

สภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติและสภาวะน่าสบายในโรงกึ่งเปิดโล่ง:

กรณีศึกษา ศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งในกรุงเทพมหานคร

Natural Environment and Comfort Condition in Semi-Open Atrium:

Case Studies of Semi-Open Shopping Malls in Bangkok

ทรงพล อัดถาการ¹

Received: July 1, 2019

Revised: September 20, 2019

Accepted: October 15, 2019

บทคัดย่อ

“ศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง” เป็นหนึ่งในรูปแบบสถาปัตยกรรมผังพาณิชยกรรมที่น่าดึงดูดใจตามแนวความคิดร่วมสมัย “กรีนไลฟ์สไตล์มอลล์” รูปแบบประกอบด้วย โรงกึ่งเปิดโล่งส่วนกลางไม่ปรับอากาศซึ่งถูกโอบล้อมด้วยร้านค้าย่อย มีหลังคาช่วงกว้างเพื่อป้องกันฝน ลดความร้อน และรับแสงธรรมชาติ มีช่องเปิดขนาดใหญ่เพื่อระบายอากาศธรรมชาติ และมีสวนหย่อมเป็นจุดพักผ่อนของชุมชน การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติและสภาวะน่าสบายภายในศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งใน 4 ด้านคือ 1) ความร้อน 2) ลมธรรมชาติ 3) แสงธรรมชาติ และ 4) พื้นที่สีเขียว โดยมีกลุ่มตัวอย่าง 8 กรณีศึกษาจากประชากร 50 โครงการ วิธีการวิจัยประกอบด้วยการสำรวจอาคารและทดสอบอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และความสว่างภายใน ณ สถานที่จริงในช่วงฤดูร้อน วิเคราะห์ระดับคุณภาพของสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติ และหาค่าสภาวะน่าสบายตามมาตรฐาน ASHRAE 55-2017

ผลการวิจัยพบว่า มีการศึกษา 3 ใน 8 แห่งอยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้ และมีผลค่าเฉลี่ยปานกลางดัชนีสภาวะแวดล้อมดังนี้ ค่าผลต่างอุณหภูมิภายในกับภายนอกที่ -1.15°C ค่ากลางการแผ่รังสีความร้อนที่ 32.45°C ค่าอุณหภูมิที่รับรู้ที่ 32.54°C ค่าประสิทธิภาพความเร็วลมที่ 41 % ค่าประสิทธิภาพแสงธรรมชาติที่ 20 % และสัดส่วนพื้นที่สีเขียวที่ 15 % โดยผู้วิจัยได้อภิปรายถึงจุดเด่น-จุดด้อยของแต่ละกรณีศึกษา เสนอแนวทางในการออกแบบโดยศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งควรมีคุณภาพรูปแบบและสมรรถภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ยปานกลางของกรณีศึกษา ได้แก่ 1) ควรลดความร้อนจากภายนอกได้ดี 2) ควรมีช่องเปิดเพื่อการรับลมธรรมชาติที่ดี 3) ควรรับแสงธรรมชาติที่เพียงพอและเหมาะสม 4) ควรมีพื้นที่สีเขียวที่พอเพียงต่อบรรยากาศกึ่งภายนอก

คำสำคัญ: สภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติ สภาวะน่าสบาย ความเร็วลม ประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ ศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง

Abstract

“Semi-open shopping malls” is one of sustainable architecture types with an attractive contemporary concept of “Green Lifestyle Mall”. An atrium inside the mall is a non-air-conditioning public space enclosed by retail shops. The atrium is covered by a wide-span roof to protect rain and reduce heat-gain, and this also allows natural sunlight to enter the building. The large opening of the mall is opened for natural ventilation. The atrium also contains attractive gardens and public recreation areas. This research aims to study the performances of the

¹ ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

building by evaluating the natural qualities and the comfort conditions of the atrium environment. The research focused on four main factors 1) heat, 2) ventilation, 3) sunlight, and 4) green areas. There were eight case-studies selected from fifty projects. The methodology starts with measuring the temperature, humidity, wind speed, and illumination on-site in summer. Later, the data were analyzed and transformed into the natural environmental indices and thermal comfort indicator complied with ASHRAE Standard 55-2017.

In summary, the findings reveal that 3 out of 8 case studies were in acceptable comfort zones. Results of the average environmental indices were as follows: The different temperature inside-outside was -1.15°C . The mean radiation temperature was 32.45°C . The operative temperature was 32.54°C . The efficiency of air velocity was 41 %. The daylight factor was 20 %, and the percentage of the green area was 15 %. The strengths and weaknesses of the case study performances were discussed. The design guidelines recommend that semi-open shopping malls should provide the above-average qualities of natural environment in the following issues: 1) reducing heat gain, 2) providing good natural ventilation, 3) providing adequate sunlight, and 4) providing enough green areas.

Keywords: Natural Environment, Thermal Comfort, Air Velocity, Daylight Factor, Semi-Open Shopping Mall

1. บทนำ

“ศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง” (Semi-Open Shopping Mall) เป็นรูปแบบอาคารผังพาณิชยกรรมชนิดหนึ่งที่ทำลายต่อสภาพอากาศที่ร้อนชื้นในกรุงเทพมหานคร โดยมีรูปแบบที่เป็นที่นิยมตามแนวคิดร่วมสมัย “รูปแบบวิถีชีวิตสีเขียว” (Green Lifestyle) ซึ่งเกิดขึ้นจำนวนมากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา รูปแบบอาคารประกอบด้วย 1) โถงกึ่งเปิดโล่งที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ 2) ปกคลุมด้วยหลังคาป้องกันฝน ลดความร้อนจากแดด และเปิดรับแสงธรรมชาติ 3) โถงกลางถูกโอบล้อมด้วยแนวร้านค้าสลับกับช่องเปิดรับลมธรรมชาติ 4) มีสวนหย่อมผสมผสานกับพื้นที่ส่วนกลางที่ร่มรื่น โดยศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งแนว “กรีนไลฟ์สไตล์มอลล์” มีคุณค่าและลักษณะเด่น คือ 1) มีรูปแบบอาคารเพื่อความยั่งยืน 2) มีลักษณะสภาพแวดล้อมเชิงธรรมชาติ 3) มีรูปแบบที่ส่งเสริมสภาวะน่าสบายตามธรรมชาติ 4) ตอบสนองพื้นที่สีเขียวกึ่งเปิดโล่งแก่ชุมชน 5) มีภาพลักษณ์ที่สร้างสรรค์เฉพาะตัวเป็นจุดดึงดูดของโครงการ

ศูนย์การค้าแบบกึ่งเปิดโล่งสามารถลดพื้นที่สิ้นเปลืองพลังงานในพื้นที่ส่วนกลางได้เป็นอย่างมาก จากสถิติศูนย์การค้าแบบปิดมีสัดส่วนการใช้พลังงานในปริมาณมาก ได้แก่ ระบบปรับอากาศ 53.7% และระบบแสงสว่าง 19.6% ของการใช้พลังงานทั้งหมดของศูนย์การค้า โดยมีดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยถึง $204.2\text{ kWh/yr}\cdot\text{m}^2$ (กรมพัฒนาพลังงานฯ, 2558) ซึ่งโถงและทางเดินส่วนกลางที่ปรับอากาศของศูนย์การค้าทั่วไปมีสัดส่วนถึง 40-60 % ของพื้นที่อาคาร ดังนั้นจึงสามารถประหยัดพลังงานได้มาก

คำถามการวิจัยที่เกิดขึ้นกับรูปแบบศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งนี้ ได้แก่ อาคารประหยัดพลังงานนี้สามารถรับมือกับอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกที่ร้อนจัดในช่วงฤดูร้อนได้มากน้อยเพียงใด โถงกึ่งเปิดโล่งมีคุณภาพสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติในระดับใด สามารถสร้างสภาวะสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้หรือไม่ และมีเทคนิคในการส่งเสริมคุณภาพอย่างไรบ้าง จึงเป็นที่มาในการศึกษารูปแบบอาคารที่ตอบรับกับปัญหาด้านความร้อน การรับลมธรรมชาติ การรับแสงธรรมชาติ และการมีพื้นที่สีเขียวกึ่งเปิดโล่ง

จากการทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้มองเห็นว่าศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งมีศักยภาพในการสร้างสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติที่ดีและสร้างสภาวะน่าสบายให้เกิดขึ้น โดยการส่งเสริมให้ผู้ใช้อาคารมีโอกาสปรับตัวเข้า

