2030, 2050 และ 2100 ตามลำดับ Amber et al [9] ได้สร้างแผนที่ CDDs ของปากีสถาน พบว่าพื้นที่ที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเลต่ำกว่าจะมี CDDs สูงกว่าพื้นที่ที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเลมากกว่าถึง 8 เท่า Liu et al [10] พบว่าอุณหภูมิฐาน 26 °C ที่ใช้อยู่ในประเทศจีนสูงเกินไป ควรปรับเป็น 18–22 °C เนื่องจากอุณหภูมิฐาน 26 °C ไม่สะท้อนความต้องการพลังงานจริง เพราะอาคารยังมีภาระความร้อนจากภายในและรังสีแสงอาทิตย์ Mehmood et al [11] ได้พัฒนา

heat index-based CDDs ที่รวมผลของภาระความร้อนแฝงและสัมผัส เพิ่มความแม่นยำในการทำนายพลังงานถึง 20% และ Mehmood et al [12] ใช้ CDDs เพื่อจำแนกเขตภูมิอากาศร้อนจัด พร้อมเสนอแนวคิด Resilient Cooling Pathway เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและลดการใช้พลังงานของอาคารในเอเชียใต้

สำหรับประเทศไทย งานวิจัยเกี่ยวกับดัชนี CDDs ยังมีอยู่จำกัด Assawamartbunlue [13] ศึกษาดัชนีองศาชั่วโมงความเย็น (CDH) ที่อุณหภูมิฐาน 18.5°C ของ 4 เมืองหลักในช่วงปี 1994-2008 พบว่ากรุงเทพมหานครมีค่า CDH รายปีสูงสุดที่ 91,374 องศา-ชั่วโมง รองลงมาคือ สงขลา 75,298 อุบลราชธานี 75,093 และเชียงใหม่ 64,117 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า CDH ของทุกเมือง สูงกว่าค่าดัชนีองศาชั่วโมงความร้อน (HDH) อย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนว่าประเทศไทยมีความต้องการพลังงานปรับอากาศตลอดปีมากกว่าการทำความร้อน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าว ใช้หน่วยองศา-ชั่วโมง ข้อมูลเพียง 4 จังหวัด และอุณหภูมิฐาน 18.5°C ต่างจากมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 [14] ที่กำหนดไว้ 25°C สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น จึงยังขาดฐานข้อมูล CDDs ที่ทันสมัย ครอบคลุมทั้ง 6 ภูมิภาค และใช้อุณหภูมิฐานที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศปัจจุบันของประเทศไทย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นขยายขอบเขตจากองค์ความรู้เดิมโดยจัดทำฐานข้อมูลที่มีความทันสมัย ครอบคลุมพื้นที่ให้มากขึ้น โดยเลือกใช้อุณหภูมิฐานที่ 25°C ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะสบายและสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50-60% ซึ่งเหมาะสมกับภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทยตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 [14] Yamtraipat et al [15] ได้วิจัยการตั้งค่าอุณหภูมิของระบบปรับอากาศภายในอาคารสำนักงานของประเทศไทย พบว่าช่วงอุณหภูมิที่ผู้ใช้งานรู้สึกสบายและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพอยู่ที่ $24.6\text{--}26.2^{\circ}\text{C}$ และพบว่าพฤติกรรมการใช้งานจริงส่วนใหญ่ที่ 77.64% จะตั้งอุณหภูมิต่ำกว่า 26.2°C โดยการปรับตั้งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 1°C สามารถลดพลังงานได้เฉลี่ย 6.14% นอกจากนี้ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานยังแนะนำการตั้งอุณหภูมิที่ 25°C เพื่อสร้างความเย็นสบายอย่างเหมาะสมพร้อมทั้งลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 10 [16] จึงนับเป็นค่าที่มีความเหมาะสมทั้งด้านสภาวะสบายและด้านประสิทธิภาพพลังงานสำหรับสภาพภูมิอากาศประเทศไทย

อุณหภูมิฐาน T_b ในบริบทของ CDDs คืออุณหภูมิที่ระบบปรับอากาศต้องทำงานเพื่อรักษา สภาวะสบาย ไม่ใช่ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก การที่อุณหภูมิของประเทศไทยสูงกว่า 25°C อยู่บ่อยครั้งจึงยืนยันว่าระบบปรับอากาศต้องทำงานมากและต่อเนื่อง ซึ่งตรงกับสิ่งที่ CDDs ออกแบบมาเพื่อวัด ส่วนกรณีจีนที่ Liu et al [10] เสนอให้ปรับ T_b จาก 26°C เป็น $18\text{--}22^{\circ}\text{C}$ นั้น เป็นเพราะ $T_b = 26^{\circ}\text{C}$ สูงเกินไปจนไม่สะท้อนภาระความร้อนจริง ยิ่งสนับสนุนว่า $T_b = 25^{\circ}\text{C}$ ของไทยเหมาะสมกว่า สำหรับช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C โดยเฉพาะภาคเหนือและภาค ตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาว ค่า CDDs จะเป็นศูนย์ตามนิยาม ASHRAE [3] ซึ่งสอดคล้องกับ

ความเป็นจริงที่ระบบปรับอากาศไม่จำเป็นต้องทำงานในช่วงนั้น ดังนั้น $T_b = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงสะท้อนความต้องการพลังงานจริงของแต่ละภูมิภาคในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ดัชนี CDDs กับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล จัดทำแผนที่ CDDs และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ CDDs เฉลี่ยรวม โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันที่จากกรมอุตุนิยมวิทยา [17] ระหว่างปี 2020-2024 ครอบคลุมพื้นที่ 6 ภูมิภาคของประเทศไทย

