ผลกระทบของรูปทรง ทิศทาง และเปลือกอาคารสำนักงาน ต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน AHSRAE 90.1-2016

ทัตพงศ์ คมกฤส[1*] และชนิกานต์ ยิ้มประยูร[1]

[1]ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
*tatpong.ko@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของรูปทรง ทิศทางการจัดวาง และเปลือกอาคารต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน ตามมาตรฐาน AHSRAE 90.1-2016 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแนวทางให้แก่เจ้าของอาคารและสถาปนิกในการออกแบบอาคารประเภทสำนักงานในการออกแบบเพื่อขอประเมินเป็นอาคารเขียวตามเกณฑ์ LEED v4.1 ซึ่งกระบวนการศึกษาเริ่มต้นที่การสำรวจรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 72 อาคาร เพื่อนำข้อมูลที่ได้มากำหนดเป็นตัวแทนของอาคารที่จะทำการศึกษา โดยกำหนดให้อาคารตัวแทนมีพื้นที่ต่อชั้น 1,600 ตร.ม. มีความสูงพื้นถึงพื้น 4 เมตร มีตำแหน่งลิฟท์อยู่บริเวณกึ่งกลางของผังพื้นอาคาร มีค่า shape factor (SF) ทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ 1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:2.5 มีความสูงหรือจำนวนชั้นทั้งหมด 3 ความสูง ได้แก่ 8 ชั้น, 15 ชั้น และ 30 ชั้น และกำหนดตำแหน่งที่ตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร เมื่อนำอาคารตัวแทนทั้งหมดมาสร้างเป็นอาคารโพรโพสด์ (proposed) รูปแบบต่าง ๆ อ้างอิงตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2016 โดยปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมในปัจจัยต่าง ๆ กับอาคารโพรโพสด์ (proposed) ตั้งแต่ทิศทางการหมุน วัสดุเปลือกอาคาร อัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ (WWR) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ ผลการทดลองพบว่า ตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของการใช้พลังงานอาคารมากที่สุดได้แก่ชนิดและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (CoP) ของระบบปรับอากาศ โดยระบบปรับอากาศแบบวีอาร์เอฟ (Variable Refrigerant Flow System, VRF) ที่มีค่า CoP เท่ากับ 4.56 ส่งผลให้อาคารโพรโพสด์ (proposed) ที่ใช้ระบบดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์ประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับอาคารเบสไลน์ (baseline) เพียง 9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Centrifugal Chilled Water System, CHW) ที่มีค่า CoP เท่ากับ 7.03 แล้วมีเปอร์เซ็นต์ประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับอาคารเบสไลน์ (baseline) ถึง 24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตัวแปรที่มีอิทธิพลน้อยที่สุดต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของการใช้พลังงานอาคารได้แก่ทิศทางการจัดวางอาคาร ทั้งนี้ในส่วนของตัวแปรด้านมิติทางเปลือกอาคารอื่น ๆ จำพวกค่า WWR วัสดุผนัง วัสดุกระจกนั้น แปรผันต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของการใช้พลังงานอาคารอย่างตรงไปตรงมา ยกตัวอย่างเช่นอาคารโพรโพสด์ (proposed) ที่มีค่า WWR เท่ากับ 60% มีผลให้อาคารใช้พลังงานมากกว่าอาคารโพรโพสด์ (proposed) ที่มีค่า WWR เท่ากับ 40% เนื่องจากมีพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทึบมากกว่า เป็นต้น

คำสำคัญ: LEED v4.1 ASHRAE 90.1-2016 อาคารประหยัดพลังงาน อาคารสำนักงาน

Impact of Building Forms, Orientations and Envelope on Energy Performance of Office Building Based on the ASHRAE Standard 90.1-2016

Tatpong Komkris[1*] and Chanikarn Yimprayoon[1]

[1]Department of Building Innovation and Technology, Faculty of Architecture, Kasetsart University
*tatpong.ko@ku.th

Abstract

This research studied the effects of shape, building orientation and building envelope on the energy saving of office buildings according to AHSRAE 90.1-2016 standards, to create guidelines for building owners and architects in designing office building in order to be evaluated green buildings according to LEED v4.1 criteria. The study began with a detailed survey of the design of 72 office building designs in Bangkok. The representative buildings then were determined to have an area per floor of 1,600 m^2, a floor-to-floor height of 4 meters and a service core location in the center of the building's floor plan. There were 3 heights of building including 8 floors, 15 floors and 30 floors. The site location was set in Bangkok. All representative buildings were built into proposed buildings referring to the requirements of the Appendix G, ASHRAE 90.1-2016 standard, by modifying various architectural elements with the proposed building, such as the direction of orientation, building envelope materials, window-to-wall ratio (WWR), lighting power density (LPD) and coefficient of performance (CoP) of HVAC systems. It has been found that the variables that most influenced the increase and decrease of end-use energy were the type and coefficient of performance (CoP) of the HVAC system. The Variable Refrigerant Flow (VRF) system with a CoP value of 4.56 have an energy-saving percentage of only 9 percent compared to the baseline building while Centrifugal Chilled Water (CHW) system with a CoP value of 7.03 had energy saving percentage at 24 percent. The variables that least influenced the increase and decrease of end-use energy were the orientation of the building. In terms of other building envelope variables, such as WWR, opaque wall materials, and fenestration materials, affect directly to the increasing and decreasing of building energy. For example, a proposed building with a WWR value of 60% will cause the building to use more energy than a proposed building with a WWR% value of 40% because there is more fenestration area per opaque area, etc.

Keywords: LEED v4.1, ASHRAE 90.1-2016, Energy Efficiency in Building, Office Building

1. บทนำ

ปัจจุบัน แนวคิดเรื่องความยั่งยืนและอาคารเขียวนั้นมีบทบาทอย่างยิ่งในตลาดอสังหาริมทรัพย์ทั่วโลกโดยเฉพาะในตลาดอาคารสำนักงาน และมีแนวโน้มที่อสังหาริมทรัพย์ที่จะได้การรับรองเป็นอาคารเขียวจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในอีก 5 ปีข้างหน้ากว่า 80% ของพื้นที่สำนักงานใหม่ในกรุงเทพมหานครที่จะแล้วเสร็จกว่า 1.67 ล้านตารางเมตรนั้น จะได้รับการรับรองเป็นอาคารเขียว การผ่านการขอประเมินอาคารเขียวนั้นมีข้อดีหลายอย่างต่อผู้ประกอบการ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งจะช่วยให้อาคารประหยัดค่าไฟ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน ส่งเสริมภาพลักษณ์ขององค์กร และในบางกรณียังสามารถเป็นประโยชน์ในการลดหย่อนภาษีได้ โดยเกณฑ์อาคารเขียวที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและถูกนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการดัดแปลงเกณฑ์อาคารเขียวในแต่ละประเทศได้แก่เกณฑ์ Leadership in Energy and Design (LEED) ของประเทศสหรัฐอเมริกา [1]