กับสภาวะแวดล้อมทั้งด้านอุณหภูมิและด้านจิตวิทยา โดยในการวิจัยได้วิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงทฤษฎีสภาวะแวดล้อมในกรณีศึกษา ให้ทราบถึงระดับคุณภาพ จุดเด่น-จุดด้อย และแนวทางในการออกแบบ เพื่อการพัฒนารูปแบบศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 ทดสอบสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมภายในกรณีศึกษา เพื่อหาตำแหน่งในขอบเขตสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ
- 2.2 ประเมินระดับคุณภาพของสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติของกรณีศึกษา เพื่อหาจุดเด่น-จุดด้อยและภาพโดยรวม
- 2.3 ให้คำแนะนำแนวทางในการออกแบบอาคารศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง เพื่อส่งเสริมสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติที่ดี

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดการวิจัย

การวิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษารูปแบบอาคารและสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งในกรุงเทพมหานคร ในช่วงฤดูร้อน โดยการทดสอบตรวจวัดสภาวะอากาศภายในโรงกึ่งเปิดโล่ง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ การแผ่รังสีความร้อน และความเร็วลม เพื่อคำนวณหาค่าตำแหน่งอุณหภูมิที่รับรู้ (Operative Temperature) ในขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้แบบปรับตัว (Adaptive Thermal Comfort) และประเมินระดับคุณภาพสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในโรงกึ่งเปิดโล่ง โดยมีขอบเขตการวิจัย ได้แก่ ความร้อน ลมธรรมชาติ แสงธรรมชาติ และพื้นที่สีเขียว เพื่อชี้ให้เห็นถึงจุดเด่น-จุดด้อยและภาพรวมของกรณีศึกษา และให้คำแนะนำแนวทางในการออกแบบศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการวิจัย

งานวิจัยสภาวะน่าสบายแบบปรับตัวเข้ากับสภาวะแวดล้อมในไทย ได้แก่ Khedari et al. (2000) ได้ศึกษาสภาวะสบายของคนไทย พบว่าคนไทยยอมรับอากาศร้อนด้วยการใช้เพียงพัดลมช่วย โดยขอบเขตความสบายในประเทศไทยอยู่ในช่วงอุณหภูมิอากาศ 27.5-35.34 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50-78 % และความเร็วลม 0.2-3.0 m/s สุตาภรณ์ สุดประเสริฐ (2559) ได้ศึกษาพฤติกรรมของคนในห้องไม่ปรับอากาศที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.4 °C พบว่าคนส่วนใหญ่มีวิธีการปรับตัวใน 3 อันดับแรกคือ หาบริเวณที่มีลมที่ดีกว่าหรือเปิดพัดลม ปรับการเคลื่อนไหวให้น้อยลง และดื่มเครื่องดื่มเย็น โดยหลังปรับตัวแล้วมีระดับความพอใจที่ 80.7 % ศศิธร ศรีเพ็ญพุง (2560) พบว่าคนไทยพึงพอใจต่ออุณหภูมิภายในโบสถ์ไทยในช่วง 22.8-33.0 °C ที่ความชื้น 55-70 % โดยรู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 30.95 °C ที่ความชื้นเฉลี่ย 64.12 % ด้วยความศรัทธาและความรู้สึกดีต่อสถานที่ สรุปได้ว่า งานวิจัยทั้ง 3 นี้มีนัยเชิงเปรียบเทียบกับศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งซึ่งเอื้อต่อการปรับตัวเลือกกิจกรรม และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เช่น หาบริเวณที่มีลมพัดแรงหรืออากาศเย็น หาที่นั่งเพื่อพักผ่อน หรือซื้อเครื่องดื่ม รวมกับบรรยากาศร้านค้า ผู้คน และสวนหย่อม ที่ทำให้รู้สึกดี เป็นต้น

ความร้อนและความเร็วลม นับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย ในอดีต Olgay (1963) ได้สร้างแผนภูมิ “ไบโอไคลเมติก” ที่มีขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ควรมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22-28°C และความชื้นในช่วง 20-80% โดยหากมีความเร็วลมก็จะสามารถขยายขอบเขตได้ แต่ไม่ได้แสดงวิธีคำนวณที่ชัดเจน จึงยากต่อการคำนวณในพื้นที่ที่มีสภาวะอากาศร้อนขึ้น ในปัจจุบัน ASHRAE (2017 a) ได้กำหนดค่าอุณหภูมิที่รับรู้ (Operative Temperature) ที่รวมค่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิกลางการแผ่รังสีพื้นผิวโดยรอบ ณ ความเร็วลมหนึ่งไว้ในค่าเดียวกัน โดยไม่มีค่าความชื้นมาเกี่ยวข้องอีกต่อไป และได้มีวิธีหาขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้แบบปรับตัว (Adaptive Method) โดยมีกรอบระดับความพึงพอใจที่ 80% และ 90% ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-2017 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับรูปแบบลักษณะพฤติกรรมของผู้ใช้อาคารในพื้นที่กึ่งเปิดโล่งในเขตร้อนชื้น

แสงธรรมชาติมีประโยชน์มากมาย ได้แก่ แสงช่วยสร้างสุขภาวะที่ดี แสงที่กระจายลงมาทำให้รู้สึกผ่อนคลาย สีของแสงธรรมชาติดีต่อสายตา ช่วยลดอาการง่วงนอน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในโรงเอเทรียมช่วยเติมเต็มคุณค่าทางสถาปัตยกรรม ช่วยสร้างความรู้สึกรื่นเริงมากขึ้น และช่วยให้รับรู้การเปลี่ยนแปลงภายนอกและช่วงเวลาได้ ดังนั้นโรงกึ่งเปิดโล่งควรเปิดรับแสงธรรมชาติที่เพียงพอ และเหมาะสมกับการสร้างบรรยากาศที่ว่างกึ่งภายนอก โดยสามารถหาค่าสัดส่วนความสว่างของแสงภายในกับแสงสว่างภายนอกที่ไม่โดนแดดโดยตรง ด้วยค่าประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ (Lechner, 2015)

พื้นที่สีเขียวช่วยสร้างสุขภาวะ ได้แก่ ช่วยฟอกอากาศ กรองเสียง ลดความชื้น ลดอุณหภูมิ ลดความเครียด และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน (Perry, 2018) ญาณ เกทล์ (2559, หน้า 192) ได้กล่าวว่า “สภาพแวดล้อมสีเขียวในเมืองอันได้แก่ ต้นไม้ การจัดภูมิทัศน์ และดอกไม้ มีบทบาทสำคัญนอกเหนือจากความงามแล้ว องค์ประกอบสีเขียวยังมีค่าในเชิงสัญลักษณ์โดยสื่อถึงการพักผ่อนหย่อนใจ การได้พิจารณาความรู้สึกตัวเอง ความยั่งยืน และความหลากหลายของธรรมชาติ” เกษรวิช พวงเพิ่ม (2553) ได้สำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้อาคารในคอมมูนิตีมอลล์แบบเปิด พบว่า พื้นที่สีเขียวช่วยส่งเสริมความอบอุ่นผ่อนคลาย ส่งเสริมกิจกรรมในพื้นที่ส่วนกลาง และส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดี โดยผู้ใช้มีความพึงพอใจรูปแบบพื้นที่สีเขียวภายนอก แต่พึงพอใจสภาพอากาศเย็นภายในอาคาร ทั้งนี้ศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งได้รวมข้อดีทั้งพื้นที่ใช้สอยที่ร่มเย็นและสวนหย่อมกึ่งภายนอกไว้ด้วยกัน

แนวทางในการคำนวณดัชนีสภาวะแวดล้อมและขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

3.2.1 ค่ากลางอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (MRT: °C) เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวโดยรอบ การถ่ายเทรังสีเฉื่อยจะมีค่าคงที่โดยการเฉลี่ยจากอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ คำนวณได้จากสมการที่ 1 (ASHRAE, 2017 b)

$$T_r^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_N^4 F_{p-N} \quad (\text{สมการที่ 1})$$

เมื่อ T_r คือค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีโดยรอบ (Mean Radiant Temperature: K, Kelvin) T_n คือค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Surface Temperature: K) ของพื้นผิวที่ n ($n = 1, 2, \dots, n$) และ F_{p-n} คือค่าสัดส่วนของมุม (Angle Factor) ระหว่างบุคคลกับพื้นผิวที่ n (ผลรวม $F_{p-n} = 1$) หมายเหตุ: หากอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบไม่แตกต่างกันมาก T ไม่ต้องมีค่ายกกำลัง 4 ก็ได้

3.2.2 ค่าอุณหภูมิที่รับรู้ (Operative Temperature: °C) คือ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ณ ความเร็วลมหนึ่งไว้ในค่าเดียวกัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 (ASHRAE, 2017 a)

$$t_o = At_a + (1 - A) t_r \quad (\text{สมการที่ 2})$$

เมื่อ t_o คือค่าอุณหภูมิที่รับรู้ (Operative Temperature: °C) t_a คือค่าอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature: °C) t_r คือค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีโดยรอบ (Mean Radiant Temperature: °C) และ A คือค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วลม ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วลม (Relative Air Speed)