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้เขียนดำเนินการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยอาศัยกรอบแนวคิดของ CDDs (Cooling Degree Days: CDDs) ตามนิยามและสมการ (1)-(4) ในทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดอุณหภูมิฐาน T_b เท่ากับ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะสบายและเหมาะสมกับภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทยตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 และงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง จากนั้นจึงนำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสถานีตรวจอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา [17] มาคำนวณค่า CDDs รายวัน รายเดือน รายปี และค่าเฉลี่ย 5 ปี เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลและจัดทำแผนที่การกระจายตัวของค่า CDDs ของประเทศไทย โดยมีขั้นตอนหลักดังนี้

2.1 ดัชนีองศาวันความเย็น (Cooling Degree Days: CDDs)

นิยามของค่าดัชนีองศาวันความเย็น (Cooling Degree Days: CDDs) คือหน่วยวัดความต้องการพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศ ซึ่งคำนวณจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันกับอุณหภูมิฐานที่กำหนดไว้ หากอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันสูงกว่าอุณหภูมิฐาน จะนับเป็น CDDs และหากต่ำกว่าหรือเท่ากับก็จะถือเป็นศูนย์ตาม ASHRAE [3] โดยคำนวณได้ตามสมการ (1)-(4)

$$CDDs_{Daily} = \sum (T_i - T_b)^+ \quad (1)$$

สมการ (1) ใช้คำนวณ CDDs รายวัน ($CDDs_{Daily}$) โดย T_i คืออุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน $= (T_{max} + T_{min})/2$, T_b คืออุณหภูมิฐานที่กำหนดไว้ที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ เครื่องหมาย “+” จะพิจารณาเฉพาะค่าบวกเท่านั้น

$$CDDs_{Monthly} = \sum_{i=1}^{n \text{ Days}} CDDs_{Daily.i} \quad (2)$$

สมการ (2) ใช้คำนวณ CDDs รายเดือน ($CDDs_{Monthly}$) โดยนำค่า $CDDs_{Daily,i}$ จากสมการ (1) ของทุกวันในเดือนนั้นมารวมกัน โดยที่ n คือจำนวนวันจริงของแต่ละเดือน (28 หรือ 29 วันสำหรับเดือนกุมภาพันธ์ และ 30 หรือ 31 วันสำหรับเดือนอื่น) ทั้งนี้ในช่วงข้อมูลดังกล่าว มีปีอธิกสุรทิน 2 ปี ได้แก่ 2020 และ 2024 ซึ่งเดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน

$$CDDs_{Yearly} = \sum_{i=1}^{12 \text{ Months}} CDDs_{Monthly,i} \quad (3)$$

สมการ (3) ใช้คำนวณ CDDs รายปี ($CDDs_{Yearly}$) โดยนำค่า $CDDs_{Monthly}$ จากสมการ (2) ทั้ง 12 เดือน มารวมกัน

$$CDDs_{5 \text{ Yearly average}} = \frac{\sum_{i=Year \ 2020}^{Year \ 2024} CDDs_{Yearly,i}}{5} \quad (4)$$

สมการ (4) ใช้คำนวณ CDDs เฉลี่ย 5 ปี ($CDDs_{5 \text{ Yearly average}}$) ระหว่างปี 2020-2024 โดยใช้ค่า $CDDs_{Yearly,i}$ (ระหว่างปี 2020-2024) จากสมการ (3) มาหาค่าเฉลี่ย 5 ปี และใช้ค่าที่ได้จากสมการ (4) นี้สำหรับนำไปใช้เพื่อออกแบบคำนวณกันความร้อนที่เหมาะสม

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันระหว่างปี 2020-2024 และระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลจากสถานีตรวจอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา [17] โดยเลือก 6 จังหวัดเป็นตัวแทนของแต่ละภูมิภาค ได้แก่ เชียงใหม่ (เหนือ) ขอนแก่น (ตะวันออกเฉียงเหนือ) กาญจนบุรี (ตะวันตก) กรุงเทพมหานคร (กลาง) ชลบุรี (ตะวันออก) และสงขลา (ใต้) โดยใช้อุณหภูมิฐาน 25 °C ช่วงเวลา 5 ปี (ปี 2020-2024) ได้รับการคัดเลือกด้วยเหตุผล 2 ประการ ได้แก่ 1) ช่วงเวลาดังกล่าวครอบคลุมทั้งปรากฏการณ์ลานีญา (ปี 2020-2022) และเอลนีโญ (ปี 2023-2024) [18] ทำให้ค่าเฉลี่ย CDDs สะท้อนความผันผวนของสภาพภูมิอากาศได้ครบถ้วนทั้งสองทิศทาง และ 2) สอดคล้องกับแนวปฏิบัติสากลด้านการออกแบบอาคารที่แนะนำให้ใช้ข้อมูลอย่างน้อย 5 ปี เพื่อลดการเบี่ยงเบนจากสภาพอากาศของปีใดปีหนึ่งและสะท้อนแนวโน้มอุณหภูมิในปัจจุบันได้ดีกว่าค่าเฉลี่ยระยะยาว