ในการขอประเมินอาคารเขียวนั้น หัวข้อด้านประสิทธิภาพพลังงานของอาคารถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่กินระยะเวลาในการดำเนินงานแก่ผู้ออกแบบหรือสถาปนิกพอสมควร เนื่องจากการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานนั้นใช้ระยะเวลาและต้องการข้อมูลประกอบหลากหลายอย่างเพื่อที่จะได้ออกมาซึ่งแนวทางที่อาคารที่ออกแบบนั้นจะสามารถได้คะแนนตามเป้าประสงค์ที่คาดหวังไว้ และในสถานการณ์ของการดำเนินงานออกแบบจริง โครงการมักจะยังอยู่ในช่วงระยะเวลาของการสร้างแนวความคิดและการพัฒนาแบบร่างขั้นต้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ข้อมูลประกอบในเชิงกายภาพของอาคารจึงยังมีปริมาณจำกัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแนวทางให้แก่เจ้าของอาคารและสถาปนิกในการออกแบบเปลือกอาคารประเภทสำนักงานในการออกแบบเพื่อขอประเมินเป็นอาคารเขียวตามเกณฑ์ LEED โดยจะจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม DesignBuilder v6.1.8.021 ซึ่งมีกระบวนการศึกษาวิจัยเริ่มต้นตั้งแต่การสำรวจรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร โดยได้ทำการศึกษาจำนวนทั้งสิ้น 72 อาคาร เพื่อนำข้อมูลที่ได้มากำหนดเป็นตัวแทนของอาคารที่จะทำการศึกษา ผลการศึกษาในขั้นตอนดังกล่าวได้ข้อสรุปออกมาว่ากำหนดให้อาคารตัวแทนมีพื้นที่ต่อชั้นเท่ากันอยู่ที่ 1,600 ตร.ม. มีความสูงพื้นถึงพื้นเท่ากันอยู่ที่ 4 เมตร มีตำแหน่งลิฟท์อยู่บริเวณกึ่งกลางของผังพื้นอาคารเหมือนกัน มีค่า shape factor (SF) ทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ 1:1 1:1.5 1:2 และ 1:2.5 มีรูปแบบการจัดวางอาคารโดยหมุนอาคารทีละ 45 องศา มีความสูงหรือจำนวนชั้นทั้งหมด 3 ความสูง ได้แก่ 8 ชั้น 15 ชั้นและ 30 ชั้นมีสถานที่ตั้งเหมือนกันอยู่ที่กรุงเทพมหานคร จากนั้นจึงเป็นการสร้างอาคารเบสไลน์ (baseline) และอาคารโพรโพสด์ (proposed) ของอาคารรูปแบบต่าง ๆ ออกมาโดยอ้างอิงตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2016 APPENDIX G โดยปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมในปัจจัยต่าง ๆ กับอาคารโพรโพสด์ (proposed) ตั้งแต่วัสดุเปลือกอาคาร สัดส่วนช่องเปิดกับผนังทึบ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ สุดท้ายจึงเป็นการอภิปรายผล และแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการเลือกใช้องค์ประกอบในการออกแบบสถาปัตยกรรมในแต่ละปัจจัยข้างต้นว่าหากออกแบบด้วยชุดองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไปจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานอย่างไรบ้าง

2. การตรวจเอกสาร

2.1 เกณฑ์ LEED V4.1

LEED คือ เกณฑ์สำหรับการประเมินอาคารเขียว โดยย่อมาจาก Leadership in Energy and Design หรือความเป็นผู้นำที่เกี่ยวกับการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับพลังงานและ สิ่งแวดล้อม ซึ่งเริ่มต้นขึ้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยองค์กร USGBC (U.S. Green Building Council) เกิดจากการรวมตัวกันของผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการก่อสร้างและออกแบบอาคาร เพื่อผลักดันให้เกิดเกณฑ์อาคารเขียวขึ้น โดยมีพันธกิจหลักในการเปลี่ยนแปลงวิธีการออกแบบ ก่อสร้าง และใช้อาคารให้มีความใส่ใจรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมมากขึ้น มีเนื้อหาครอบคลุมประเด็นต่าง ๆ ในการออกแบบอาคาร

2.2 มาตรฐาน ASHRAE 90.1-2016 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings

สมาคมวิศวกรปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) ได้ทำการค้นคว้าวิจัยรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารในเมืองต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาฐานการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงที่มีการปรับอากาศชนิดต่าง ๆ ซึ่งตั้งอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศแตกต่างกันตามความต้องการขั้นต่ำของแต่ละสภาพอากาศนั้น จนกระทั่งพัฒนาเป็นมาตรฐาน ASHRAE 90.1 ซึ่งครอบคลุมข้อมูลสภาพอากาศต่าง ๆ ที่มีอยู่ทั่วโลก ตั้งแต่เขตร้อนชื้น ร้อนแห้ง อบอุ่น เย็น หนาว หนาวจัด โดยมาตรฐาน ASHRAE 90.1 เป็นมาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่สามารถใช้ได้กับทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่าที่มีการปรับปรุงใหม่ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยซึ่งอยู่ในกลุ่มสภาพภูมิอากาศที่ 0 คือภูมิอากาศแบบร้อน-ร้อนมาก [2]

2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

2.3.1 ระบบกรอบอาคาร

วัสดุกรอบอาคารมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร แบ่งเป็น ผนังทึบ กระจก หลังคา และอุปกรณ์บังแดด ซึ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นที่ตัววัสดุกรอบอาคารเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ อันส่งผลต่ออุณหภูมิภายในและภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ [3]

2.3.2 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศในอาคารเป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุด โดยสำหรับประเทศไทย เครื่องปรับอากาศทำหน้าที่ในการนำความร้อนและความชื้นในอาคารออกไป และมีการใช้งานระบบปรับอากาศที่แตกต่างกันออกไปตามประเภทการใช้งานและขนาดของอาคารสำหรับในประเทศไทย โดยฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 ถือเป็นสิ่งที่บ่งบอกประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยก่อนที่เครื่องปรับอากาศจะได้รับการรับรองว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานนั้นจะต้องผ่านการวัดค่าสมรรถนะ โดยค่าสมรรถนะโดยทั่วไปนิยมใช้กันสองแบบ คือค่าประสิทธิภาพพลังงานหรือ Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะหรือ Coefficient of Performance (CoP) [4]

2.3.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกับการใช้พลังงานในอาคาร ในการออกแบบระบบแสงสว่างจะต้องคำนึงถึงคุณภาพหรือประสิทธิภาพของแสงและลักษณะการใช้งานเป็นหลัก โดยมีหลักการในการออกแบบระบบแสงสว่างเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานอาคาร ยกตัวอย่างเช่น อาศัยการใช้แสงจากธรรมชาติในช่วงกลางวันจะช่วยลดภาระในการส่องสว่างภายในพื้นที่ได้ หรือใช้หลอด LED ซึ่งเป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานยืนนานและเกิดความร้อนน้อย [5]

