การวิเคราะห์การสูญเสียโอกาส ด้านการประหยัดพลังงาน ของ อาคาร

OPPORTUNITY LOSS ANALYSIS FOR ENERGY SAVING IN BUILDING

● ธีระชาติ พรพิบูลย์ [1] เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์ [2]
ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพ 10300
โทร. 02-218-6622 โทรสาร 02-252-2889
E-mail: teeracha@ccs.sut.ac.th [1], chirdpun@hotmail.com [2]

บทคัดย่อ

ปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบันทำให้การกำหนดมาตรการ การออกแบบ ตลอดจนการปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงานมีบทบาทที่สำคัญ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้อาคารมีการใช้พลังงานอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการกำหนดนโยบายหรือการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานยังไม่สามารถให้ความมั่นใจแก่คณะผู้ออกแบบอาคารและเจ้าของอาคารได้เนื่องจากปัจจัยหลัก 3 ประการดังนี้

1. การออกแบบปรับปรุงอาคารโดยทั่วไปเกิดจากการพิจารณาการประหยัดพลังงานแบบทีละระบบแยกจากกัน ในขณะที่ระบบต่างๆ ของอาคารจะต้องทำงานไปพร้อมๆ กันจึงทำให้ความต้องการพลังงานของอาคารอาจสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้ เนื่องจากการทำงานที่ไม่สอดคล้องต่อแนวทางหรือนโยบายการประหยัดพลังงานที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น ซึ่งในที่นี้ก็คือ พารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงาน ของอาคารที่ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนด โดยอาจเรียกพารามิเตอร์เหล่านี้ว่า พารามิเตอร์ควบคุมได้ (Controllable parameters)

2. การเปลี่ยนแปลงไปของค่าพารามิเตอร์ควบคุมได้จากที่ผู้ออกแบบกำหนด เช่น จากความผิดพลาดขณะทำการก่อสร้าง เป็นต้น จึงมีผลให้พลังงานที่ผู้ออกแบบประเมินได้มีความแตกต่างจากพลังงานที่อาคารต้องการจริง

3. อิทธิพลจากปัจจัยที่ไม่แน่นอนหรือพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable parameters) ต่างๆ ที่ส่งผล ต่อความต้องการพลังงานของอาคาร โดยทั่วไปในทางปฏิบัติผู้ออกแบบมักอาศัยค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้จากสภาวะมาตรฐานคงที่ต่างๆ ซึ่งอาจจะแตกต่างไปจากค่าที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นจึงทำให้ความต้องการพลังงานที่ผู้ออกแบบประเมินได้แตกต่างจากความต้องการพลังงานจริงของอาคาร จากปัจจัยทั้งสามดังกล่าวจึงก่อให้เกิดความเสี่ยงในการกำหนดมาตร การหรือการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

บทความนี้จะนำเสนอความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการประหยัดพลังงาน รวมไปถึงการวิเคราะห์ความเสี่ยงในรูปของการสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงานของอาคาร (Opportunity loss of energy saving) ทั้งนี้ การสูญเสียดังกล่าวหมายถึงผลกระทบจากความสูญเสียของการประหยัดพลังงานที่

Abstract

Due to the current energy crisis, the measures, designs, and modifications of the building all play an important role in energy conservation in the building. Optimization and efficiently usage of energy in the building are the main concerns. However, the energy policy implemented or the building design for energy conservation can not assure the designers and the building owners to achieve the energy saving as expected. Three main factors which are the cause of that uncertainty are as follow; 1) The design modification of building for energy conservation is normally considered at one system independently while all the systems in building are operated at the same time in order to keep the building function as it is supposed to be. This leads to more energy usage than expected since the building parameters do not operate according to the guidance or energy saving policy that is assigned by the designers. These parameters which are determined by the designers play an important effect on building energy demand and are called "controllable parameters". 2) The deviation of controllable parameters from those determined by the designers. For example, faults occur during the construction, and etc. This leads to the different between the estimated energy usage and the actual one. 3) Effects from the uncertain factors or uncontrollable parameters to the building energy demand. These parameters are normally taken from the standard values at various standard conditions resulted in the difference between the estimated energy demand and the actual energy demand. Three factors mentioned above indicate that there is always a risk in determining the measures or designs of building for energy saving.