ความเร็วลม V_a	<0.2 m/s	0.2-0.6 m/s	0.6-1.0 m/s
ค่าสัมประสิทธิ์ A	0.5	0.6	0.7

3.2.3 ค่าประสิทธิภาพความเร็วลม (Efficiency of Air Velocity: %) เป็นค่าเฉลี่ยความเร็วลมภายในเทียบกับความเร็วลมภายนอกเป็นค่าสัดส่วนร้อยละ โดยมีผลจากลมธรรมชาติผ่านอาคาร (Givoni, 1998) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$V_{\text{Eff}} = (V_i / V_o) \times 100\% \quad (\text{สมการที่ 3})$$

เมื่อ V_{Eff} คือค่าประสิทธิภาพความเร็วลมภายในเทียบกับภายนอก (Efficiency of Air Velocity: %) V_i คือค่าความเร็วลมภายในอาคาร (Inside Air Velocity: m/s) และ V_o คือค่าความเร็วลมภายนอกอาคาร (Outside Air Velocity: m/s)

3.2.4 ค่าประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ (Daylight Factor: DF) คือค่าสัดส่วนของความส่องสว่าง (Illuminance: E) ณ จุดหนึ่งภายใน ต่อ ความส่องสว่างจากท้องฟ้า ณ จุดหนึ่งภายนอกอาคาร โดยไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Grondzik et al., 2014) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$DF = (E_i / E_H) \times 100\% \quad (\text{สมการที่ 4})$$

เมื่อ DF คือค่าประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ (Daylight Factor, DF: %) E_i คือค่าความส่องสว่างภายใน (Illuminance, E_i : Lux) และ E_H คือค่าความส่องสว่างภายนอก (Illuminance, E_H : Lux)

3.2.5 ขอบเขตอุณหภูมิที่รับรู้สึที่ยอมรับได้ (Acceptable Operative Temperature Ranges: t_o) มีค่าขอบเขตที่ยอมรับได้ด้านบน 80 % ดังในสมการที่ 5.1 และด้านล่าง 80 % ดังในสมการที่ 5.2 (ASHRAE, 2017 a)

$$\text{Upper 80 \% acceptability limit } (^{\circ}\text{C}) = 0.31 t_{pm a(out)} + 21.3 \quad (\text{สมการที่ 5.1})$$

$$\text{Lower 80 \% acceptability limit } (^{\circ}\text{C}) = 0.31 t_{pm a(out)} + 14.3 \quad (\text{สมการที่ 5.2})$$

เมื่อ t_o คือค่าอุณหภูมิที่รับรู้สึที่ยอมรับได้ ($^{\circ}\text{C}$) $t_{pm a(out)}$ คือค่ากลางอุณหภูมิภายนอก ($^{\circ}\text{C}$) หรือใช้ค่ากลางอุณหภูมิรายเดือนจากการมอดูนิยมหาวิทยาลัย หมายถึง ค่าขอบเขตที่ยอมรับได้ด้านบนสามารถขยายขอบเขตเพิ่มขึ้นหากมีความเร็วลมตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขอบเขตบนที่เพิ่มขึ้นจากความเร็วลมในระดับต่าง ๆ

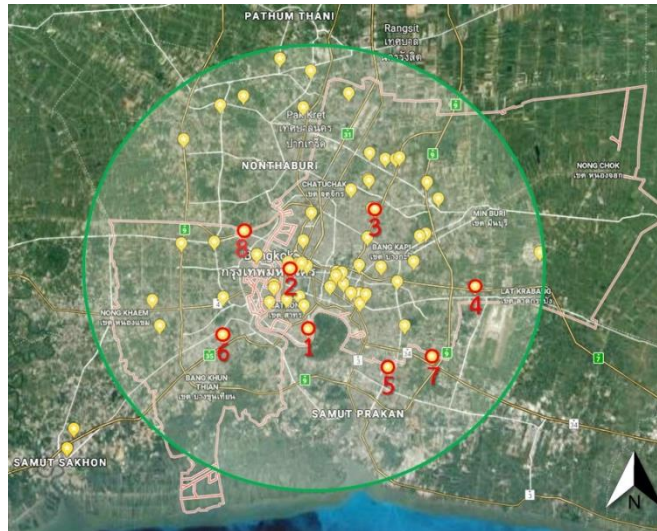
ความเร็วลมเฉลี่ย V_a	0.6 m/s	0.9 m/s	1.2 m/s
ขอบเขตบนของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)	1.2	1.8	2.2

4. วิธีการวิจัย เครื่องมือวิจัย และระเบียบวิธีวิจัย

4.1 ประชากร ได้แก่ ศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งที่เปิดโครงการในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2551-2561) และมีที่ตั้งโครงการอยู่ในรัศมี 25 กิโลเมตรของกรุงเทพมหานคร (ศูนย์กลางคือสถานีสยาม) มีจำนวน 50 โครงการ (ดังในรูปที่ 1) โดยศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง มีลักษณะเฉพาะคือ เป็นอาคารศูนย์การค้าที่มีโถงส่วนกลางไม่ติดเครื่องปรับอากาศ ปิดล้อมด้วยร้านค้าย่อยหลายด้าน มีหลังคาปกคลุม และมีช่องเปิดในหลายรูปแบบและทิศทาง รวมทั้งมีพื้นที่ส่วนหย่อมที่ผสมผสานกับพื้นที่ใช้สอยส่วนกลาง

4.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้เลือกกรณีศึกษา (Case Studies) จากตัวแปรในรูปแบบที่หลากหลายด้านขนาดสัดส่วนและปริมาณช่องเปิดของโถง ที่มีผลต่อคุณภาพสภาวะแวดล้อมและสภาวะน่าสบาย โดยมีกรณีศึกษาจำนวน 8 แห่ง (ดังในรูปที่ 1) ได้แก่

1) อินท์ อินเตอร์เซค พระราม 3 2) แอมพาร์ค จุฬา 3) เซ็นทรัลเฟสติวัล อีสต์วิลล์ 4) แจส เออเบิร์น ศรีนครินทร์ 5) เดอะไนน์ พระราม 9 6) เดอะไอร์แลนด์ พระราม 2 7) เมกาพาร์ค บังนา 8) เดอะเซ็นส์ ปิ่นเกล้า



สัญลักษณ์: วงสีเขียวคือรัศมี 25 กม. จากศูนย์กลางกทม. หมุดสีเหลืองคือศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง และวงสีแดงคือการศึกษา

รูปที่ 1 ตำแหน่งศูนย์การค้าชุมชนกึ่งเปิดโล่งในกรุงเทพมหานคร (ปรับปรุงภาพจาก Google Maps)

การสำรวจอาคารการศึกษาทั้ง 8 โครงการ ภายในโด่งกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้า อันมีองค์ประกอบอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ช่องเปิด และการจัดพื้นที่ภายใน โดยมีภาพถ่ายการศึกษาในรูปแบบที่ 2 และแบบแปลนและรูปตัดการศึกษาในรูปแบบที่ 3

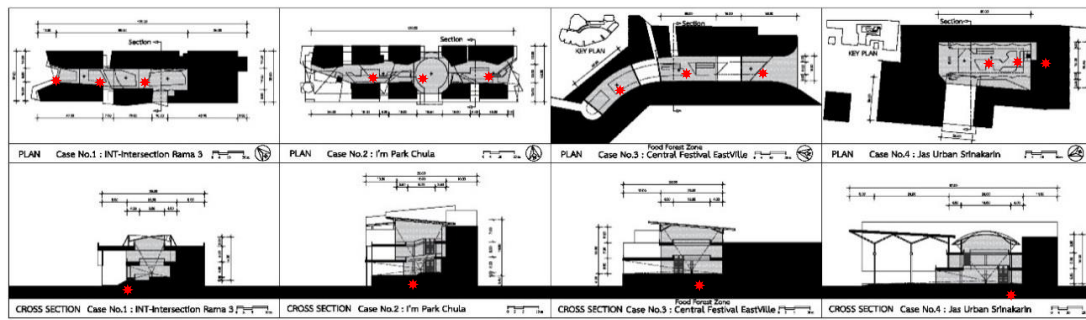


1) อินท์ อินเตอร์เซด 2) แอมพาร์ค จุฬา 3) เซ็นทรัลเฟสติวัล อีสต์วิลล์ 4) แจส เออเบิร์น