การเลือกจังหวัดตัวแทนพิจารณาจากความหนาแน่นประชากร (คน/ตร.กม.) สูงสุดของแต่ละภูมิภาคเป็นหลัก ดังแสดงในตารางที่ 1 ด้วยเหตุผล 3 ประการ ได้แก่ 1) พื้นที่ความหนาแน่นสูงมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณรอบข้าง 1-3 °C จาก Urban Heat Island Effect [19] ซึ่งส่งผลต่อค่า CDDs

โดยตรง 2) ความหนาแน่นประชากรสะท้อนปริมาณอาคารและความต้องการพลังงานปรับอากาศต่อพื้นที่ได้ดีกว่าจำนวนประชากรรวม และ 3) จังหวัดตัวแทนครอบคลุมระดับความสูงที่หลากหลายตั้งแต่ 2 เมตร (กรุงเทพมหานคร) ถึง 314 เมตร (เชียงใหม่) ทำให้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงกับ CDDs มีความครอบคลุมเพียงพอ

ตารางที่ 1 จังหวัดตัวแทนภูมิภาค ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล และความหนาแน่นประชากร

ภูมิภาค	จังหวัดตัวแทน	ความสูง (ม.)	ความหนาแน่นประชากร (คน/ตร.กม.) [20,21]	เหตุผลหลักในการเลือก
เหนือ	เชียงใหม่	314	89.4	ความหนาแน่นสูงสุด ศูนย์กลางเศรษฐกิจ
ตะวันออก เฉียงเหนือ	ขอนแก่น	157	163.5	ความหนาแน่นสูงสุด ศูนย์กลางการศึกษา/สุขภาพ
ตะวันตก	กาญจนบุรี	40	45.9	ความหนาแน่นสูงสุด ครอบคลุมพื้นที่ราบสูง
กลาง	กรุงเทพฯ	2	3,487.4	ความหนาแน่นสูงสุดประเทศ (UHI)
ตะวันออก	ชลบุรี	9	371.0	ความหนาแน่นสูงสุด ศูนย์กลาง EEC
ใต้	สงขลา	7	193.7	ความหนาแน่นสูงสุด ศูนย์กลางภาคใต้ตอนล่าง

2.3 การคำนวณ CDDs เฉลี่ยรวมของประเทศ

การคำนวณ CDDs เฉลี่ยรวมของประเทศ (CDDs National) ใช้สมการที่ (5) โดยนำค่า CDDs เฉลี่ย 5 ปีของแต่ละภูมิภาคมาเฉลี่ยแบบเท่ากัน (Simple Average) ดังนี้

$$CDDs \text{ National} = \frac{1}{6} \sum_{r=1}^6 CDDs_{5yr,r} \quad (5)$$

เมื่อ r คือ ภูมิภาค ($r = 1$ ถึง 6) ทั้งนี้การใช้ Simple Average มีเหตุผลเนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้จังหวัดตัวแทน 1 จังหวัดต่อภูมิภาค

2.4 การวิเคราะห์เชิงสถิติ

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางภูมิศาสตร์กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและ CDDs ของแต่ละภูมิภาค จะใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นโดยใช้สมการดังนี้

$$Y = aX + b \quad (6)$$

โดยที่ Y = ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย หรือ CDDs, X = ความสูงเฉลี่ยจากระดับน้ำทะเล (เมตร), a = สัมประสิทธิ์ความชัน, b = ค่าคงที่

การวิเคราะห์ทำได้ด้วยโปรแกรม Excel Data Analysis เพื่อหาค่า R^2 , t-statistic และ p-value โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดตัวแทน 6 ภูมิภาคลงในตารางข้อมูล และใช้ระดับเฉลี่ยเพื่อแสดง CDDs ตามช่วงค่าที่คำนวณได้ โดยตั้งค่ามาตราสวให้สอดคล้องกับช่วงค่าของ CDDs เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน

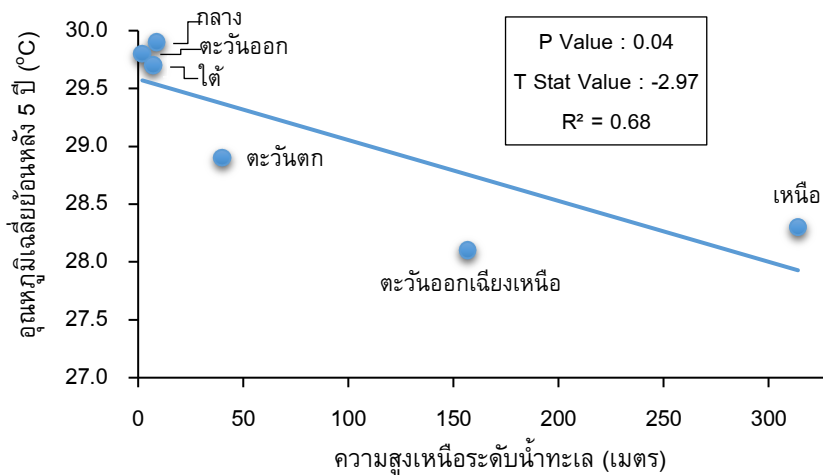
3. ผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันระหว่างปี 2020-2024 และระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของสถานีตรวจอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา [17] มาหาความสัมพันธ์ด้านต่าง ๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล และอุณหภูมิเฉลี่ย 5 ปี (ปี 2020-2024) ของแต่ละภูมิภาค

ภูมิภาค	ความสูงเหนือน้ำทะเล (เมตร)	อุณหภูมิ (°C) เฉลี่ย ระหว่างปี 2020-2024
เหนือ	314	28.3
ตะวันออกเฉียงเหนือ	157	28.1
ตะวันตก	40	28.9
กลาง	2	29.8
ตะวันออก	9	29.9
ใต้	7	29.7