This paper presents the relations among the parameters which affect the energy saving as well as the risk analysis in term of opportunity loss of energy saving. The opportunity loss of energy saving means the minimum loss of energy saving if the parameters are deviated from the determined measures or designs. This analysis will help indicating the appropriate energy saving policy.

1. บทนำ

นับตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน มีการศึกษา การวิจัย และการคิดค้นวิธีต่างๆ ด้านการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารอยู่จำนวนมาก ตลอดจนประดิษฐ์และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ออกแบบอาคารหรือผู้ควบคุมนโยบายการใช้พลังงานของอาคาร กล่าวคือ เพื่อให้การประเมินความต้องการพลังงานของอาคารที่ได้ออกแบบขึ้นมีความแม่นยำ รวมไปถึงเพื่อเป็นเครื่องมือในการแสวงหาแนวทางการกำหนดนโยบายและการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับการประหยัดพลังงานของอาคารนั้นๆ โดยคาดหวังว่าจะนำไปสู่การสร้างความเชื่อมั่นให้กับคณะผู้ออกแบบอาคารว่าพลังงานที่ประเมินได้นั้นใกล้เคียงกับความต้องการพลังงานจริงของอาคาร รวมทั้งช่วยสร้างความมั่นใจในนโยบายด้านการประหยัดพลังงานที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวยังไม่ได้สร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ออกแบบมากนักเนื่องจากปัจจัย 3 ประการคือ

1. การปรับปรุงและออกแบบอาคารเกิดจากการพิจารณาการประหยัดพลังงานแบบทีละระบบแยกจากกัน อาจทำให้ระบบแต่ละระบบของอาคารถูกพิจารณาที่สภาวะที่แตกต่างกันส่งผลให้การทำงานของระบบอาคารทั้งหมดไม่มีความสอดคล้องกัน อีกประการหนึ่งหากผู้ออกแบบมุ่งเน้นให้น้ำหนักในการประหยัดพลังงานของระบบหนึ่งระบบใดมากเกินไปอาจทำให้เกิดภาระงานที่มากขึ้นในระบบอื่น จึงทำให้ความต้องการพลังงานโดยรวมของอาคารมากเกินความเหมาะสม ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหานี้ การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของระบบจึงควรที่จะทำไปทุกระบบพร้อมๆ กัน

2. การเปลี่ยนแปลงไปของค่าของพารามิเตอร์จากที่ผู้ออกแบบกำหนด ซึ่งในที่นี้ขอเรียกพารามิเตอร์เหล่านี้ว่าพารามิเตอร์ควบคุมได้ (Controllable parameters) ซึ่งเกิดได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น มีการเปลี่ยนแปลงขณะทำการก่อสร้าง ค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้มีความคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ในการออกแบบ ความผิดพลาดเนื่องจากการก่อสร้าง เป็นต้น เหล่านี้เป็นสาเหตุให้ความต้องการพลังงานของอาคารไม่เป็นไปตามมาตรการการประหยัดพลังงานที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น

3. อาคารทำงานที่สภาวะที่ไม่แน่นอน กล่าวคือในการประเมินการใช้พลังงานของอาคารโดยทั่วไปจะประเมินพลังงานที่อาคารต้องการภายใต้สภาวะมาตรฐาน