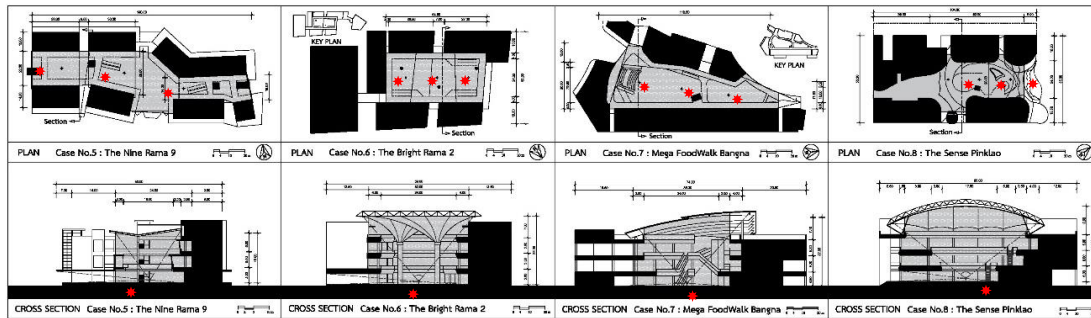


5) เดอะไนน์ 6) เดอะโปรท์ 7) เมกาฟู้ดวอลล์ 8) เดอะเซ็นส์

รูปที่ 2 ภาพถ่ายสถานที่จริงของอาคารการศึกษา 8 โครงการ



1) อินท์ อินเตอร์เซค 2) แอมพาร์ค จุฬา 3) เซ็นทรัลเฟสติวัล อีสต์วิลล์ 4) แจส เออเบิร์น



5) เดอะไนน์ 6) เดอะไอร์แลนด์ 7) เมกาฟู้ดวอล์ค 8) เดอะเซ็นส์

รูปที่ 3 แบบแปลนและรูปตัดอาคารกรณีศึกษา 8 โครงการ (สีเทาคือขอบเขตศึกษา และจุดดาวสีแดงคือตำแหน่งที่ทำการทดสอบ)

กรณีศึกษามีรูปแบบของโรงกึ่งเปิดโล่งเรียงตามลำดับตามขนาดพื้นที่หน้าตัดและความกว้าง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาด สัดส่วน พื้นที่ ปริมาตร และความกว้างและร้อยละของช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ของโรงกึ่งเปิดโล่งในกรณีศึกษา

ชื่อโครงการ	พื้นที่ หน้าตัด (m ²)	โรง กว้าง W (m)	โรง ยาว L (m)	โรง สูง H (m)	สัดส่วน กว้าง: สูง W:H	พื้นที่ โรง (m ²)	ปริมาตร โรง (m ³)	ช่องเปิด ระดับผนัง (m) (%)	ช่องเปิด ใต้หลังคา (m) (%)	ร้อยละ ช่องเปิด รวม (%)
1. อินท์อินเตอร์เซค พระราม 3	684	12	85	14	1:1.17	1,146	16,044	31 (16%)	2 (14%)	30
2. แอมพาร์ค จุฬา	999	12	130	18	1:1.50	1,799	32,382	97 (34%)	1 (5%)	39
3. เซ็นทรัลเฟสติวัล อีสต์วิลล์	1,170	20	140	15	1:0.75	1,782	26,730	28 (9%)	5 (33%)	42
4. แจส เออเบิร์น ศรีนครินทร์	1,332	24	60	16	1:0.67	1,760	28,160	20 (12%)	2 (12%)	24
5. เดอะไนน์ พระราม 9	1,415	24	140	17	1:0.70	3,150	50,400	92 (28%)	1 (6%)	34
6. เดอะไอร์แลนด์ พระราม 2	2,664	30	64	22	1:0.73	2,023	44,506	47 (24%)	2 (9%)	37
7. เมกาฟู้ดวอล์ค บางนา	2,669	30	110	22	1:0.67	2,775	61,050	54 (19%)	5 (23%)	42
8. เดอะเซ็นส์ ปิ่นเกล้า	3,340	40	60	24	1:0.60	1,924	36,072	38 (23%)	3 (12%)	35
ค่าเฉลี่ย	1,784	24	109	18.5	1:0.85	2,045	36,918	51 (21%)	2.6(14%)	35

สัญลักษณ์: มากที่สุด=สีเทาดำ มาก=สีเทาเข้ม ปานกลาง=สีเทากลาง น้อย=สีเทาอ่อน น้อยมาก=สีเทาอ่อนมาก

4.3 เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วยอุปกรณ์สำรวจ 5 ชนิด (ดังรูปที่ 4) ได้แก่ 1) เครื่องวัดอุณหภูมิเวทบัลโกลบ 2) เครื่องวัดอุณหภูมิพื้นผิวอินฟราเรด 3) เครื่องวัดแสง 4) เครื่องวัดความเร็วลมชนิดลวดร้อน 5) แบบฟอร์มบันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 4 เครื่องวัดดัชนีความร้อน เครื่องวัดอุณหภูมิพื้นผิว เครื่องวัดแสง เครื่องวัดความเร็วลม และแบบฟอร์มบันทึกผล

4.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการเก็บข้อมูล ประกอบด้วย 1) ตัวแปรต้น ได้แก่ การวัดค่าสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ ในกรณีศึกษา 8 โครงการ 2) ตัวแปรควบคุม มีตำแหน่งที่ตรวจวัดสูงจากพื้น 1 เมตร จำนวน 3 จุด ในแต่ละกรณีศึกษา จำนวน 3 ครั้งในฤดูร้อน (15 กุมภาพันธ์ ถึง 15 พฤษภาคม) ในช่วงเวลา 10.00-16.00 น. 3) ตัวแปรตาม คือค่าเฉลี่ยสภาวะแวดล้อมธรรมชาติของกรณีศึกษา ได้แก่ ค่าอุณหภูมิอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าอุณหภูมิโกลบ ค่าอุณหภูมิเวทบัลโกลบ ค่าความเร็วลม และขนาดพื้นที่สีเขียว ค่าอุณหภูมิพื้นผิวพื้น ผืน หลังคา และช่องเปิด และค่าความสว่าง

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยผสมเชิงปริมาณและคุณภาพ ด้วยการวิเคราะห์ผลทดสอบสภาวะอากาศและสภาวะแวดล้อมภายในโรงกึ่งเปิดโล่ง โดยแสดงผลเชิงเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษาจำนวน 8 โครงการ ดังนี้

4.5.1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีต่าง ๆ จากการนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลผลการทดสอบมาคำนวณ ได้แก่ 1) ค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิภายในกับภายนอก 2) ค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในกับภายนอก 3) ค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิเวทบัลโกลบภายในกับภายนอก 4) ค่าเฉลี่ยกลางอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน จากสมการที่ 1 5) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่รับรู้จากสมการที่ 2 6) ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพความเร็วลม จากสมการที่ 3 7) ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพแสง จากสมการที่ 4 8) ค่าเฉลี่ยสัดส่วนพื้นที่สวนหย่อม จากการสำรวจ 9) ค่าเฉลี่ยผลรวมคุณภาพของแต่ละกรณีศึกษา 10) ค่าเฉลี่ยผลรวมดัชนีชี้วัด

4.5.2 การประเมินคุณภาพโดยอ้างอิงคุณภาพตามหลักทฤษฎี และการตัดเกรดเชิงเปรียบเทียบแบบอิงกลุ่ม โดยมีค่าระดับดังนี้ ดีมาก=4 (สีเทาดำ) ดี=3 (เทาเข้ม) ปานกลาง=2 (เทา) น้อย/แย่=1 (เทาอ่อน) น้อยมาก/แย่มาก=0 (เทาอ่อนมาก)

4.5.3 ค่าตำแหน่งในแผนภูมิขอบเขตสภาวะน่าสบาย มีตัวแปรดังนี้ 1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่รับรู้ ค่ากลางอุณหภูมิภายนอก และค่าความเร็วลมที่ 0.3 0.6 0.9 หรือ 1.2 m/s 2) ตัวแปรควบคุม โดยใช้โปรแกรมคำนวณหาสภาวะน่าสบาย CBE Thermal Comfort Tool ด้วยวิธี Adaptive Method โดยตั้งค่า Standard ที่ “ASHRAE-55” และตั้งค่า Select Method ที่ “Adaptive Method” ตามมาตรฐาน “ASHRAE 55-2017” 3) ตัวแปรตาม คือ ผลของตำแหน่งสภาวะอุณหภูมิที่รับรู้ (จุดสีแดงในวงสีแดง) และขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้ 80 % (แถบสีฟ้า) และ 90 % (แถบสีน้ำเงิน) โดยหากจุดสีแดงอยู่ในของแถบสีฟ้าหรือสีน้ำเงิน แสดงว่าอยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้ 80 % หรือ 90 % ตามลำดับ