ข้อมูลในตารางที่ 2 เมื่อนำมาวิเคราะห์ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือน้ำทะเล (เมตร) และอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) เฉลี่ยระหว่างปี 2020-2024 ดังนี้ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 29.8°C 29.9°C และ 29.7°C ตามลำดับ ในขณะที่ภูมิภาคที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมากกว่าเช่น ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าที่ 28.3°C และ 28.1°C ซึ่งเป็นผลมาจากภูมิภาคที่มีความสูงใกล้เคียงระดับน้ำทะเลนั้น จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าภูมิภาคที่มีระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลที่มากกว่า



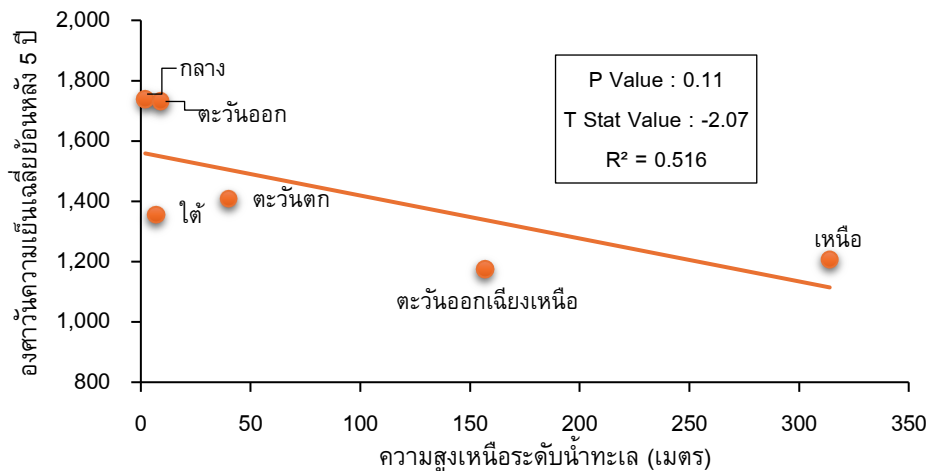
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความสูงเหนือระดับน้ำทะเลกับอุณหภูมิเฉลี่ย 5 ปี (ปี 2020-2024) ของภูมิภาค

รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติแบบถดถอยเชิงเส้นแสดงให้เห็นแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลและอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างปี 2020-2024 โดยใช้ Excel Data Analysis นั้นได้ค่า $p\text{-value} < 0.04$, $t\text{-statistic} = -2.97$ และค่า $R^2 = 0.68$ และจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นตามสมการที่ (6) ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลกับอุณหภูมิเฉลี่ย ดังนี้ $T = -0.0053X + 29.58$ เมื่อ T คืออุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$) และ X คือระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (เมตร) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความชัน $a = -0.0053$ และค่าคงที่ $b = 29.58$ บ่งชี้ว่าเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น 1 เมตร อุณหภูมิเฉลี่ยจะลดลง 0.0053°C ตามรูปที่ 1 บ่งชี้ว่าระดับความสูงเหนือน้ำทะเลมีอิทธิพลอย่างมีนัยทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกล่าวคือ เมื่อภูมิภาคที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 2 มาคำนวณหา CDDs โดยใช้สมการที่ (1)-(4) และใช้อุณหภูมิฐานที่ 25 °C ตามมาตรฐาน ASHRAE [3] ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3 พบว่าภาคกลางและตะวันออกมีค่าเฉลี่ย CDDs สูงที่สุดคือ 1739 และ 1732 รองลงมาคือภาคตะวันตก 1409 และภาคใต้ 1355 ในขณะที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าเฉลี่ยดัชนี CDDs ต่ำสุดคือ 1206 และ 1175 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ข้อมูลความสูงเหนือระดับน้ำทะเลและ CDDs ของภูมิภาค

ภูมิภาค	ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (เมตร)	CDDs เฉลี่ย 5 ปี (ปี 2020-2024)
เหนือ	314	1206
ตะวันออกเฉียงเหนือ	157	1175
ตะวันตก	40	1409
กลาง	2	1739
ตะวันออก	9	1732
ใต้	7	1355



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความสูงเหนือระดับน้ำทะเลกับ CDDs เฉลี่ย 5 ปี (ปี 2020-2024) ของแต่ละภูมิภาค

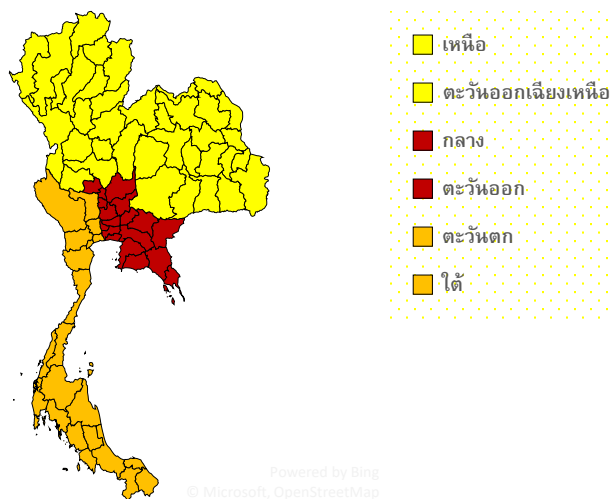
จากรูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือระดับน้ำทะเล และ CDDs เฉลี่ย 5 ปี (ปี 2020-2024) ของภูมิภาค ผลการวิเคราะห์พบความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบปานกลาง $p\text{-value} = 0.11$, $t\text{-stat} = -2.07$ และ $R^2 = 0.51$

จากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นตามสมการที่ (6) ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลกับ CDDs ดังนี้ $CDDs = -1.4242X + 1561.57$ เมื่อ CDDs ($^{\circ}\text{C}$ วัน) และ X คือระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (เมตร) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความชัน $a = -1.4242$ และค่าคงที่ $b = 1561.57$ บ่งชี้ว่าเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น 1 เมตร CDDs จะลดลง 1.42°C วัน บ่งชี้ว่ายิ่งภูมิภาคที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมากกว่าจะมีแนวโน้ม CDDs ลดลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Amber et al [9] ที่สร้างแผนที่ CDDs ของประเทศปากีสถานในพื้นที่ที่มีช่วงความสูงกว้างตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึง 2,656 เมตร พบว่าพื้นที่ระดับต่ำมีค่า CDDs สูงกว่าพื้นที่ระดับสูงถึง 8 เท่า ในขณะที่งานวิจัยนี้มีช่วงความสูงของพื้นที่ศึกษาเพียง 2-314 เมตร ซึ่งแคบกว่ามาก จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ค่า R^2 ของงานวิจัยนี้ต่ำกว่า

อย่างไรก็ตาม พบว่าบางภูมิภาคมีค่าเบี่ยงเบนจากแนวโน้มของแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ภาคตะวันออกและภาคใต้มีความสูงใกล้เคียงกันแต่มีค่า CDDs ต่างกันถึง 377°C วัน ในขณะที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความสูงต่างกันเกือบ 2 เท่าแต่มีค่า CDDs ใกล้เคียงกัน สะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยภูมิอากาศเฉพาะถิ่นมีอิทธิพลต่อค่า CDDs นอกเหนือจากระดับความสูงและยืนยันความจำเป็นในการใช้แบบจำลองตัวแปรพหุในงานวิจัยอนาคต

ค่า $R^2 = 0.68$ และ 0.51 จากรูปที่ 1 และรูปที่ 2 บ่งชี้ว่าระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลอธิบายความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยและค่า CDDs ได้ร้อยละ 68 และ 51 ตามลำดับ ซึ่งยอมรับได้สำหรับการถดถอยที่ใช้ตัวแปรเดียว เนื่องจากสภาพภูมิอากาศจริงยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น เช่น ระยะห่างจากทะเล ทิศทางลม และ Urban Heat Island Effect [19] เมื่อเทียบกับ Amber et al [9] ที่ใช้ข้อมูล 30 ปีจาก 30 สถานีในปากีสถาน ได้ $R^2 = 0.93$ และ 0.78 สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยและ CDDs ตามลำดับ ค่า R^2 ของงานวิจัยนี้ต่ำกว่าเนื่องจากใช้เพียง 6 จังหวัดตัวแทน อย่างไรก็ตาม ยังสะท้อนแนวโน้มเชิงลบระหว่างระดับความสูงและ CDDs สอดคล้องกับงานวิจัยนานาชาติ และการเพิ่มสถานีตรวจวัดในอนาคตจะช่วยให้ R^2 แม่นยำขึ้น ค่า R^2 ที่ต่ำกว่าที่คาดมีสาเหตุหลักจาก 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงกับ CDDs อาจไม่是一条ตรงในทุกช่วง โดย Mourshed et al [22] พบว่าแบบจำลองไม่เชิงเส้นที่รวมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิและละติจูดจาก 5,511 สถานีทั่วโลกให้ R^2 สูงถึง 0.99 2) ช่วงความสูงของจังหวัดตัวแทนในไทยแคบ (2-314 เมตร) เทียบกับ Amber et al [9] ที่ครอบคลุมกว่า 2,000 เมตร ทำให้ข้อมูลไม่เพียงพอต่อการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน และ 3) ปัจจัยภูมิอากาศเฉพาะถิ่น เช่น มรสุม ความชื้นจากอ่าวไทยและอันดามัน และ Urban Heat Island Effect [19] ทำให้ความสัมพันธ์ซับซ้อนเกินกว่าแบบจำลองตัวแปรเดียวจะอธิบายได้ครบถ้วน จากวรรณกรรมที่

เกี่ยวข้องพบว่ามีแบบจำลองที่อธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดีกว่าเส้นตรง โดย Mourshed et al [22] พบว่าแบบจำลองไม่เชิงเส้นให้ R^2 สูงถึง 0.99 อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการจัดทำแผนที่ CDDs ของประเทศไทย การเปรียบเทียบโมเดลหลายรูปแบบจึงอยู่นอกเหนือขอบเขต และผู้วิจัยได้ระบุไว้เป็นทิศทางสำหรับงานวิจัยอนาคตในส่วนผลการทดลองแล้ว 4) การเลือกจังหวัดตัวแทนเพียง 1 จังหวัดต่อภูมิภาคโดยพิจารณาจากความหนาแน่นประชากรสูงสุด ทำให้ปัจจัยด้านลักษณะการใช้ที่ดินและความเป็นเมือง เช่น กิจกรรมการจราจรและความร้อนจากการระบายความร้อนของระบบปรับอากาศปรากรวม (confound) กับผลของระดับความสูง โดยเฉพาะกรณีกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นทั้งจังหวัดที่มีระดับความสูงต่ำที่สุดและมีความเป็นเมืองสูงที่สุดในกลุ่มข้อมูล ทำให้ผลการถดถอยเชิงเส้นที่ได้ยังไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างระดับความสูงและค่า CDDs ได้อย่างชัดเจน งานวิจัยในอนาคตจึงควรเพิ่มจำนวนจังหวัดตัวแทนต่อภูมิภาคให้มากกว่า 1 จังหวัด และคัดเลือกพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้ที่ดินและระดับความเป็นเมืองใกล้เคียงกัน เพื่อควบคุมปัจจัยกวนดังกล่าวและเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น