คงที่ต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้ความต้องการพลังงานจริงของอาคาร กับพลังงานที่ประเมินได้มีความแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ผู้ออกแบบควรให้ความระมัดระวังต่ออิทธิพลของปัจจัยความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นกับอาคารนั้นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อมโดยรอบอาคาร จำนวนผู้อาศัยภายในอาคาร แสงสว่างจากสิ่งแวดล้อมที่อาคารได้รับ ฯลฯ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยความไม่แน่นอนต่างๆ เหล่านี้ไปจากที่กำหนดไว้ในการประเมินการใช้พลังงานของอาคารจึงถือเป็นความเสี่ยงในการออกแบบและการกำหนดมาตรการการประหยัดพลังงาน ความเสี่ยงจากความไม่แน่นอน (Uncertainty risk) มาจากปัจจัยไม่แน่นอนที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานของอาคาร ซึ่งในที่นี้จะขอเรียกว่า พารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable parameters)

การที่ผู้ออกแบบได้ทำการวิเคราะห์และกำหนดนโยบายการประหยัดพลังงานของอาคารโดยไม่ได้มีดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานของอาคาร จึงส่งผลกระทบต่อการวางมาตรการประหยัดพลังงานของอาคารจากพารามิเตอร์ควบคุมได้ที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น แม้ว่าผู้ออกแบบจะอาศัยวิธีการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารที่ซับซ้อนหรืออาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการประเมินความต้องการพลังงานของอาคารที่มีความแม่นยำสูงเพียงไรก็ตาม ด้วยเหตุนี้จึงได้มีความพยายามประยุกต์ใช้วิธีการออพติไมเซชั่น (Optimization) เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ควบคุมได้บางตัวของระบบต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานของอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบกรอบอาคาร เป็นต้น เพื่อนำค่าของพารามิเตอร์ที่ได้ไปกำหนดเป็นนโยบายการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารที่พิจารณา โดยหวังว่าจะสามารถลดความต้องการพลังงานของอาคารให้น้อยที่สุด ถึงกระนั้นก็ยังไม่ได้ช่วยให้ผู้ออกแบบอาคารมีความมั่นใจมากขึ้นเท่าที่ควร เนื่องจากวิธีการออพติไมเซชั่นยังคงอาศัยสภาวะมาตรฐานคงที่ต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งที่ในทางปฏิบัติอาคารจะทำงานภายใต้สภาวะไม่แน่นอนซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาตามเหตุการณ์ที่จะบังเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ รวมไปถึงหากทำการออพติไมเซชั่นทีละระบบก็จะนำไปสู่ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำให้พลังงานของระบบนั้นๆ น้อยที่สุด แต่ไม่ได้หมายความว่าจะทำให้ความต้องการพลังงานของอาคารน้อยที่สุดด้วย เนื่องจากระบบต่างๆ ของอาคารต้องทำงานไปพร้อมๆ กัน อีกทั้งพารามิเตอร์ควบคุมได้บางตัวจะมีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานของระบบต่างๆ มากกว่า 1 ระบบ เนื่องจากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบต่างๆของอาคารซึ่งประกอบด้วย กรอบอาคาร พื้นที่ควบคุม อุปกรณ์ทางไฟฟ้า อุปกรณ์ทางกล (Building system and Mechanical & Electrical device activity) รวมไปถึง สิ่งแวดล้อมของอาคาร

ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึง การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานของอาคาร และ ดัชนีชี้วัดแนวทางการประหยัดพลังงานของอาคารโดยเน้นที่การใช้พลังงานจากระบบแสงสว่างและปรับอากาศเป็นหลัก เนื่องจากเป็นความต้องการพลังงานส่วนใหญ่ของอาคารโดยทั่วไป

2. การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานของอาคาร

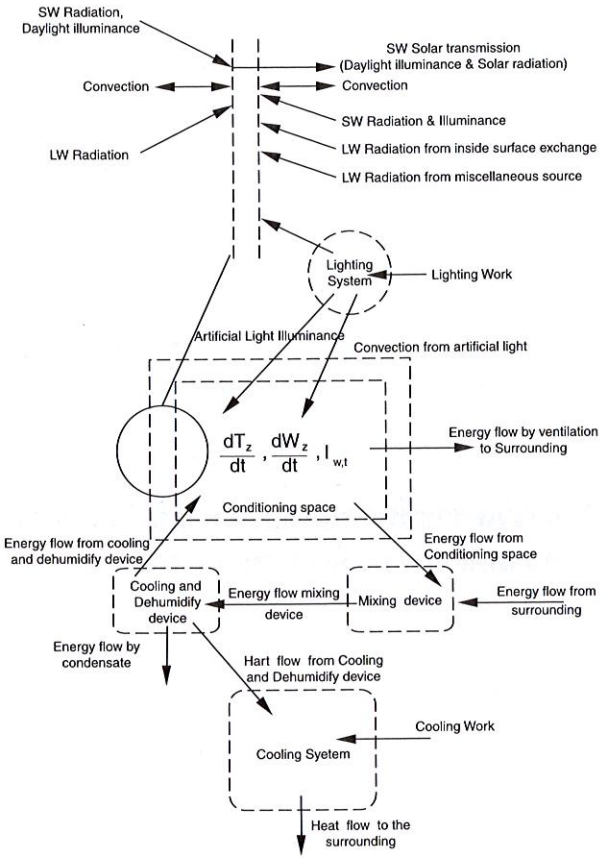
เพื่อบรรเทาความเสี่ยงจากปัจจัยต่างๆ ในการออกแบบและการกำหนดนโยบายการประหยัดพลังงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเราจึงควรทำการวิเคราะห์ระบบทุกๆ ระบบไปพร้อมๆ กัน และพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานของอาคารออกเป็น 3 เซต คือ

1. เซตพารามิเตอร์ควบคุมได้ หมายถึง พารามิเตอร์ที่ผู้ออกแบบอาคารสามารถกำหนดหรือควบคุมได้ ดังนั้นพารามิเตอร์ควบคุมได้นี้ก็คือ พารามิเตอร์ที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้นเป็นนโยบายประหยัดพลังงานของอาคาร

2. เซตพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้ หมายถึงพารามิเตอร์ที่มีค่าไม่แน่นอนขึ้นกับเวลาหรือเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น สิ่งแวดล้อม ผู้อาศัย เป็นต้น

3. เซตพารามิเตอร์คงที่ (Fixed parameters) หมายถึง พารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่ ขึ้นกับเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบของแต่ละอาคาร ผู้ออกแบบไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เช่น มิติของพื้นที่ควบคุมทิศทางของด้านต่างๆ ของอาคาร เป็นต้น

การวิเคราะห์เชิงปฏิสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ซึ่งเป็นสมาชิกของเซตของพารามิเตอร์ทั้งสามนั้นทำได้โดยอาศัยหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics) การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) และกลไกการส่องสว่าง (Illumination) ซึ่งจะทำให้เราได้ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้งหมดที่มีต่อความต้องการพลังงานของอาคาร โดยทำการวิเคราะห์ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบอาคาร ซึ่งประกอบด้วย กรอบอาคาร และ พื้นที่ควบคุม (Conditioning space) ไปพร้อมๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 *แผนภูมิวิเคราะห์ระบบอาคาร ระบบแสงสว่างและปรับอากาศ*

จากรูปที่ 1 ความต้องการพลังงานของอาคารจะเท่ากับผลรวมระหว่างงานที่ระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศต้องการ จึงหมายความว่าพลังงานที่ระบบปรับอากาศและแสงสว่างต้องการคืออุปทาน (Supply) ของอาคาร ในทำนองเดียวกัน ภาระความร้อนที่ต้องปลดปล่อยและปริมาณการส่องสว่างที่เพียงพอต่อกิจกรรมภายในอาคารสามารถแทนด้วยอุปสงค์ (Demand) ของอาคาร แสดงว่าอุปสงค์ของอาคารจะขึ้นอยู่กับความร้อนและแสงสว่างจากสิ่งแวดล้อมที่อาคารได้รับและเงื่อนไขความสุขสบายของผู้อาศัยซึ่งประกอบด้วยความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) และ ความสบายในการมองเห็น (Visual comfort) ดังนั้นอุปสงค์และอุปทานของอาคารจึงเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาที่อาคารให้บริการ