5. ผลการวิจัย

การทดสอบสภาวะแวดล้อมธรรมชาติภายในกรณีศึกษาได้ทำใน 3 ช่วงเวลาในฤดูร้อนของปีพ.ศ. 2562 ดังนี้ ช่วงที่ 1) ในวันที่ 25-26 กุมภาพันธ์ ช่วงที่ 2) 27-28 มีนาคม และในช่วงที่ 3) 29-30 เมษายน ระหว่างเวลา 10.00-16.00 น. โดยการทดสอบมีสภาพอากาศภายนอกมีสภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ อุณหภูมิภายนอกอยู่ระหว่าง 31-36 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50-70 % และกระแสลมอยู่ในช่วง 1-3 m/s ในช่วงที่ศึกษาได้ถึงทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงที่ท้องฟ้ามีเมฆน้อย โดยมีการตรวจวัด 3 จุด จำนวน 3 ครั้งในช่วงฤดูร้อน และมีค่าอ้างอิงภายนอกในช่วงเวลาเดียวกันที่ทำการวัดภายในเพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ภายในกับภายนอก โดยผลการทดสอบสภาวะอากาศ สภาพแวดล้อมภายใน และผลการประเมินเชิงเปรียบเทียบ มีผลเป็นค่าเฉลี่ยดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดสอบสภาวะอากาศในกรณีศึกษา

ผลการตรวจวัดค่าลักษณะสภาวะอากาศในแต่ละกรณีศึกษา ได้แสดงค่าเฉลี่ยผลทดสอบในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยลักษณะสภาวะอากาศ แยกตามอาคารกรณีศึกษา

สภาวะอากาศ ภายในโรงเอเทรียม	ค่าเฉลี่ย ในกรณีศึกษาที่								ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	
ค่าอุณหภูมิอากาศ (T: °C)	32.17	31.83	31.60	33.13	33.43	32.70	32.37	32.47	32.46
ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH: %)	59.33	58.33	60.00	52.00	60.33	53.33	56.33	55.67	56.92
ค่าอุณหภูมิแบบลึกลบ (GT: °C)	31.53	31.20	32.43	32.23	33.30	32.10	33.03	32.53	32.29
ค่าอุณหภูมิเวตบัลบ์โกลบ (WBGT)	28.47	27.47	28.10	28.30	29.10	28.70	29.40	29.50	28.63
ค่าความเร็วลม (V: m/s)	0.35	0.57	0.87	0.29	0.86	0.72	1.61	0.94	0.78

5.2 ผลการทดสอบสภาพแวดล้อมในกรณีศึกษา

ผลการทดสอบตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อมในแต่ละกรณีศึกษา ได้แสดงค่าเฉลี่ยผลทดสอบในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยสภาวะแวดล้อมภายในอาคารกรณีศึกษา

สภาวะแวดล้อม ภายในโรงเอเทรียม	ค่าเฉลี่ย ในกรณีศึกษาที่								ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยผิวพื้น (°C)	30.50	29.87	29.10	32.93	31.00	31.40	33.07	32.37	31.28
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยผิวผนัง (°C)	29.87	29.53	30.20	31.67	29.97	31.77	31.13	32.03	30.77
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยผิวเพดาน (°C)	33.30	34.23	33.03	38.50	39.80	33.27	37.17	46.33	36.95
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยช่องเปิด (°C)	32.17	29.97	33.60	32.93	31.00	31.60	35.47	31.43	32.27
ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (Lux)	1875	2191	2296	2493	2611	3185	11743	5149	3943

5.3 ผลการประเมินระดับคุณภาพของสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติ

ผลจากการคำนวณค่าดัชนีชี้วัดสภาวะแวดล้อม โดยมีการประเมินค่าคุณภาพเชิงเปรียบเทียบ เพื่อให้เห็นจุดเด่น-จุดด้อยของแต่ละกรณีศึกษา รวมทั้งผลรวมค่าผลเฉลี่ยคุณภาพของแต่ละกรณีศึกษา และค่าเฉลี่ยในภาพรวม ได้แสดงในตารางที่ 6

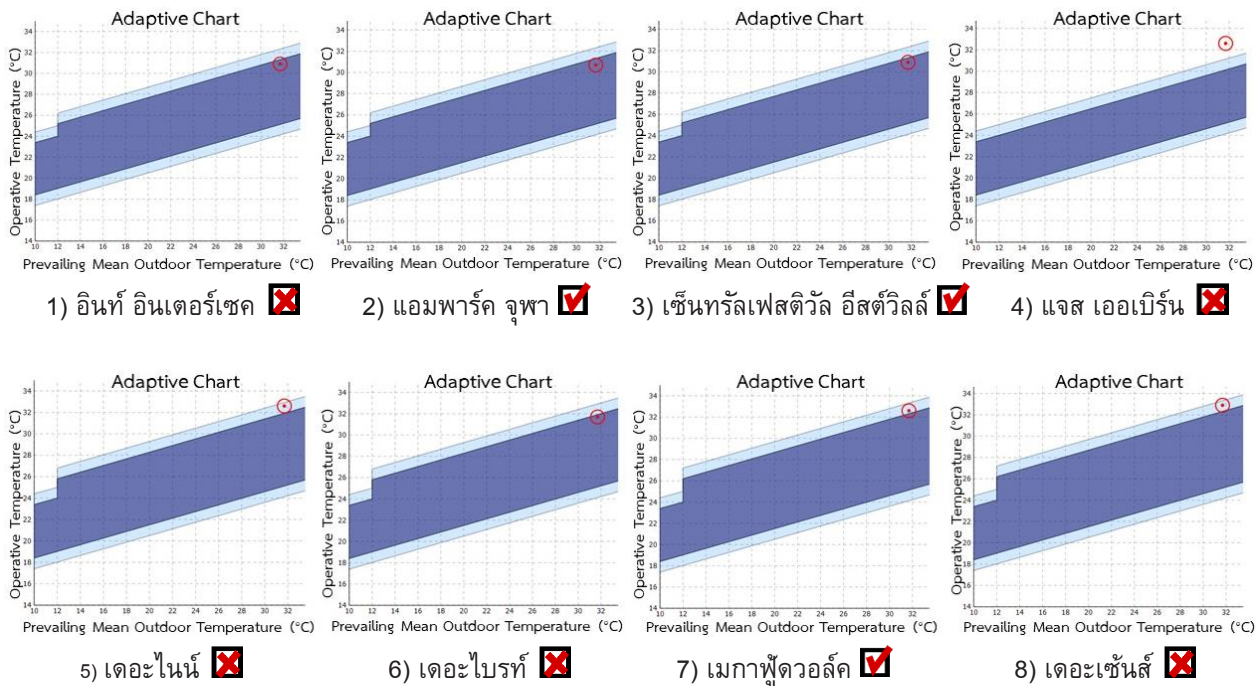
ตารางที่ 6 ผลของค่าดัชนีสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติภายในโรงกึ่งเปิดโล่ง แยกตามกรณีศึกษา 8 โครงการ

ดัชนีชี้วัด สภาวะแวดล้อม	ค่าดัชนี ในกรณีศึกษาที่ (ขนาดสัดส่วน กว้าง:สูง ม.) (สัดส่วนช่องเปิดรวม %)								10)
	1	2	3	4	5	6	7	8	ค่าเฉลี่ย
	(12:14) (30 %)	(12:18) (39 %)	(20:15) (42 %)	(24:16) (24 %)	(24:17) (34 %)	(30:22) (37 %)	(30:22) (42 %)	(40:24) (35 %)	(24:18.5) (35 %)
1) ค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกับภายนอก (ΔT : °C)	-1.13 ปานกลาง	-1.67 ดี	-2.02 ดีมาก	-0.57 น้อย	-0.47 น้อย	-1.03 ปานกลาง	-1.10 ปานกลาง	-1.21 ปานกลาง	-1.15
2) ค่าผลต่างความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ยภายในกับภายนอก (ΔRH : %)	-1.67 ดี	-1.67 ดี	-1.00 ปานกลาง	-2.00 ดีมาก	-1.33 ดี	-0.67 น้อย	-1.33 ดี	-1.33 ดี	-1.37
3) ค่าผลต่างดัชนีความร้อนเฉลี่ยภายในกับนอก ($\Delta WBGT$: °C)	-1.02 ปานกลาง	-1.43 ดีมาก	-1.32 ดี	-0.90 น้อย	-1.07 ปานกลาง	-0.80 น้อย	-0.54 น้อยมาก	-0.60 น้อยมาก	-1.02
4) ค่ากลางการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวโดยรอบ (MRT: °C)	31.16 ดี	30.46 ดีมาก	30.51 ดีมาก	33.80 แย่	32.34 ปานกลาง	31.92 ดี	33.25 แย่	36.23 แย่มาก	32.45
5) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่รับรู้ได้ (Operative Temperature: °C)	31.77 ดี	31.42 ดี	31.54 ดี	33.28 แย่	33.10 แย่	32.47 ปานกลาง	33.12 แย่	33.60 แย่	32.54
6) ค่าประสิทธิภาพความเร็วลม (Efficiency of Air Velocity: %)	18 น้อย	32 ปานกลาง	58 ดี	7 น้อยมาก	47 ดี	34 ปานกลาง	79 ดีมาก	52 ดี	41
7) ค่าประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ (Daylight Factor: %)	13 ปานกลาง	5 น้อย	14 ปานกลาง	12 ปานกลาง	10 ปานกลาง	20 ดี	53 ดีมาก	36 ดีมาก	20
8) ค่าสัดส่วนพื้นที่สวนหย่อม (Soft Scape Percentage: %)	2 น้อยมาก	16 ปานกลาง	35 ดีมาก	24 ดี	6 น้อย	2 น้อยมาก	32 ดีมาก	5 น้อย	15
9) ค่าผลเฉลี่ยคุณภาพ (GPA)	2.00	2.75	3.12	1.50	1.87	1.75	2.37	1.75	2.12