รูปที่ 3 แผนที่ CDDs ของประเทศไทย

จากรูปที่ 3 แผนที่ CDDs ของประเทศไทยเฉลี่ย 5 ปี โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3 นำมากำหนดเขตสี ให้สอดคล้องกับช่วงของ CDDs เฉลี่ย 5 ปี ได้ดังต่อไปนี้

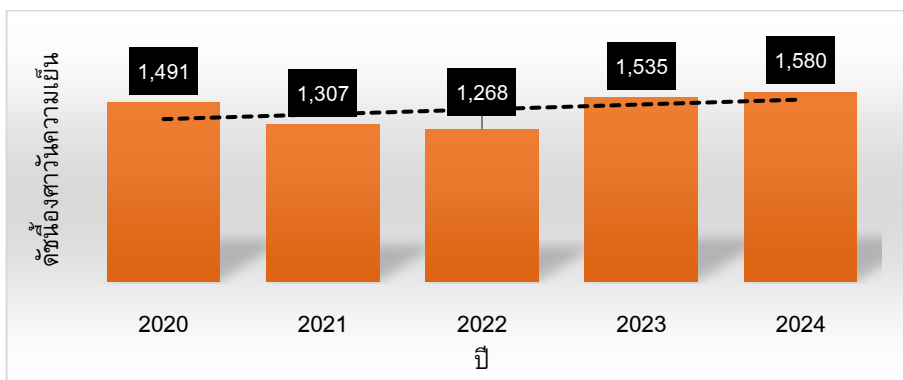
1) สีเหลือง แทน CDDs เฉลี่ย 5 ปี ช่วง 1150-1299 โดยภูมิภาคที่มี CDDs เฉลี่ย 5 ปีอยู่ในช่วงนี้ได้แก่ ภาคเหนือ มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี เฉลี่ย 1206 และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี เฉลี่ย 1175 มีปัจจัยจากภาคภูมิอากาศดังกล่าวมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมากที่สุดเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่น

2) สีส้มอ่อน แทน CDDs เฉลี่ย 5 ปี ช่วง 1300-1449 โดยภูมิภาคที่มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี อยู่ในช่วงนี้ ได้แก่ ภาคตะวันตก มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี เฉลี่ย 1409 และภาคใต้ มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี เฉลี่ย 1355 มีปัจจัยจากภาคภูมิภาสดังกล่าวมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่น

3) สีแดง แทน CDDs เฉลี่ย 5 ปี ช่วง 1600-1799 โดยภูมิภาคที่มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี อยู่ในช่วงนี้ ได้แก่ ภาคกลาง มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี เฉลี่ยสูงสุดของประเทศ เท่ากับ 1739 และภาคตะวันออก มี CDDs เฉลี่ย 5 ปี เฉลี่ยใกล้เคียงกับภาคกลาง เท่ากับ 1732 มีปัจจัยจากภาคภูมิภาสดังกล่าวมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่น

การกระจายตัวของค่า CDDs ในรูปที่ 3 สะท้อนให้เห็นว่าภูมิภาคที่อยู่ในระดับต่ำกว่ามีค่า CDDs สูงกว่า สอดคล้องกับ Amber et al [9] อย่างไรก็ดี ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบกันในภูมิภาคหรือพื้นที่ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งถือเป็นช่องว่างทางการวิจัยสำหรับงานวิจัยในอนาคต

CDDs เฉลี่ย 5 ปี (ปี 2020-2024) ในตารางที่ 3 คือค่าเดียวกับที่แนะนำให้นำไปใช้สำหรับออกแบบคำนวณกันความร้อนที่เหมาะสมของแต่ละภูมิภาค สอดคล้องกับงานวิจัยของ Verichev et al [5] ที่นำ CDDs ไปคำนวณหาความหนาแน่นที่เหมาะสม ที่ประยุกต์ใช้ค่าดัชนีองศาวันความร้อนและความเย็นโดยวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life-Cycle Cost Analysis: LCCA) เพื่อหาความหนาแน่นโพลีโพลีสไตรีนอัด (EPS) ที่เหมาะสมของผนังอาคารในภูมิภาคเมดิเตอร์เรเนียนและกึ่งแห้งแล้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า CDDs เป็นตัวชี้วัดสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับใช้คำนวณความหนาแน่นกันความร้อนที่เหมาะสมในกระบวนการออกแบบอาคาร สำหรับบริบทของประเทศไทย ค่า CDDs ในตารางที่ 3 สามารถใช้จัดกลุ่มภูมิภาคตามระดับภาระความร้อนเพื่อปรับเกณฑ์ OTTV/RTTV ภายใต้มาตรฐาน Building Energy Code (BEC) [23] ให้เหมาะสมกับแต่ละภูมิภาคมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของ CDDs เฉลี่ยรวมของประเทศไทย ปี 2020-2024