ส่วนการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ที่เป็นสมาชิกของเซตพารามิเตอร์ควบคุมได้ สามารถแทนด้วยมาตรการหรือนโยบายการประหยัดพลังงานของอาคารซึ่งก็คือ ยุทธวิธีในการประหยัดพลังงาน (Energy saving strategy) ของแต่ละอาคารที่ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนด

3. ดัชนีชี้วัดแนวทางการประหยัดพลังงานของอาคาร

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงให้เห็นว่าผู้ออกแบบจะต้องกำหนดพารามิเตอร์ควบคุมได้ภายใต้ความไม่แน่นอนต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นกับอาคาร หมายความว่านโยบายการประหยัดพลังงานของอาคารจะต้องถูกกำหนดขึ้นภายใต้ความเสี่ยงจากปัจจัยต่างๆ กล่าวคือ เมื่ออาคารอยู่ภายใต้เซตพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้ต่างๆ ความต้องการพลังงานของอาคารน้อยที่สุดอาจจะเกิดขึ้นที่เซตพารามิเตอร์ควบคุมได้แตกต่างกัน ดังนั้นความต้องการพลังงานของอาคารจะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างเซตของพารามิเตอร์ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 *ความสัมพันธ์ของเซตพารามิเตอร์ควบคุมได้ พารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้และความต้องการพลังงานของอาคาร*

	A_1	A_2	. . .	A_j
Θ_1	y_{11}	y_{12}	. . .	y_{1j}
Θ_2	y_{21}	y_{22}	. . .	y_{2j}
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Θ_i	y_{i1}	y_{i2}	. . .	y_{ij}

โดยที่

A แทน เซตพารามิเตอร์ควบคุมได้หรือนโยบายประหยัดพลังงาน $A_m = \{a_1, a_2, ..., a_m\}$

Θ_n แทน เซตพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้

$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, ..., \theta_n\}$

y_{nm} แทน ความต้องการพลังงานของอาคารสำหรับเซตพารามิเตอร์ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้หนึ่งๆ

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าภายใต้เซตพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้เซตหนึ่งจะมีเซตพารามิเตอร์ควบคุมได้เพียงเซตเดียวเท่านั้นที่ก่อให้เกิดความต้องการพลังงานของอาคารน้อยที่สุด (min (y_{nm})) ซึ่งจะเป็นเซตพารามิเตอร์ควบคุมได้ที่ผู้ออกแบบจะต้องเลือกสำหรับนโยบายประหยัดพลังงานของอาคารที่พิจารณาภายใต้สภาวะควบคุมไม่ได้ต่างๆ ดังนั้นจึงหมายความว่า การสูญเสียโอกาสจากการที่จะประหยัดพลังงานได้มากสุดจะเกิดขึ้นหากผู้ออกแบบกำหนดนโยบาย

ประหยัดพลังงานที่เซตพารามิเตอร์ควบคุมได้เซตอื่นๆ ซึ่งสามารถอธิบายเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 1

$$O_{ij} = y_{ij} - \min(y_{ij}) \quad (1)$$

โดยที่ O_{ij} แทน การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน

หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงานหมายถึงการที่เกิดผลกระทบน้อยที่สุดของการสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงานในกรณีที่พารามิเตอร์ต่างๆ นั้นเบี่ยงเบนหรือไม่เป็นไปจากที่กำหนดไว้ในการออกแบบหรือจากมาตรการประหยัดพลังงาน