2.4 ทิศทางการจัดวางอาคารและรูปทรงของอาคาร

ประเทศไทยตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ที่ประมาณละติจูดที่ 14 เหนือ ทำให้มีทางเดินของดวงอาทิตย์อ้อมใต้ 9 เดือน และอ้อมเหนือ 3 เดือน ดังนั้นการจัดวางอาคารในประเทศไทยจึงนิยมวางอาคารตามตะวัน คือการวางอาคารหันด้านยาวไปทางทิศเหนือและใต้และหันด้านแคบไปทางทิศตะวันออกและตะวันตกเพื่อให้รับแสงแดดตะวันตกซึ่งเป็นช่วงที่ร้อนที่สุดของวันให้มากที่สุด ทั้งยังเป็นการหันอาคารรับลมประจำที่จะมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้อีกด้วย Shape Factor (SF) สำหรับอาคารที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ ควรมีรูปร่างอาคารที่แคบและยาวโดยสัดส่วนด้านแคบต่อด้านยาวของอาคารที่เหมาะสม คือ 1:1.7 – 1:3 แต่หากอาคารใช้ระบบปรับอากาศเป็นหลัก รูปทรงอาคารจะต้องพยายามให้มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเพื่อลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าอาคารผ่านเปลือกของอาคาร ดังนั้น สัดส่วนที่เหมาะสมคือ 1:1 หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส [6]

2.5 รูปแบบอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจรายละเอียดการออกแบบอาคารผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตจากเว็ปไซต์ตัวแทนซื้อขายหรือปล่อยเช่าอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งมีขอบเขตในการสำรวจคืออาคารสำนักงานระดับเกรดเอ (ใช้วัสดุคุณภาพสูงและมีสิ่งอำนวยความสะดวกครบครัน) และสำรวจอาคารที่มีการก่อสร้างแล้วเสร็จตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 เป็นต้นมา ทั้งหมด 72 โครงการ โดยรายละเอียดที่ทำการสำรวจประกอบด้วยปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ, ราคาให้เช่าต่อตารางเมตร, ผังพื้นอาคาร, ข้อมูลทิศเหนือ, ทัศนียภาพอาคาร, จำนวนชั้น, ระดับความสูงจากพื้นถึงพื้น (floor to floor), ปริมาณพื้นที่ใช้สอยต่อชั้น, ปริมาณพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด, รูปร่างของผังพื้น, ตำแหน่งการจัดวางลิฟท์, ค่า Shape Factor (SF) และประเภทระบบปรับอากาศของอาคาร จากการสำรวจทำให้สามารถสรุปข้อมูลได้ว่ามีราคาค่าเช่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,092 บาท/ตร.ม. จำนวนชั้นเฉลี่ยอยู่ที่ 28 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงพื้น (floor to floor) แทบทุกอาคารอยู่ที่ 4 เมตร รูปร่างของผังพื้นอาคารสูงสุดเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า 43 โครงการ รองลงมาเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส 10 โครงการ มีค่า SF เฉลี่ยอยู่ที่ 1.57 มีขนาดเฉลี่ยของผังพื้นแต่ละชั้นอยู่ที่ 1,604 ตร.ม. ขนาดพื้นที่รวมของอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 34,771 ตร.ม. ตำแหน่งการวางลิฟท์หรือแกนบริการอาคารเฉลี่ยอยู่ที่กึ่งกลางอาคารถึง 51 อาคาร และมีประเภทของระบบปรับอากาศสูงสุดเป็นระบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Centrifugal Chilled Water System, CHW) จำนวน 52 โครงการ รองลงมาเป็นระบบวีอาร์เอฟ (Variable Refrigerant Flow System, VRF) จำนวน 9 โครงการ

โดยจากรายละเอียดข้อมูลการสำรวจข้างต้นสามารถสังเคราะห์ออกมาเป็นตัวแทนอาคารได้ทั้งหมด 3 อาคารซึ่งเป็นอาคารที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 8 ชั้น 15 ชั้นและ 30 ชั้น โดยทุกอาคารตัวแทนจะมีตัวแปรควบคุมที่กำหนดให้ใช้ร่วมกัน ได้แก่ ความสูงจากพื้นถึงพื้นของอาคาร (floor to floor) อยู่ที่ 4 เมตร พื้นที่ต่อชั้นของอาคารอยู่ที่ 1,600 ตร.ม. ตำแหน่งคอบริการและลิฟท์อยู่บริเวณกึ่งกลางของผังพื้นอาคาร วัสดุพื้นและหลังคาชนิดเดียวกัน และมีสถานที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร

3. วิธีการวิจัย

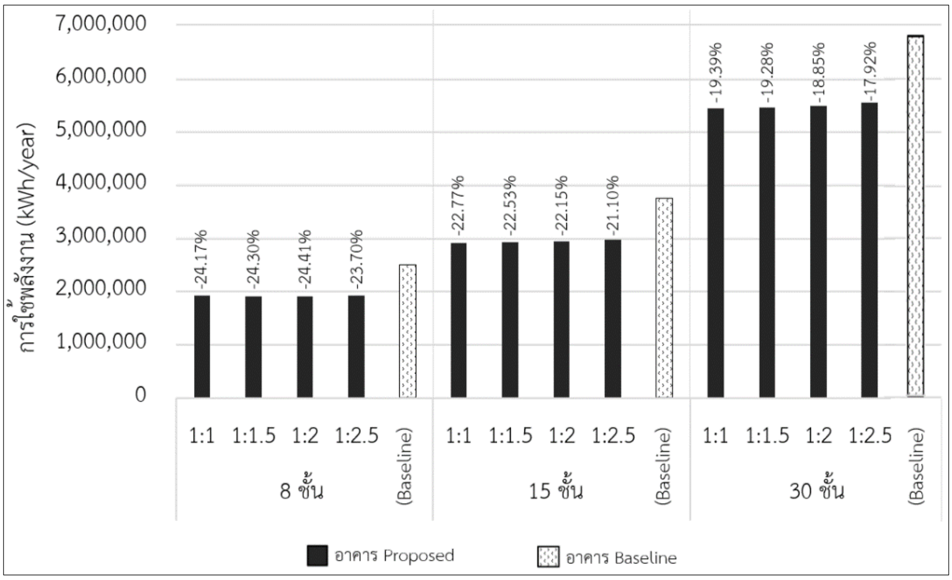
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแนวทางให้แก่เจ้าของอาคารและสถาปนิกในการออกแบบเปลือกอาคารประเภทสำนักงานในการออกแบบเพื่อขอประเมินเป็นอาคารเขียวตามเกณฑ์ LEED โดยจะจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม DesignBuilder v6.1.8.021 ซึ่งการศึกษาเริ่มต้นจากการสำรวจรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตจากเว็ปไซต์ตัวแทนซื้อขายหรือปล่อยเช่าอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีขอบเขตในการสำรวจตามที่กล่าวในหัวข้อก่อนหน้า ทำการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและกำหนดเป็นตัวแทนของอาคารที่จะทำการศึกษาในสูง 3 ระดับ จึงทำให้ได้ออกมาทั้งหมด 3 อาคาร ต่อไปจึงทำการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่า SF, ทิศทางการจัดวางอาคาร, ชนิดผนัง, ชนิดกระจก, อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ (Window to Wall Ratio, WWR), ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างของหลอดไฟ (Lighting Power Density, LPD) และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, CoP) รวมแล้วทั้งหมด 7 ประเภทตัวแปร จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการสร้างอาคารเบสไลน์ (baseline) และอาคารโพรโพสด์ (proposed) ของอาคารรูปแบบต่าง ๆ ออกมาโดยอ้างอิงตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2016 APPENDIX G และดำเนินจำลองการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอาคาร เกิดเป็นกรณีความเป็นไปได้รวมแล้วทั้งหมด 15,552 กรณี จากนั้นผู้วิจัยจึงบันทึกผลข้อมูลค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปเปรียบเทียบอัตราส่วนการประหยัดพลังงานระหว่างอาคารโพรโพสด์ (proposed) และอาคารเบสไลน์ (baseline) และแสดงผลข้อมูลในกรณีที่มีความน่าสนใจออกมาเพื่อการวิจารณ์ผลการทดลองว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารต่าง ๆ นั้น มีความสัมพันธ์หรือส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคารอย่างไรบ้าง สุดท้ายจึงเป็นการสรุปผลการทดลอง เสนอแนวทางการออกแบบและข้อเสนอแนะของงานวิจัย