รูปที่ 4 คำนวณจากค่าเฉลี่ยแบบเท่ากัน (Simple Average) ของ 6 ภูมิภาค ตามสมการที่ (5) สอดคล้องกับโครงสร้างข้อมูลที่ใช้จังหวัดตัวแทน 1 จังหวัดต่อภูมิภาค ทั้งนี้งานวิจัยอนาคตอาจพิจารณาใช้การถ่วงน้ำหนักตามพื้นที่หรือประชากรเพื่อความแม่นยำยิ่งขึ้น พบว่าปี 2020 มีค่า 1491 และลดลงในปี 2021-2022 การลดลงของ CDDs นั้น เป็นผลจากปรากฏการณ์ลานีญา ในช่วงปี 2021-2022 ซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนต่ำกว่าปกติ ส่งผลให้ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีปริมาณฝนมากกว่าปกติและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยลดลง Thai Meteorological Department. [24] ก่อนที่ค่า CDDs จะกลับมาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปี 2023-2024 โดยมีค่าสูงสุดในปี 2024 เท่ากับ 1580°C วัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 เมื่อเทียบกับปี 2020

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ผลลัพธ์จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิเฉลี่ย และดัชนี CDDs กับ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ทำแผนที่ CDDs และการเปลี่ยนแปลงของ CDDs เฉลี่ยรวมเพื่อจัดทำ ข้อมูลและแผนที่ CDDs ของประเทศไทยที่ใช้ข้อมูลเป็นปัจจุบัน ครอบคลุมทั้ง 6 ภูมิภาค โดยใช้ อุณหภูมิฐาน 25°C ซึ่งเหมาะสมกับสภาวะความสบายของมนุษย์ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 [14] โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันย้อนหลัง 5 ปี (ปี 2020-2024) จากกรมอุตุนิยมวิทยา [17] สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

1) ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลนั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของภูมิภาค โดยภาคที่อยู่เขตรอบลุ่ม เช่น ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่าอุณหภูมิเฉลี่ย สูงที่สุด และภาคที่อยู่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมากกว่า เช่น ภาคเหนือและภาค ตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าต่ำที่สุด

2) ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลนั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ CDDs ของภูมิภาค สอดคล้องกับงานวิจัยของ Amber et al [9] โดยภาคที่อยู่เขตรอบลุ่ม เช่น ภาคกลางและภาค ตะวันออกเฉียงเหนือค่าสูงที่สุด และภาคที่อยู่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมากกว่า เช่น ภาคเหนือและ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าต่ำที่สุด

3) การกระจายของดัชนี CDDs ของประเทศไทยในภูมิภาค พบว่าภาคเหนือและ ตะวันออกเฉียงเหนือมี CDDs ต่ำที่สุด ภาคใต้และตะวันตกอยู่ระดับปานกลาง และภาคกลางและ ตะวันออกมีค่าสูงที่สุด

4) ค่าการเปลี่ยนแปลงของ CDDs เฉลี่ยรวมของประเทศไทย พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตลอดช่วง 5 ปี (ปี 2020-2024) ที่ผ่านมา สอดคล้องกับการเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจาก 1.5°C เป็น 2.0°C ทำให้ CDDs เพิ่มขึ้น [4, 6] ส่งผลให้มีความต้องการใช้พลังงานในภาคอาคารเพิ่มสูงขึ้นส่วนใหญ่ใช้กับ ระบบปรับอากาศ คิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 ของการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารภาครัฐทั้งหมด [2]

5) CDDs สำหรับนำไปใช้เพื่อออกแบบฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม ผลลัพธ์ของงานวิจัยฉบับนี้ สามารถนำ CDDs สำหรับนำไปใช้เพื่อออกแบบฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมของแต่ละภูมิภาค สอดคล้องกับงานวิจัยของ Verichev et al [5] ที่ได้นำค่า CDDs ไปคำนวณหาความหนาของฉนวนที่เหมาะสม โดยภูมิภาคที่มีค่า CDDs สูง เช่น ภาคกลางและภาคตะวันออก ควรพิจารณาเพิ่มความหนาฉนวนและกำหนดเกณฑ์ OTTV/RTTV ตามมาตรฐาน BEC [23] ให้เข้มงวดกว่าภูมิภาคที่มีค่า CDDs ต่ำ

6) งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดด้านการเลือกจังหวัดตัวแทนเพียง 1 จังหวัดต่อภูมิภาค ซึ่งปัจจัยด้านความเป็นเมืองอาจส่งผลร่วมกับระดับความสูงดังที่กล่าวในหัวข้อ 3 งานวิจัยในอนาคตจึงควรเพิ่มจำนวนจังหวัดตัวแทนต่อภูมิภาคและคัดเลือกพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้ที่ดินใกล้เคียงกัน เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างระดับความสูงและค่า CDDs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลประกอบการวางแผนอนุรักษ์พลังงานและการออกแบบระบบปรับอากาศของอาคารประหยัดพลังงาน รวมถึงเป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการพลังงานของประเทศได้

References

- [1] Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings* 2008;40(3):394-98.
- [2] Bureau of Energy Regulation and Conservation, Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). Prototype energy-saving government building manual [Internet]. Bangkok: Ministry of Energy; 2015 [cited 2026 Aug 2]. Available from: <http://berc.dede.go.th/wp-content/uploads/2018/05/GuideLine-SPD57.pdf> (In Thai).
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Degree day [Internet]. ASHRAE terminology; [cited 2025 Oct 12]. Available from: <https://terminology.ashrae.org/?entry=degree%20day>.
- [4] Miranda ND, Lizana J, Sparrow S, Zachau-Walker M, Watson P, Wallom D, et al. Change in cooling degree days with global mean temperature rise increasing from 1.5 °C to 2.0 °C. *Nature Sustainability* 2023;6:1326-30. doi: 10.1038/s41893-023-01155-z.
- [5] Verichev K, Serrano-Jimenez A, Carpio M, Barrios-Padura A, Diaz-Lopez C. Influence of degree days calculation methods on the optimum thermal insulation thickness in life-cycle cost analysis for building envelopes in Mediterranean and semi-arid climates. *Journal of Building Engineering* 2023;79:107783. doi: 10.1016/j.jobbe.2023.107783.