แต่เนื่องจากในความเป็นจริงอาคารจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมไม่ได้ต่างๆ ดังนั้น เมื่อเซตพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้เปลี่ยนไป เซตพารามิเตอร์ควบคุมได้ที่ก่อให้เกิดความต้องการพลังงานของอาคารน้อยที่สุดอาจเปลี่ยนไปด้วย จึงกล่าวได้ว่าภายใต้นโยบายประหยัดพลังงานหนึ่งๆ ย่อมเกิดความเสี่ยงเนื่องจากความไม่แน่นอนซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน ดังนั้นนโยบายประหยัดพลังงานที่ผู้ออกแบบกำหนดควรพิจารณาจากนโยบายประหยัดพลังงานที่มีการสูญเสียโอกาสรวมของการประหยัดพลังงานน้อยที่สุดภายใต้การพิจารณาถ่วงน้ำหนักด้วยความน่าจะเป็นของเซตพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้ต่างๆ ดังแสดงในสมการที่ 2

$$O_t(A_j) = \sum_{i=1}^{n} O_{ij} P(\Theta_i) \quad (2)$$

โดยที่

$O_t(A_j)$ แทน การสูญเสียโอกาสรวมของเซตพารามิเตอร์ควบคุมได้ A_j

$P(\Theta_i)$ แทน ความน่าจะเป็นของเซตพารามิเตอร์ควบคุมไม่ได้ Θ_i

4. สรุป

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอมุมมองใหม่ในการออกแบบและกำหนดนโยบายของการประหยัดพลังงานของอาคารที่รวมเอาแนวทางในการลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการออกแบบและการกำหนดนโยบายการประหยัดพลังงานเข้าไปประกอบการพิจารณา โดยทำการพิจารณาระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของอาคารไปพร้อมๆ กัน ภายใต้พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางการกำหนดนโยบายของการประหยัดพลังงานของอาคารจากการพิจารณาการสูญเสียโอกาสรวมของการประหยัดพลังงาน แนวทางดังกล่าวจะช่วยให้การออกแบบและการกำหนดนโยบายการประหยัดพลังงานเข้าสู่ความเป็นจริงที่จับต้องได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์, "ปัจจัยเสี่ยงในการลงทุนเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ", การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, พ.ศ. 2545, หน้า 587-591

[2] ASHRAE. "ASHRAE Fundamental Handbooks (SI) 2001". Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2001.

[3] Pederson C.O., "Development of Heat Balance for Cooling Load", ASHRAE Transaction, 1997

[4] Pederson C.O., Richard J Liesen, "An Evaluation of Inside Surface Heat Balance Model for Cooling Load Calculations", ASHRAE Transaction, 1997

[5] Pederson C.O., Todd M. McClellan, "Investigation of Outside Heat Balance Models for Used in a Heat Balance", ASHRAE Transaction, 1997

[6] David E. Claidge, Jeff S. Haberl, Bass Abushakra, Atch Seahthaputa, "Electricity Diversity Profiles for Energy Simulation of Office Buildings", ASHRAE Transactions, 2004

[7] Trine Dyrstad Pettersen, "Variation of energy consumption in dwellings due to climate, building and inhabitants", Energy and buildings, 1994

[8] Jeffrey M Gordon, Kim Choon Ng, "Cool thermodynamics", Cambridge international science publishing, 2000

[9] Mark S. Rea, "Lighting handbook", Illuminating engineering society of North America, 1993

[10] Drury B. Crawley, Linda K Lawrie, "Energyplus, A New-Generation Building Energy Simulation Program, U.S. Department of Energy", Washington, D.C. USA, 2000

[11] Russell D. Taylor, Curtis O. Pedersen, "Impact of simultaneous simulation of buildings and Mechanical systems in heat balance based energy analysis program on system response and control", Department of Mechanical and Industrial Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois U.S.A., 2001

[12] Derek W. Bunn, "Applied decision analysis", McGraw-Hill, 1984