

**สู่ความเข้าใจพลังงานสะสมรวมในอาคาร:
ค่าพลังงานสะสมรวมของการก่อสร้างและการรื้อถอนอาคาร**
Towards the Understanding of Embodied Energy in Buildings:
Energy of Construction and Demolition

พิมลมาศ วรณคนาพล
Pimonmart Wankanapon
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Faculty of Architecture, Thammasat University

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอ การศึกษาพลังงานสะสมรวม (embodied energy) ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการก่อสร้างและรื้อถอน เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการบ่งชี้ถึงศักยภาพอาคารในประเทศไทยด้านพลังงานสะสมรวมและการใช้ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม โดยใช้การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวม (Energy analysis) ในการประเมินค่า เปรียบเทียบค่าพลังงานสะสมรวมและปริมาณเงินสะสมของอาคาร การศึกษาประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลจากแบบประมาณราคาก่อสร้างอาคาร 4 ประเภท คือ อาคารพักอาศัย สถานศึกษา อาคารสำนักงาน และโรงพยาบาล ในช่วงการก่อสร้าง การศึกษาเปรียบเทียบอาคารโครงสร้างไม้-คอนกรีตเทียบกับอาคารคอนกรีต ในช่วงการรื้อถอน การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุก่อสร้างอาคารและวัสดุที่ได้จากการรื้อถอนในรูปค่าพลังงานสะสมรวม (Energy) และค่าการใช้ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม (environmental inputs) โดยพิจารณาทั้งในรูปของพลังงาน มวลสาร ปริมาณเงินสะสม และค่าการใช้ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถแบ่งปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานสะสมรวมได้เป็น 4 กลุ่ม คือ 1) วัสดุโครงสร้าง หรือวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 2) วัสดุตกแต่ง หรือวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 3) งานระบบ หรือวัสดุอื่นๆ ที่ผ่านกระบวนการมาแล้ว และ 4) แรงงาน ที่ใช้ในกระบวนการนั้น ๆ และพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานสะสมรวมของอาคารพักอาศัย สถานศึกษาและอาคารสำนักงาน ได้แก่ วัสดุโครงสร้าง ส่วนปัจจัยที่มีผลต่ออาคารโรงพยาบาล ได้แก่ วัสดุตกแต่ง ส่วนในการรื้อถอน ปัจจัยที่ส่งผลต่อพลังงานสะสมรวม คือ วัสดุตกแต่ง เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในช่วงใช้งานของอาคาร พลังงานสะสมรวมของอาคารไม้ผสมคอนกรีต มีค่าเทียบเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของอาคารนั้นประมาณ 7 ปี ส่วนพลังงานสะสมของอาคารโครงสร้างคอนกรีต มีค่าเทียบเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของอาคารนั้นประมาณ 19-30 ปี ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง ควรเลือกใช้วัสดุโครงสร้างในปริมาณน้อย โดยเฉพาะวัสดุก่อสร้างที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงาน (transformity) สูง และการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างในอาคาร ควรเลือกใช้วัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (renewable resource) มากกว่าวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (non-renewable resource) โดยพิจารณาอายุอาคารประกอบด้วย

Abstract

This paper presents the study of embodied energy use throughout the construction and demolition as a tool to indicate embodied energy efficiency and environmental inputs of buildings and building materials in Thailand. Energy

Analysis Technique is used to calculate the amount of energy required to make something expressed in units of the same form of energy, called Solar Emery. And Emery of money, called Embath has also been evaluated. The objectives are to evaluate and compare Emery and Embath of buildings to help determining the Emery saving and the environment benefits of buildings and building materials during construction and demolition. The method is to collect and analyze data inputs of cost and quantity from bill of quantity; BOQ of buildings: residences, schools, offices and hospitals for construction and 2 types of structure, half-timber and concrete structure for demolition. Materials during construction and demolition of each building are evaluated. This study examines all factors, which are Emery, masses and cost, and environmental inputs to create Emery index and environmental index as well. Four influencing factors effecting Emery values are found: Renewable resource or structure, non-renewable resource or decoration, building system and labor. Structure is the major factor of residential buildings, schools and office buildings. Decoration is the major factor of hospital buildings. In demolition stage, structure is also the main factor. In demolition stage, Emery value of half-timber structure buildings is the same as 7 years of energy consumption. Whereas Emery value of concrete structure building is the same as 19-30 years of energy consumption. Therefore, structure materials should be used in as small amount as possible, especially the high transformity materials. Eventually, the environmental index suggested that using more renewable than non-renewable resource would be appropriate to the environment and the world resource. The building usable life is depend on materials, the more non-renewable resource, the longer life of the materials should be used.