4. ผลการวิจัย

หลังจากทำการจำลองอาคารโพรโพสด์ (proposed) ทั้งหมด 15,552 กรณีด้วยโปรแกรม DesignBuilder ในเขตที่ตั้งกรุงเทพมหานครและได้ผลการจำลองออกมาในรูปแบบของค่าการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอาคาร จึงนำผลการจำลองมาวิจารณ์อิทธิพลของตัวแปรชนิดต่าง ๆ ซึ่งการวิจารณ์ผลประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 อิทธิพลของค่า SF ต่อการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ (12 กรณี)

ในการเพิ่มขึ้นของค่า SF ซึ่งงานวิจัยได้กำหนดเอาไว้ 4 ค่า ได้แก่ 1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:2.5 พบว่ายิ่งค่า SF เพิ่มขึ้นการประหยัดพลังงานรวมของอาคารตลอดทั้งปีก็ลดลงตามลำดับเพราะเป็นผลมาจากพื้นที่ผนังฝั่งทิศใต้ที่เพิ่มมากขึ้นและทำให้กรอบอาคารได้รับความร้อนและส่งผ่านเข้ามาภายในตัวอาคารมากยิ่งขึ้น โดยพบว่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานที่ลดลงนั้นเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ถือว่าน้อยมาก และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันก็ไม่พบความแตกต่างของสัดส่วนการประหยัดพลังงานที่ลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญแต่อย่างใด ดังแสดงในภาพที่ 1 ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้ได้กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ของทุกกรณีให้เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด ดังนี้ ทิศทางการจัดวางหมุน 0 องศา, ค่า WWR เท่ากับ 60%, ผนัง W3, กระจก G3, ค่า LPD เท่ากับ 8 W/m^2 และค่า CoP เท่ากับ 6.51 โดยกำหนดชนิดของระบบปรับอากาศเป็นระบบ CHW

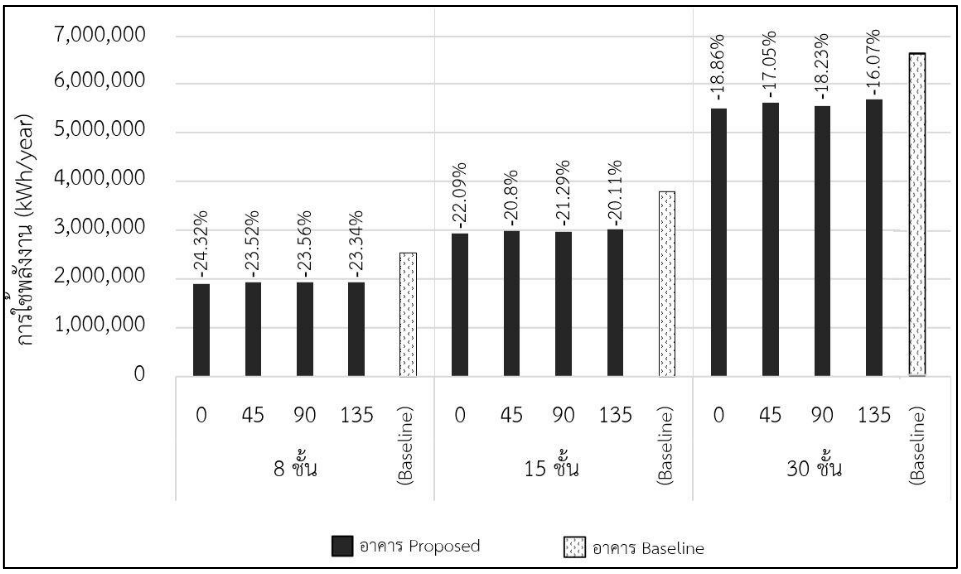


ภาพที่ 1 การใช้และการประหยัดพลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนค่า SF เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ

4.2 อิทธิพลของทิศทางการจัดวางต่อการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ (12 กรณี)