- [6] Thakur R, Kumar A. Degree days dynamics under extreme representative concentration pathways (RCPs) scenarios in the Indian context. *Energy and Buildings* 2025;348:116459. doi: 10.1016/j.enbuild.2025.116459.
- [7] Cros S, Drobinski P, Giraudet LG, Meulemans J. The comparative influence of climate change and demography in spatially distributed degree-day projections for France in the 21st century. *Climate Services* 2025;37:100539. doi: 10.1016/j.cliser.2024.100539.
- [8] Tringa E, Tolika K, Anagnostopoulou Ch, Kostopoulou E. Assessing future changes in heating and cooling degree days using multiple base temperatures for cultural heritage sites in Greece: a case study of Thessaloniki and Delphi. *Science of The Total Environment* 2025;977:179352. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.179352.
- [9] Amber KP, Aslam MW, Ikram F, Kousar A, Ali HM, Akram N, et al. Heating and cooling degree-days maps of Pakistan. *Energies* 2018;11(1):94.
- [10] Liu Y, Wen Z, Lyu K, Yang L, et al. Introducing degree days to building thermal climatic zoning in China. *J Therm Sci.* 2023;32(3):1155-1170. doi: 10.3390/en11010094.
- [11] Mehmood S, Amber KP, Usman M, Friedrich D. Integrating latent load into the cooling degree days concept for current and future weather projections. *Buildings* 2024;14(1):106. doi: 10.3390/buildings14010106.
- [12] Mehmood S, Lizana J, Núñez-Peiró M, Maximov SA, Friedrich D. Resilient cooling pathway for extremely hot climates in Southern Asia. *Applied Energy* 2022;325:119811. doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119811.
- [13] Assawamartbunlue K. An investigation of cooling and heating degree-hours in Thailand. *Journal of Clean Energy Technologies* 2013;1(2):87-90. doi: 10.7763/JOCET.2013.V1.21.
- [14] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). ANSI/ASHRAE Standard 55-2013. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE; 2013.
- [15] Yamtraipat N, Khedari J, Hirunlabh J, Kunchornrat J. Assessment of Thailand indoor set-point impact on energy consumption and environment. *Energy Policy* 2006;34(7):765-77. doi: 10.1016/j.enpol.2004.07.009.
- [16] Energy Policy and Planning Office. 9 ways to use air conditioners to save energy [Internet]. Bangkok: Ministry of Energy; 2024 [cited 2025 Oct 12]. Available from: https://e-report.energy.go.th/EPPO_files/doc-01.pdf. (In Thai).

- [17] Thai Meteorological Department (TMD). Daily temperature statistics of Thailand 2020-2024. Bangkok: Thai Meteorological Department; 2025.
- [18] World Meteorological Organization (WMO). State of the global climate 2023. Geneva: WMO; 2024.
- [19] Akbari H, Pomerantz M, Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* 2001;70(3):295-310.
- [20] Central Registration Office, Department of Provincial Administration, Ministry of Interior. Announcement of total population throughout the kingdom according to household registration evidence as of December 31, 2023 [Internet]. Bangkok: Ministry of Interior; 2024 [cited 2026 Jun 11]. Available from: https://stat.bora.dopa.go.th/stat/pk/pk_66.pdf. (In Thai)
- [21] Department of Provincial Administration, Ministry of Interior. Area classified by region and province, B.E. 2555-2566 (2012–2023). Bangkok: Ministry of Interior; [date unknown].
- [22] Mourshed M. Relationship between annual mean temperature and degree-days. *Energy and Buildings* 2012;54:418-25. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.07.024.
- [23] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Building energy code (BEC) standard according to ministerial regulations prescribing types or sizes of buildings and standards, criteria, and methods for building design for energy conservation B.E. 2563 [Internet]. Bangkok: Ministry of Energy; 2020 [cited 2026 Jun 14]. Available from: <https://bec.dede.go.th>. (In Thai)
- [24] Thai Meteorological Department. Thailand climate report 2022 [Internet]. Bangkok: Thai Meteorological Department; 2022 [cited 2025 Oct 12]. Available from: <https://tmd.go.th/climate/summaryyearly>. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



อภิวัดน์ ชัยสุกัญญาสันต์ นักศึกษาปริญญาเอก วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ E-mail: aphiwat.chai@rmutr.ac.th



ผศ.ดร.พงศกร คชาพงศ์กุล ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยผู้อำนวยการ
วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ E-mail: pongsakorn.kerd@mutr.ac.th



ผศ.ดร.ศิริชัย จิรวงศ์สุรณ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองอธิการบดี และ
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ E-mail: sirichai.jir@mutr.ac.th

Article History:

Received: March 19, 2026

Revised: August 3, 2026

Accepted: August 19, 2026