หมายเหตุ: ค่าคุณภาพ (Grading): ดีมาก=4 ดี=3 ปานกลาง=2 น้อย/แย่=1 น้อยมาก/แย่มาก=0

5.4 ผลการหาตำแหน่งในขอบเขตสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ

ผลการหาค่าตำแหน่งสภาวะอากาศของกรณีศึกษาในแผนภูมิขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้แบบปรับตัว จากการป้อนค่าลงในเครื่องมือ CBE Thermal Comfort Tool ได้แก่ อุณหภูมิที่รู้สึกได้ (Operative Temperature) และค่าความเร็วลม (Air Speed) และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ (Prevailing Mean Outdoor Air Temperature) โดยใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศระหว่างวันในกรุงเทพมหานคร จากกรมอุตุนิยมวิทยาฯ ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ซึ่งมีค่า 31.7 °C โดยแสดงผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งอุณหภูมิที่รับรู้ (จุดและวงสีแดง) และขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้ (สีน้ำเงิน=90% สีฟ้า=80%)

6. การอภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

6.1 อภิปรายผล

6.1.1 อภิปรายผลการทดสอบสภาวะอากาศในกรณีศึกษา (จากตารางที่ 4 และ 5) พบว่า

1) ค่าอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ภายในกรณีศึกษาอยู่ในช่วง 31.60-33.43 °C โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในอยู่ที่ 32.46 °C ในขณะที่มีอุณหภูมิภายนอกมีค่าเฉลี่ยที่ 33.61 °C โดยกรณีศึกษาที่ 4 และ 5 มีอุณหภูมิภายในสูงกว่า 33 °C ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 และ 3 มีอุณหภูมิภายในต่ำกว่า 32 °C จะเห็นได้ว่ากรณีศึกษาส่วนใหญ่มีอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่เปิดโล่งต่ำกว่าภายนอกไม่มากนัก เนื่องจากการมีช่องเปิดผนังขนาดใหญ่และมีพื้นที่หลังคาโปร่งแสงมากซึ่งรับความร้อนมาก

2) ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ในทุกโครงการอยู่ในช่วง 52-60.33 % ซึ่งอยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายที่เหมาะสมในช่วง 20-80 % (Olgay, 1963) ความชื้นที่ไม่สูงนักเกิดจากการทดสอบในช่วงฤดูร้อนรวมกับการรับความร้อนจากหลังคาโปร่งแสงและการมีช่องระบายลมไล่ความชื้น โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในต่ำกว่าภายนอกเฉลี่ย -1.37 %

3) ค่าอุณหภูมิแบบลิคโกลบ (Globe Temperature) เป็นผลจากการแผ่รังสีความร้อนโดยรอบ ณ จุดหนึ่ง โดยทุกกรณีศึกษามีอุณหภูมิแบบลิคโกลบอยู่ในช่วง 31.2-33.3 °C ซึ่งสูงกว่าค่าอุณหภูมิอากาศ โดยมีกรณีศึกษาที่ 5 และ 7 มีอุณหภูมิแบบลิคโกลบ สูงกว่า 33 °C ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 มีอุณหภูมิแบบลิคโกลบ ต่ำกว่า 32 °C ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาซึ่งมีความร้อนมาก โดยหากหลังคามีสัดส่วนมุม (Angle Factor) มากก็จะมีอุณหภูมิแบบลิคโกลบมาก

4) ค่าอุณหภูมิเวตบัลบีโกลบ (WBGT) เป็นผลของอุณหภูมิ ความชื้น และการแผ่รังสีความร้อนสู่ร่างกาย โดยสามารถบ่งชี้ความเสี่ยงโดย “ค่าดัชนีความร้อน” (Heat Stress Index) ซึ่งผลการทดสอบในทุกกรณีศึกษาอยู่ในระดับค่าสัญญาณสีเขียว (ช่วง Heat Index ระหว่าง 27-32 °C) ซึ่งเป็นระดับค่าสัญญาณที่มีความเสี่ยงต่ำ อาจเกิดอาการเหนื่อยอ่อนเมื่อยล้าจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้บ้าง โดยมีคำแนะนำจาก Stedman คือ ควรดื่มน้ำไม่น้อยกว่า 1/2 ลิตรต่อชั่วโมง (ปรเมศร์ อมาตยกุล, 2549)

5) ค่าความเร็วลม เป็นการบันทึกค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดภายในโรงกึ่งเปิดโล่ง ผลปรากฏว่าทุกโครงการอยู่ในช่วง 0.29-1.61 m/s โดยกรณีศึกษาที่ 4 มีความเร็วลมต่ำที่สุดที่ 0.29 m/s เนื่องจากไม่มีช่องลมเข้า-ออกที่เหมาะสม ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 7 มีความเร็วลมสูงที่สุดที่ 1.61 m/s เนื่องจากมีเปิดช่องเปิดเข้า-ออกของลมในทิศทางเดียวกับลมประจำถิ่น

6.1.2 อภิปรายผลการประเมินระดับคุณภาพของสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติ (จากตารางที่ 5) พบว่า

1) ค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่าง ๆ มีดังนี้ ผิวหลังคามีความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 36.95 °C รองมาคืออุณหภูมิเฉลี่ยช่องเปิดสู่ภายนอกที่ 32.27 °C อุณหภูมิเฉลี่ยผิวพื้นภายในที่ 31.28 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยผิวผนังภายในที่ 30.77 °C ตามลำดับ โดยพื้นผิวต่าง ๆ มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 29.10-49.33 °C แตกต่างกันตามประเภทวัสดุและลักษณะการรับความร้อนจากแสงแดด

2) ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง (Illuminance) ของทุกกรณีศึกษาเท่ากับ 3943 Lux โดยกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าความส่องสว่างน้อยที่สุด ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 7 มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดที่ 11743 Lux ซึ่งความส่องสว่างมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อโรงกึ่งเปิดโล่งมีสัดส่วนที่กว้างมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการบังเงาและการส่องผ่านของแสงของวัสดุหลังคาโปร่งแสง

6.1.3 อภิปรายผลการประเมินระดับคุณภาพเฉลี่ยปานกลางสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติ (จากตารางที่ 6) พบว่า 1) ค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกับภายนอกคือ -1.15 °C 2) ค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในกับภายนอกคือ -1.37 % 3) ค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิเวกัลโกลบภายในกับภายนอกคือ -1.02 °C 4) ค่าเฉลี่ยกลางอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนคือ 32.45 °C 5) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่รับรู้คือ 32.54 °C 6) ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพความเร็วลมคือ 41 % 7) ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพแสงธรรมชาติคือ 20 % 8) ค่าเฉลี่ยสัดส่วนพื้นที่สวนหย่อมต่อพื้นที่โรงคือ 15 % 9) ค่าเฉลี่ยคุณภาพปานกลางโดยรวมมีระดับคะแนนที่ 2.12

6.1.4 อภิปรายผลการวิเคราะห์จุดเด่น-จุดด้อยของกรณีศึกษา จากการประเมินค่าคุณภาพ (ในตารางที่ 6) พบว่า