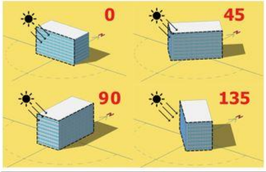
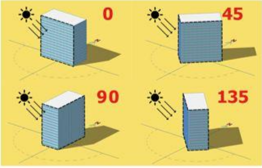
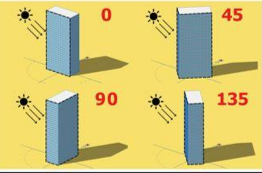
ในการปรับเปลี่ยนทิศทางการจัดวางของอาคาร ซึ่งงานวิจัยได้กำหนดเอาไว้ 4 ทิศทาง ได้แก่ หมุน 0 องศา, 45 องศา, 90 องศา และ 135 องศา พบว่าทิศทางการจัดวางที่ส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานมากที่สุดคือการวางอาคารหมุน 0 องศา ถัดมาจึงเป็นการวางอาคารหมุน 90 องศา 45 องศาและ 135 องศาตามลำดับ โดยในการหมุน 0 องศานั้นสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าการหมุน 135 องศาอยู่ที่ 1-3% โดยประมาณ เป็นเพราะทิศทางการวางอาคารหมุน 135 องศาทำให้ผิวสัมผัสของอาคารเผชิญกับความร้อนจากทิศใต้โดยตรงถึงสองด้าน ทั้งนี้ เมื่อเทียบทั้ง 12 กรณีกับการใช้พลังงานของอาคารเบสไลน์ (baseline) ถือว่าประหยัดอยู่ในช่วง 16-24% โดยประมาณ และยังพบว่าหากในอาคารที่มีความสูง 8 ชั้น การประหยัดพลังงานที่แย่ลงเมื่ออาคารปรับทิศทางจากการหมุน 90 องศาไปสู่ 135 องศานั้นแย่ลง 0.22% แต่ในอาคารสูง 30 ชั้น พบว่าการประหยัดพลังงานแย่ลง 2.16% แสดงให้เห็นว่ายิ่งอาคารมีความสูงมากขึ้น การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการใช้พลังงานในอาคารเมื่อเกิดการปรับเปลี่ยนทิศทางการจัดวางก็ยิ่งเห็นผลชัดเจนขึ้น เป็นเพราะพื้นที่ผิวสัมผัสของอาคารที่ต้องเผชิญกับความร้อนจากทิศใต้มีพื้นที่มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้ได้กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ของทุกกรณีให้เป็นค่าเดียวกัน

ทั้งหมด ดังนี้ ค่า SF เท่ากับ 1:2, ค่า WWR เท่ากับ 60%, ผนัง W3, กระจก G3, ค่า LPD เท่ากับ 8 W/m^2 และค่า CoP เท่ากับ 6.51 โดยกำหนดชนิดของระบบปรับอากาศเป็นระบบ CHW



ภาพที่ 2 การใช้และการประหยัดพลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนทิศทางการจัดวาง เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ

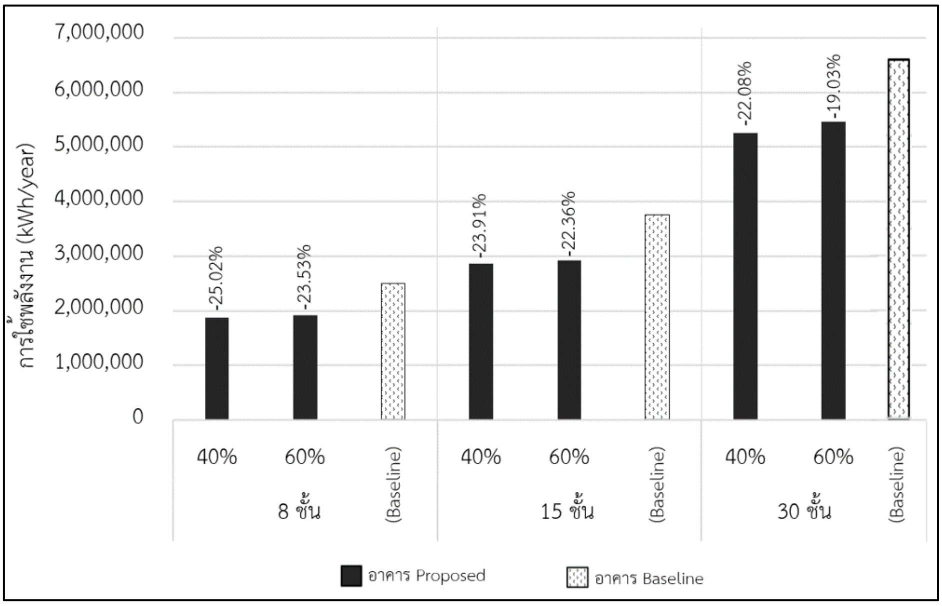
ตารางที่ 1 ค่าการใช้พลังงานในอาคารความสูงระดับต่าง ๆ เมื่อเกิดการปรับเปลี่ยนทิศทางการจัดวาง

	จำนวนชั้น (ชั้น)	SF	การใช้พลังงานในทิศทางการหมุนแบบต่าง ๆ (kWh/year)			
			0	45	90	135
	8	1:2	1,912,533	1,932,922	1,931,830	1,9373,602
	15	1:2	2,941,332	2,990,239	2,971,663	3,016,410
	30	1:2	5,494,627	5,618,130	5,537,999	5,684,206

4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ (WWR) ต่อการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ (6 กรณี)

ในการปรับเปลี่ยนค่า WWR ซึ่งงานวิจัยได้กำหนดเอาไว้ 2 ค่า ได้แก่ 40% และ 60% พบว่าค่า WWR ที่ 40% สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าค่า WWR ที่ 60% อยู่ที่ 1.5-3.0% โดยประมาณ เป็นเพราะการที่อาคารมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบที่มากขึ้นทำให้ความร้อนสามารถส่งผ่านเข้ามาได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากวัสดุกระจกมักมีค่าการถ่ายเท

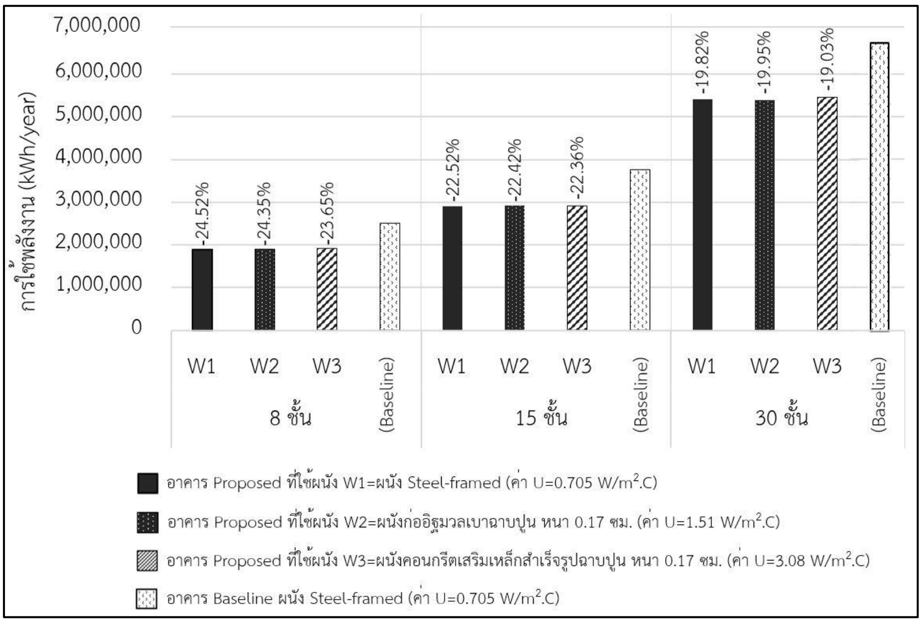
ความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่วางกว่าวัสดุผนังทึบ ทั้งนี้เมื่อเทียบทั้ง 6 กรณีกับการใช้พลังงานของอาคารเบสไลน์ (baseline) ถือว่าประหยัดอยู่ในช่วง 19-25% โดยประมาณ และยังพบว่าหากในอาคารที่มีความสูง 8 ชั้น การประหยัดพลังงานที่แย่ลงเมื่ออาคารปรับเปลี่ยนค่า WWR จาก 40% เป็น 60% นั้นแย่ลง 1.49% แต่ในอาคารสูง 30 ชั้นพบว่าการประหยัดพลังงานแย่ลง 3.05% แสดงให้เห็นว่ายิ่งอาคารมีความสูงมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในอาคารเมื่อเกิดการเพิ่มค่า WWR ก็ยิ่งเห็นผลชัดเจนขึ้นตามไปด้วย เพราะปริมาณพื้นที่ช่องเปิดมีเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้ได้กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ของทุกกรณีให้เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด ดังนี้ ค่า SF เท่ากับ 1:1, ทิศทางการจัดวางหมุน 0 องศา, ผนัง W3, กระจก G3, ค่า LPD เท่ากับ 8 W/m^2 และค่า CoP เท่ากับ 6.51 โดยกำหนดชนิดของระบบปรับอากาศเป็นระบบ CHW



ภาพที่ 3 การใช้และการประหยัดพลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนค่า WWR เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ

4.4 อิทธิพลของชนิดผนังต่อการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ (9 กรณี)

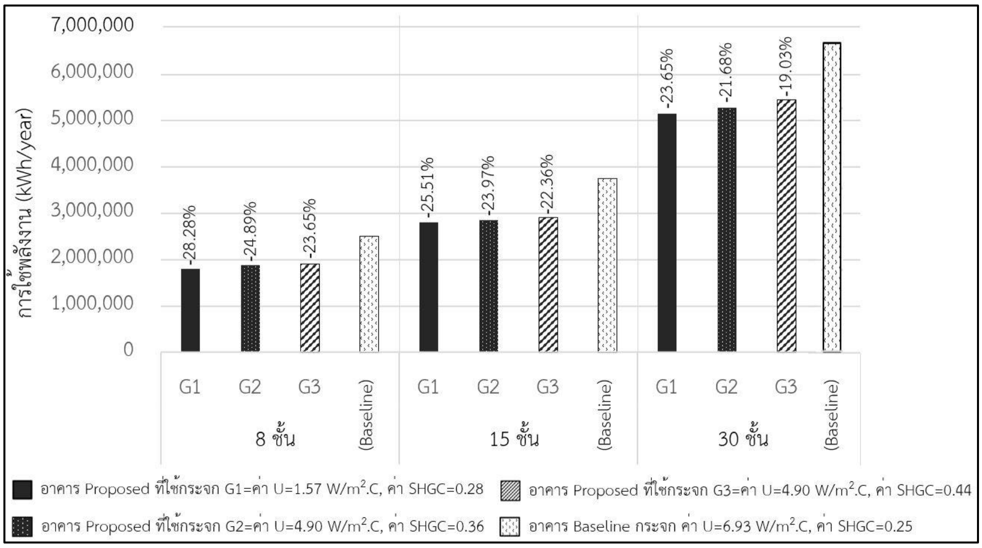
ในการปรับเปลี่ยนชนิดผนังของอาคาร ซึ่งงานวิจัยได้กำหนดเอาไว้ 3 ชนิด ได้แก่ ผนัง W1 (ผนัง Steel-framed), ผนัง W2 (ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน หนา 0.17 ซม.) และผนัง W3 (ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปฉาบปูน หนา 0.17 ซม.) พบว่าชนิดผนังที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดได้แก่ผนัง W1 ซึ่งเป็นผนังที่มีค่า U น้อยที่สุด รองลงมาจึงเป็นผนัง W2 และผนัง W3 ตามลำดับ โดยผนังทั้ง 3 ชนิดศักยภาพในการประหยัดพลังงานถือว่าไม่ห่างกันมากนัก ทั้งนี้ เมื่อเทียบทั้ง 9 กรณีกับการใช้พลังงานของอาคารเบสไลน์ (baseline) ถือว่าประหยัดอยู่ในช่วง 19-25% โดยประมาณ และยังพบว่าหากเป็นในอาคารที่มีความสูง 8 ชั้น การประหยัดพลังงานที่แย่ลงเมื่ออาคารปรับเปลี่ยนชนิดผนังจาก W2 เป็น W3 นั้นแย่ลง 0.7% แต่ในอาคารสูง 30 ชั้นพบว่าการประหยัดพลังงานแย่ลง 0.92% แสดงให้เห็นว่ายิ่งอาคารมีความสูงมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดผนังก็ยิ่งเห็นผลชัดเจนขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผนังของอาคารที่เผชิญกับความร้อนจากภายนอกมีพื้นที่มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4 ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้ได้กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ของทุกกรณีให้เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด ดังนี้ ค่า SF เท่ากับ 1:1, ทิศทางการจัดวางหมุน 0 องศา, ค่า WWR เท่ากับ 60%, กระจก G3, ค่า LPD เท่ากับ 8 W/m^2 และค่า CoP เท่ากับ 6.51 โดยกำหนดชนิดของระบบปรับอากาศเป็นระบบ CHW



ภาพที่ 4 การใช้และการประหยัดพลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดผนัง เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ

4.5 อิทธิพลของชนิดกระจกต่อการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ (9 กรณี)