1) จุดเด่น ที่พบในกรณีศึกษาที่มีค่าคุณภาพสูงกว่าเกณฑ์เฉลี่ยกลาง ได้แก่ 1) ด้านความร้อน โรงกึ่งเปิดโล่งที่มีความกว้างที่แคบกว่ามีผลการลดความร้อนดีกว่าโรงกว้างกว่า ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 2 เนื่องจากมีค่าสัดส่วนมุมของหลังคาที่น้อยกว่า และกรณีศึกษาที่มีวัสดุของหลังคาที่ลดความร้อนภายในโรงได้ดี ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นหลังคาที่บังแสงโดยให้แสงทางด้านข้าง 2) ด้านประสิทธิภาพความเร็วลม ขึ้นอยู่กับทิศทางของช่องเปิดรับลมเข้า-ออกที่สัมพันธ์กับทิศทางลมธรรมชาติ และในรูปตัดที่มีช่องเปิดรับลมเข้าในระดับพื้นโรงกับช่องเปิดระบายลมออกที่ในระดับใต้หลังคาในทิศทางตรงกันข้าม ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 3 5 7 และ 8 ซึ่งมีผลค่าประสิทธิภาพความเร็วลมดีกว่าค่าเฉลี่ยปานกลาง 3) ด้านประสิทธิภาพการรับแสงธรรมชาติ ทุกกรณีศึกษายกเว้นกรณีศึกษาที่ 2 มีค่า DF ตั้งแต่ 10-53 % ซึ่งสูงกว่าค่าต่ำสุดที่ต้องการสำหรับโรงแสงสินค้าที่ 4-6 % (Lechner, 2015) 4) สัดส่วนพื้นที่สวนหย่อม โรงที่มีพื้นที่สวนหย่อมมากกว่าค่าเฉลี่ยปานกลางที่ 15 % ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 3 4 และ 7 ซึ่งมีการจัดสวนที่ผสมผสานกับพื้นที่ใช้สอยในโรงได้ดีและลงตัว 5) จุดเด่นในภาพรวมชี้ว่า กรณีศึกษาที่ 2 3 และ 7 มีคุณภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ยปานกลาง

2) จุดด้อย ที่พบในกรณีศึกษาที่มีค่าคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยกลาง ได้แก่ 1) ด้านความร้อน โรงที่มีสัดส่วนที่ความกว้างมากกว่าความสูง ดังในกรณีศึกษาที่ 4 5 6 7 และ 8 (ยกเว้นกรณีศึกษาที่ 3) มีค่าคุณภาพด้านการลดความร้อนจากภายนอกน้อยกว่าค่าเฉลี่ยกลาง ซึ่งเกิดมีค่าสัดส่วนของมุมจากหลังคาต่ำ 2) ด้านประสิทธิภาพความเร็วลม พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 และ 4 มีค่าความเร็วลมน้อยถึงน้อยมาก 3) ด้านประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ กรณีศึกษาที่ 2 มีประสิทธิภาพแสงธรรมชาติน้อยที่สุด เนื่องจากมีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของโรงน้อยที่สุดที่ 1:1.50 โดยมีค่า DF เท่ากับ 5 % ซึ่งยังคงเพียงพอสำหรับโรงแสงสินค้าที่ต้องการขั้นต่ำที่ 4-6 % (Lechner, 2015) 4) ด้านสัดส่วนพื้นที่สวนหย่อม สวนหย่อมที่มีสัดส่วนน้อยกว่าปานกลางที่ 15 % ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1 5 6 และ 8 5) จุดด้อยในภาพรวม พบว่ากรณีศึกษาที่ 1 4 5 6 และ 8 มีคุณภาพต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปานกลาง

6.1.5 อภิปรายผลการหาตำแหน่งในขอบเขตสภาวะนำสบายเชิงอุณหภูมิ (จากรูปที่ 5) พบว่า

1) กรณีศึกษาที่อยู่ในสภาวะนำสบาย ☒ ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 3 มีสภาวะอากาศอยู่ในขอบเขตสภาวะนำสบายที่ยอมรับได้ในระดับความพึงพอใจ 90 % และกรณีศึกษาที่ 2 และ 7 อยู่ในขอบเขตสภาวะนำสบายที่ยอมรับได้ในระดับความพึงพอใจ 80 % ดังนั้นโดยรวมมีกรณีศึกษา 3 ใน 8 โครงการที่อยู่ในสภาวะนำสบายที่ยอมรับได้

2) กรณีศึกษาที่ไม่อยู่ในสภาวะนำสบาย ☐ ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1 5 6 และ 8 มีสภาวะอากาศอยู่นอกขอบเขตสภาวะนำสบายที่ยอมรับได้เพียงเล็กน้อย ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 4 มีตำแหน่งสภาวะอากาศภายในห้องห่างไกลจากขอบเขตสภาวะนำสบายมาก อันเนื่องมาจากการมีผลต่างอุณหภูมิภายในกับภายนอกที่น้อยมาก และขอบเขตสภาวะนำสบายมีลักษณะแคบกว่ากรณีศึกษาอื่นอันเนื่องมาจากความเร็วลมภายในที่ต่ำ รวมทั้งมีค่าอุณหภูมิที่รับรู้สึกภายในห้องกึ่งเปิดโล่งค่อนข้างสูง

6.2 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยกลางของสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติในกรณีศึกษาจำนวน 8 โครงการ สรุปได้ว่า ศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งในกรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ยสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติดังนี้ มีค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิภายในกับภายนอกที่ -1.15°C มีค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในกับภายนอกที่ -1.37% มีค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิเวตบัลบ์โกลบภายในกับภายนอกที่ -1.02°C มีค่าเฉลี่ยกลางอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนที่ 32.45°C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่รับรู้สึกที่ 32.54°C มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพความเร็วลมที่ 41 % มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพแสงธรรมชาติที่ 20% มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนพื้นที่สวนหย่อมที่ 15%

ผลการเปรียบเทียบข้อเด่น-ข้อด้อย จากผลค่าเฉลี่ยคุณภาพกลาง พบว่า มีกรณีศึกษาจำนวน 3 ใน 8 โครงการที่มีผลประเมินคุณภาพดีกว่าคุณภาพเฉลี่ยกลาง ซึ่งมีผลมาจากรูปแบบทางสถาปัตยกรรม อันได้แก่ สัดส่วนและรูปร่างของอาคาร ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิด รูปแบบช่องแสงหลังคา และภูมิทัศน์ภายใน ที่ตอบรับกับอิทธิพลของสภาวะแวดล้อมภายนอกได้ดี

ผลการหาตำแหน่งในขอบเขตสภาวะนำสบาย โดยใช้ค่าการสำรวจในช่วงกลางวันของฤดูร้อน พบว่า มีกรณีศึกษาจำนวน 3 ใน 8 โครงการที่อยู่ในสภาวะนำสบายที่ยอมรับได้ ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-2017 โดยเป็นผลของรูปแบบอาคารที่สามารถลดการแผ่รังสีความร้อนโดยรอบได้ดี มีความต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกับภายนอกที่ดี และมีความเร็วลมภายในที่ดี

สรุปผลการวิจัยทั้งการประเมินเปรียบเทียบคุณภาพสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติและสภาวะนำสบาย ชี้ตรงกันว่า กรณีศึกษาที่ 2 3 และ 7 ซึ่งได้แก่ แอมพาร์ค จุฬา เซ็นทรัลเฟสติวัล อีสต์วิลล์ และเมกาพาร์คบางนา มีคุณภาพและสมรรถภาพอาคารในภาพรวมที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยคุณภาพกลางของศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่งในกรุงเทพมหานคร

แนวทางการออกแบบศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง สามารถสรุปได้เป็น 4 แนวทาง ดังต่อไปนี้

1) ควรลดการรับความร้อนจากภายนอก โถงกึ่งเปิดโล่งควรมีสัดส่วนที่สูงเพื่อรองรับการเคลื่อนตัวขึ้นของอากาศร้อนและลดมุมรับการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคา หลังคาควรมีรูปแบบที่ไม่รับมุมตรงแสงแดดหรือรูปทรงที่เก็บอากาศร้อนใต้หลังคาและควรมีการระบายอากาศร้อนที่สะสมใต้หลังคา โดยควรเลือกวัสดุหลังคาที่ไม่ส่งผ่านความร้อนและวัสดุปูพื้นที่ไม่เก็บความร้อน ซึ่งควรลดอุณหภูมิอากาศภายในลงจากภายนอกอย่างน้อย -1.15°C และควรมีค่าอุณหภูมิเวตบัลบ์โกลบน้อยกว่าภายนอกอย่างน้อย -1.02°C (ตามตารางที่ 6) เพื่อให้อาคารมีสมรรถภาพอาคารที่ดีกว่าคุณภาพปานกลางของศูนย์การค้าทั่วไป

2) ควรมีช่องเปิดเพื่อรับและระบายลมธรรมชาติที่ดี โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการของลมขวางอาคารด้วยรูปแบบที่เหมาะสม เช่น ควรมีช่องเปิดในปริมาณที่มากพอและมีตำแหน่งที่สามารถกระจายลมได้ทั่วถึง ควรมีตำแหน่งช่องเปิดลมเข้าในทิศเหนือลมและช่องลมออกในทิศใต้น้อยกว่า 1 ด้าน และควรมีช่องเปิดระบายลมใต้หลังคาในทิศตรงกันข้าม