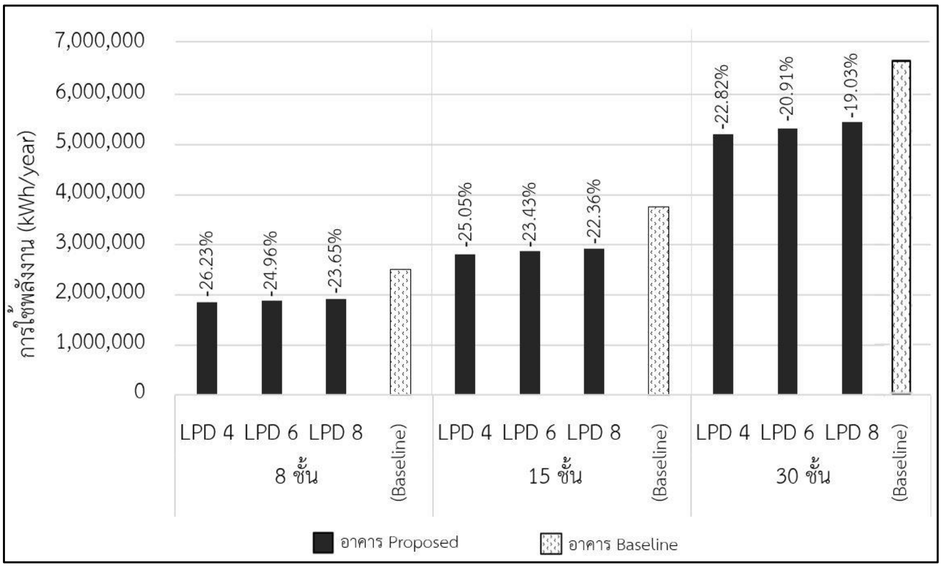
ในการปรับเปลี่ยนชนิดกระจกของอาคาร ซึ่งงานวิจัยได้กำหนดเอาไว้ 3 ชนิด ได้แก่ กระจก G1 (ค่า U=1.57 W/m^2.C, ค่า SHGC=0.28), กระจก G2 (ค่า U=4.90 W/m^2.C, ค่า SHGC=0.36) และกระจก G3 (ค่า U=4.90 W/m^2.C, ค่า SHGC=0.44) พบว่าชนิดกระจกที่ศักยภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดได้แก่กระจก G1 ซึ่งเป็นกระจกที่มีค่า U และค่า SHGC น้อยที่สุดโดยประหยัดกว่ากระจก G2 และกระจก G3 ถึง 2-5% โดยประมาณ กระจกที่มีศักยภาพรองลงมาจึงเป็นกระจก G2 และกระจก G3 ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อเทียบทั้ง 9 กรณีกับการใช้พลังงานของอาคารเบสไลน์ (baseline) ถือว่าประหยัดอยู่ในช่วง 19-28% โดยประมาณ และยังพบว่าหากเป็นในอาคารที่มีความสูง 8 ชั้น การประหยัดพลังงานที่แย่ลงเมื่ออาคารปรับเปลี่ยนชนิดกระจกจาก G2 เป็น G3 นั้นแย่ลง 1.24% แต่ในอาคารสูง 30 ชั้นพบว่าการประหยัดพลังงานแย่ลง 2.65% แสดงให้เห็นว่ายิ่งอาคารมีความสูงมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดกระจกก็ยิ่งเห็นผลชัดเจนขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากปริมาณพื้นที่กระจกของอาคารที่ต้องเผชิญความร้อนจากภายนอกมีพื้นที่มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้ได้กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ของทุกกรณีให้เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด ดังนี้ ค่า SF เท่ากับ 1:1, ทิศทางการจัดวางหมุน 0 องศา, ค่า WWR เท่ากับ 60%, ผนัง W3, ค่า LPD เท่ากับ 8 W/m^2 และค่า CoP เท่ากับ 6.51 โดยกำหนดชนิดของระบบปรับอากาศเป็นระบบ CHW



ภาพที่ 5 การใช้และการประหยัดพลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดกระจก เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ

4.6 อิทธิพลของค่า LPD ต่อการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ (9 กรณี)

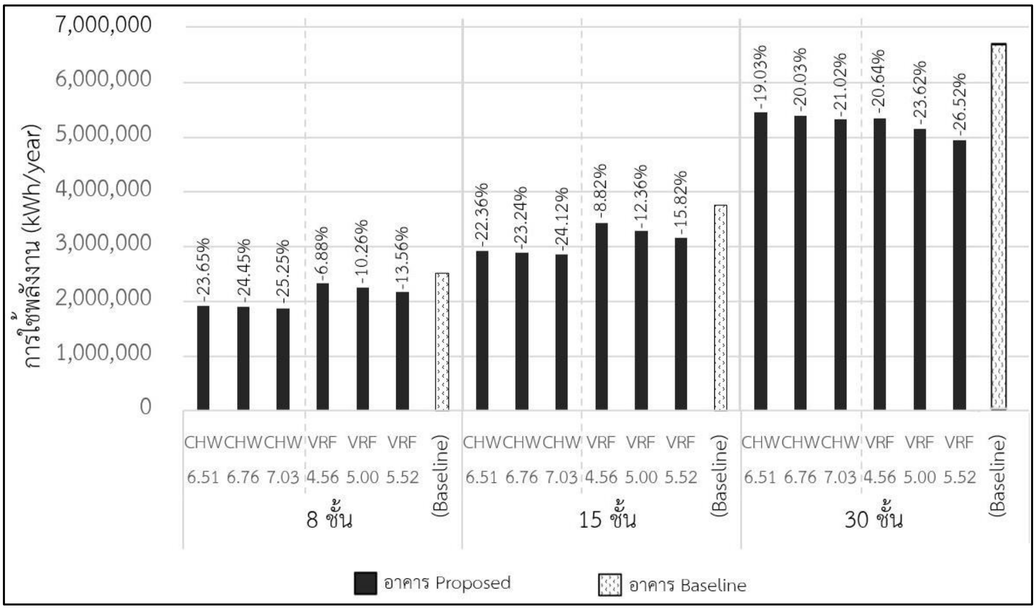
ในการปรับเปลี่ยนค่าLPD ของระบบไฟฟ้าของอาคาร ซึ่งงานวิจัยได้กำหนดไว้ 3 ค่า ได้แก่ 4 W/m^2, 6 W/m^2 และ 8 W/m^2 พบว่าค่า LPD 4 W/m^2 ประหยัดมากกว่าค่า LPD ที่ 8 W/m^2 ถึง 2.5-3.8% เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของดวงโคมในพื้นที่หนึ่งตารางเมตรมีปริมาณน้อยกว่าจึงประหยัดพลังงานมากกว่า และโดยรวมแล้วทั้ง 9 กรณีนี้เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารเบสไลน์ (baseline) ถือว่าประหยัดอยู่ในช่วง 19-26% โดยประมาณ และยังพบว่าหากเป็นในอาคารที่มีความสูง 8 ชั้น การประหยัดพลังงานที่แย่ลงเมื่อปรับเปลี่ยนค่า LPD จาก 4 W/m^2 ไปเป็น 6 W/m^2 เท่ากับ 1.27% แต่ในอาคารสูง 30 ชั้นพบว่าการประหยัดพลังงานแย่ลง 3.79% แสดงให้เห็นว่ายิ่งอาคารมีความสูงมากขึ้นการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานเมื่อเกิดการปรับเปลี่ยนค่า LPD ก็ยิ่งเห็นผลชัดเจนขึ้น เป็นเพราะพื้นที่ใช้สอยของอาคารที่มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 6 ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้ได้กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ของทุกกรณีให้เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด ดังนี้ ค่า SF เท่ากับ 1:1, ทิศทางการจัดวางหมุน 0 องศา, ค่า WWR เท่ากับ 60%, ผนัง W3, กระจก G3 และค่า CoP เท่ากับ 6.51 โดยกำหนดชนิดของระบบปรับอากาศเป็นระบบ CHW



ภาพที่ 6 การใช้และการประหยัดพลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนค่า LPD เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ

4.7 อิทธิพลของค่า CoP ต่อการใช้พลังงานของอาคาร เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ (18 กรณี)

ในการปรับเปลี่ยนค่า CoP ของระบบปรับอากาศ ซึ่งงานวิจัยได้กำหนดเอาไว้ 6 ค่าจากการแบ่งระบบปรับอากาศออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ CHW ซึ่งประกอบด้วยค่า CoP ได้แก่ 6.51, 6.76 และ 7.03 และระบบ VRF ซึ่งประกอบด้วยค่า CoP ได้แก่ 4.56, 5.00 และ 5.52 พบว่าค่า CoP ที่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากที่สุดของระบบ CHW ได้แก่ 7.03 โดยประหยัดมากกว่า CoP ที่น้อยที่สุดคือ 6.51 อยู่ที่ 1.5-2% โดยประมาณ และในระบบ VRF ได้แก่ 5.52 ซึ่งประหยัดมากกว่าค่า CoP ที่น้อยที่สุดคือ 4.56 อยู่ที่ 6-7% โดยประมาณ เป็นเพราะระบบปรับอากาศมีสมรรถนะในการปรับอากาศที่ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบภาพรวมของศักยภาพการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศทั้งสองชนิดหรือทั้ง 18 กรณี กับการใช้พลังงานของอาคารเบสไลน์ (baseline) พบว่าระบบ CHW จะประหยัดพลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 22.57% มากกว่าระบบ VRF ซึ่งประหยัดพลังงานเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 17% ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในอาคารที่มีความสูงต่างกัน ได้แก่ 8 ชั้น 15 ชั้น และ 30 ชั้นก็พบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานที่ดีขึ้นเมื่อปรับเปลี่ยนค่า CoP ยังคงมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ดีขึ้นที่ใกล้เคียงกัน และไม่พบนัยยะสำคัญที่สังเกตได้เหมือนตัวแปรชนิดอื่น ๆ ก่อนหน้า ทั้งนี้ ในหัวข้อนี้ได้กำหนดตัวแปรอื่น ๆ ของทุกกรณีให้เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด ดังนี้ ค่า SF เท่ากับ 1:1, ทิศทางการจัดวางหมุน 0 องศา, ค่า WWR เท่ากับ 60%, ผนัง W3, กระจก G3 และค่า LPD เท่ากับ 8 W/m^2



ภาพที่ 7 การใช้และการประหยัดพลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนค่า CoP เปรียบเทียบในความสูงระดับต่าง ๆ

5. สรุปผล

จากการจำลองอาคารโพรโพสด์ (proposed) ทั้งหมด 15,552 กรณีและได้ทำการคัดกรองผลลัพธ์ที่มีความน่าสนใจมาเพื่อวิจารณ์อิทธิพลในการประหยัดพลังงานของตัวแปรนั้น ๆ เปรียบเทียบกับอาคารเบสไลน์ (baseline) จนเสร็จสิ้นแล้วทั้งหมด 7 หัวข้อด้วยกัน จึงสามารถสรุปความได้ว่าตัวแปรที่มีศักยภาพและมีแนวโน้มที่จะแข่งขันกับอาคารเบสไลน์ (baseline) ได้ดี ได้แก่ตัวแปรกระจก โดยพบว่าอาคารโพรโพสด์ (proposed) ที่ทำการปรับเปลี่ยนชนิดกระจก จะสามารถประหยัดพลังงานถึง 19-28% เทียบกับการใช้พลังงานในอาคารเบสไลน์ (baseline) ส่วนตัวแปรที่มีศักยภาพดีรองลงมาคือตัวแปรค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD) และค่า CoP ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานอยู่ที่ 19-26% และ 19-25% ของการใช้พลังงานในอาคารเบสไลน์ (baseline) ตามลำดับ ส่วนตัวแปรที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานน้อยที่สุดได้แก่ทิศทางการจัด

วาง โดยพบว่าอาคารโพรโพสด์ (proposed) ที่มีทิศทางการจัดวางแบบดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานอยู่ที่ 16-24%

จากข้อสรุปข้างต้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าในประเทศไทยซึ่งถูกจัดให้อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อน-ร้อนมากตามเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE 90.1-2016 นั้น อาคารได้รับอิทธิพลจากความร้อนจากภายนอกอาคารที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาทางกรอบอาคารค่อนข้างมาก อันจะสังเกตได้จากอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรชนิดกระจกที่หากมีค่า U และค่า SHGC ที่น้อยก็ยิ่งส่งผลให้อัตราการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นสูงตามไปด้วยเพราะมีความเป็นวัสดุโปร่งใสและโปร่งแสงซึ่งเกี่ยวข้องอย่างมากต่อการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ในส่วนของตัวแปรที่ส่งอิทธิพลรองลงมาอันได้แก่ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะนั้น สามารถถูกอธิบายได้ว่าในเทคโนโลยีและวิศวกรรมงานระบบอาคารในยุคปัจจุบันมีความก้าวหน้าเพียงพอในการออกแบบเพื่อสามารถแก้ปัญหาด้านการใช้พลังงานในอาคาร

ดังนั้นในการออกแบบอาคารเพื่อขอประเมินเป็นอาคารเขียวตามเกณฑ์ LEED ผู้ออกแบบควรพิจารณาหรือให้ความสำคัญกับคุณภาพของวัสดุกระจกเป็นอย่างแรกเพราะจะมีผลในการช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานเมื่อต้องนำอาคารที่ออกแบบไปเปรียบเทียบกับอาคารเบสไลน์ (baseline) รองลงมาจึงเป็นการให้ความสำคัญกับคุณภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่สามารถทำค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ได้น้อยและระบบปรับอากาศที่มีค่า CoP ที่สูง ทั้งนี้ผู้ออกแบบควรพิจารณาหรือให้ความสำคัญกับทิศทางการจัดวางอาคารและค่า SF ของอาคารที่ออกแบบเช่นกันเนื่องจากเป็นแนวทางที่สามารถปฏิบัติได้ตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นของการออกแบบที่หากเลือกทิศทางการจัดวางและ SF ที่เหมาะสมจะสามารถช่วยในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การประหยัดได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนใด ๆ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Editor. (17 December 2021). Development towards environmentally friendly office buildings. KnightFrank. https://thailandpropertynews.knightfrank.co.th/อาคาร-มิตร-ต่อสิ่งแวดล้อ/ (In Thai)

[2] American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2016a). 90.1 User's manual ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2016 Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, GA: Author.

[3] Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. (2010). Handbook for those responsible for energy (buildings). (In Thai)

[4] Chartchai Pisutboriboon. (2008). Determining air conditioner efficiency in term of climate conditions. In Prakob Surawatthanawan (Eds.), Academic Articles 16th (pp. 82-91). Air-Conditioning Engineering Association of Thailand. (In Thai)

[5] Chanikarn Yimprayoon. (2016). Zero Energy Building. Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS), 13(2), 1-30. (In Thai)

[6] Victor Olgyay. (1973). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism (4th ed.). Princeton University Press, Princeton, New Jersey.