โดยควรมีสัดส่วนช่องเปิดที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยปานกลางของกรณีศึกษา โดยมีสัดส่วนช่องเปิดรวมไม่ต่ำกว่า 35 % (ตามค่าเฉลี่ยในตารางที่ 3) หรือมีประสิทธิภาพความเร็วลมไม่น้อยกว่า 41 % (ตามค่าเฉลี่ยในตารางที่ 6) ทั้งนี้การออกแบบอาคารควรมีการทดสอบประสิทธิภาพการไหลของอากาศโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Atthakorn, 2019) และควรมีอุปกรณ์เพิ่มความเร็วมในช่องลมสงบ เช่น พัดลมเพดานยักษ์ พัดลมติดผนัง พัดลมเร่งอากาศ หรือพัดลมไอน้ำ เป็นต้น (จากการสำรวจอุปกรณ์เสริมที่ใช้ในกรณีศึกษา)

3) ควรรับแสงธรรมชาติที่เพียงพอและเหมาะสม ในการใช้งานที่หลากหลายในโรงกึ่งเปิดโล่งในช่วงกลางวัน แสงควรมีลักษณะแสงที่ฉาบฉวยไม่จ้าเกินไปด้วยการกรองแสงธรรมชาติให้เข้ามาภายในอาคารได้อย่างพอเหมาะและทั่วถึง โดยแต่ละกิจกรรมควรมีค่าประสิทธิภาพแสงธรรมชาติที่พอเพียง เช่น ทางเดินควรมีค่า DF ไม่ต่ำกว่า 0.5 % ห้องโรงควรไม่ต่ำกว่า 1 % หรือห้องแสดงศิลปะหรือสินค้าควรมีค่า 4-6 % เป็นต้น (Lechner, 2015) โดยหากโรงกึ่งเปิดโล่งในศูนย์การค้าต้องการสร้างบรรยากาศและสวนกลางแจ้งภายนอก และต้องการความสว่างแก่ภายในร้านค้าโดยรอบอีกทอดหนึ่ง โรงกึ่งเปิดโล่งจึงควรมีประสิทธิภาพแสงธรรมชาติโดยมีค่า DF ไม่น้อยกว่า 20 % ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยปานกลางประสิทธิภาพแสงธรรมชาติในกรณีศึกษา (ตามตารางที่ 6)

4) ควรมีพื้นที่สีเขียวเพียงพอสำหรับบรรยากาศกลางแจ้งภายนอก ได้แก่ การจัดภูมิทัศน์ภายในที่ส่งเสริมกิจกรรมพักผ่อนหย่อนใจที่ให้ความรู้สึกถึงธรรมชาติและเป็นจุดมองแก่ร้านค้าโดยรอบ โดยควรมีพื้นที่สีเขียวในสัดส่วนที่ไม่น้อยกว่า 15 % ของพื้นที่โรงกึ่งเปิดโล่ง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยคุณภาพปานกลางของกรณีศึกษา (ตามตารางที่ 6) โดยควรมีองค์ประกอบที่หลากหลายดังที่มีในกรณีศึกษา ได้แก่ สวนหย่อมที่มีต้นไม้พืชพรรณที่หลากหลาย บ่อน้ำ สวนพ่นละอองน้ำ น้ำตก สวนแนวตั้ง ม่านน้ำตก หรือต้นไม้เทียม เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจเสริมสื่อภาพดิจิทัลและระบบเสียงหรือเพลงแนวธรรมชาติเพื่อบรรยากาศที่ผ่อนคลาย

6.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย

เนื่องจากการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาเทียบเคียงใช้ในงานวิจัยนี้ ผลการทดลองอาจคลาดเคลื่อนจากสภาวะนำสบายแบบปรับตัว (Adaptive Method) ตามมาตรฐาน ASHRAE 55 โดยในรูปแบบโรงกึ่งเปิดโล่งที่ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่อิสระหาบริเวณที่และจุดพักสบายภายในโรง อาจแตกต่างจากรูปแบบไม่ปรับอากาศที่ผู้ใช้สามารถควบคุมได้ตามทฤษฎี และเนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา การเดินทาง และงบประมาณ การทดสอบอาจมีความคลาดเคลื่อนในความละเอียดในการทดสอบ โดยงานวิจัยนี้ได้สุ่มทดสอบเพียงบางช่วงของวันและบางวันในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น จึงมีข้อเสนอแนะว่าในครั้งต่อไปควรวิจัยในเชิงลึกมากขึ้น เช่น การวิจัยเรื่องรูปแบบการเปิดรับแสงธรรมชาติในศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง หรือการวิจัยเรื่องการลดความร้อนจากหลังคาโปร่งแสงในศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง เป็นต้น

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการวิจัยครั้งนี้จะส่งเสริมเข้าใจในคุณค่าและประโยชน์ของศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง โดยทราบถึงองค์ประกอบที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติ และแนวทางการเสริมสร้างสภาวะน่าสบายภายในศูนย์การค้ากึ่งเปิดโล่ง อันจะเป็นแนวทางในการสร้างสรรค์สภาพแวดล้อมที่ยั่งยืน เพื่อเป็นสถานที่พื้นที่กึ่งเปิดโล่งถึงสาธารณะที่มีคุณภาพแก่ชุมชน และส่งเสริมรูปแบบการใช้ชีวิตกลางแจ้งภายนอกอย่างมีสไตล์ของคนในกรุงเทพมหานครต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต และได้รับการสนับสนุนจากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต สถาบันต้นสังกัด โดยคณะผู้บริหารและคณาจารย์ผู้ให้คำปรึกษา ผู้วิจัยจึงขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า**. เข้าถึงได้จาก:
http://meaenergysavingbuilding.net/downloads/knowledge2/sec_hyppermarket.pdf.
- เกษรวิช พ่วงเพิ่ม. (2553). **ลานพื้นที่ว่างส่วนกลางของศูนย์การค้าระดับชุมชน และความเป็นพื้นที่ที่สาธารณะของชุมชนเมืองกรุงเทพมหานคร**. (วิทยานิพนธ์การวางแผนชุมชนเมืองและสภาพแวดล้อมมหัพัต, มหาวิทยาลัยศิลปากร).
- ญาณ เกห์ล. (2559). **เมืองของผู้คน**. (ศรีสุเมธ ฤทธิ์ไพโรจน์, แปล.). กรุงเทพฯ: ลายเส้น พับบลิชซิง.
- ปรเมศร์ อดิตยกุล. (2549). **การประมาณค่าดัชนีความร้อนโดยวิธี Steadman**. เข้าถึงได้จาก:
http://www.arcims.tmd.go.th/Research_files/Estimating%20Heat%20Index%20Value%20Using%20Steadmans%20Method.pdf.
- ศศิธร ศรีเพื่องฟู. (2560). **การศึกษาความสบายเชิงอุณหภูมิของคนไทยภายในสถาบันดยกรรมประเภทโบสถ์**. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 11(3), 85-98.
- สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ. (2559). **การสำรวจสภาวะสบายเชิงความร้อนของนักศึกษาในห้องไม่ปรับอากาศ**. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 15(2), 147-160.
- ASHRAE. (2017 a). **ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. (2017 b). **2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition)**. Atlanta: ASHRAE.
- Atthakorn, S. (2019). **Airflow Patterns of Semi-Open Shopping Malls in Bangkok**. In K. Wongwailkhit (Eds.). **Proceedings of the 4th RSU International Research Conference 2019**. (pp. 527-542). Pathumthani: Research Institute, Rangsit University.
- Givoni, B. (1998). **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley and Sons.
- Khedari, J., Yamtraipat, N., Pratintong, N., & Hirunlabh, J. (2000). **Thailand Ventilation Comfort Chart**. **Energy and Buildings**. 2000(32), 245-249.
- Lechner, N. (2015). **Heating, Cooling, Lighting; Sustainable Design Methods for Architects**. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Olgay, V. (1963). **Design with Climate**. Princeton: Princeton University Press.
- Perry, L. (2018). **The Green Mountain Gardener Articles: Benefits of Using Plants Indoors**. Retrieved from:
<http://pss.uvm.edu/ppp/articles/healthyin.html>.
- Grondzik, W., Kwok, A., Stein, B., and Reynolds, J. (2014). **Mechanical and Electrical Equipment for Building**. 12th ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Tyler, H., Stefano, S., Alberto, P., Toby, C., Dustin, M., and Kyle, S. (2017). **CBE Thermal Comfort Tool**. Retrieved from: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>.