คำสำคัญ (Keywords)

พลังงานสะสมรวม (Embodied Energy)

ค่าพลังงานสะสมรวม (Emery)

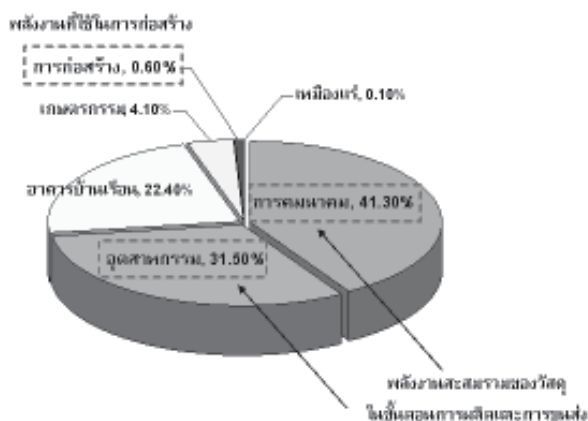
ค่าปริมาณเงินสะสม (Embath)

การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวม (Emery Analysis)

1. ความเป็นมา (Overview)

ในทศวรรษที่ผ่านมา การใช้พลังงานเพื่อตอบสนองการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง เป็นภาระแก่ประเทศในการลงทุนเพื่อจัดหาพลังงาน ทั้งในประเทศและนอกประเทศ มาใช้ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 โดยมีเจตนารมณ์ที่จะส่งเสริมให้เกิดวินัยในการอนุรักษ์พลังงานและให้มีการดำเนินการลงทุนในการลดการใช้พลังงานในอาคาร รวมถึง การส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้พลังงานในอาคารโดยทั่วไป มักพิจารณาจากปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเท่านั้น แต่ไม่ได้พิจารณาถึงพลังงานที่ใช้ระหว่างการผลิต การขนส่ง วัสดุ ก่อสร้างต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นอาคาร พลังงาน และวัสดุที่ใช้ในช่วงของการก่อสร้างและรื้อถอนอาคาร ซึ่งพลังงานเหล่านี้คือ **พลังงานสะสมรวม (embodied energy)** ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการต่าง ๆ



รูปที่ 1 พลังงานสะสมรวมที่แฝงอยู่ในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่ง [1]

2. ปัญหาของการศึกษา (Statement of Problem)

จากความเป็นมาดังกล่าว นำมาสู่ประเด็นปัญหาที่ว่า

2.1 ขั้นตอนการก่อสร้างและรื้อถอนอาคาร มีพลังงานสะสมรวมเป็นเท่าใด เมื่อเปรียบเทียบกับในรูปแบบ ประเภท และขนาดพื้นที่อาคาร

2.2 ในการออกแบบอาคาร ผู้ออกแบบหรือสถาปนิก ควรเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารประเภทใดจึงจะเหมาะสมที่สุดในรูปแบบอาคารประเภทต่าง ๆ

2.3 ในขั้นตอนการก่อสร้างและรื้อถอน มีปริมาณเงินสะสมรวมเป็นเท่าใด เมื่อต้องพิจารณาในแง่ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา (Objectives)

3.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณพลังงานสะสมรวมของขั้นตอนการก่อสร้างและรื้อถอน ตามรูปแบบ ประเภท และขนาดพื้นที่ของอาคาร

3.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณพลังงานสะสมรวมของวัสดุก่อสร้างอาคารแต่ละประเภท ที่มีใช้ในประเทศไทย ในกระบวนการก่อสร้างและการรื้อถอนอาคาร

3.3 เพื่อศึกษาและหาแนวทางในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารชนิดต่าง ๆ ในแง่ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้ทรัพยากร

4. ขอบเขตของการศึกษา (Scope of Study)

4.1 การศึกษาคำนวณค่าพลังงานสะสมรวม จะใช้การคำนวณ วิธีการประเมินค่าพลังงานสะสมรวม (Energy Analysis) โดยข้อมูลที่ได้มาจาก วัสดุก่อสร้างที่ใช้และเศษวัสดุก่อสร้างที่ได้จากกระบวนการก่อสร้างและรื้อถอนอาคาร

4.2 วัสดุก่อสร้างแต่ละชนิด จะคิดค่าพลังงานสะสมรวมจากแบบประมาณราคาก่อสร้าง/รื้อถอนอาคาร (Bill of Quantity, BOQ) ที่ทำในประเทศไทยในปัจจุบัน

4.3 การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวม แบ่งออกเป็น การพิจารณาต่อปริมาณมวลวัสดุ (energy per mass) และค่าพลังงานสะสมรวมต่อปริมาณเงิน (energy per money ratio)

4.4 การศึกษานี้ ครอบคลุมเฉพาะวัสดุก่อสร้างอาคารที่มีในประเทศไทยและค่าพลังงานสะสมรวมจากวัสดุใหม่เท่านั้น ไม่รวมถึงวัสดุก่อสร้างอาคารจากวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ (recycled materials)

4.5 ข้อมูลวัสดุก่อสร้างแต่ละประเภท เช่น น้ำหนักและราคา เป็นข้อมูลมาจากผู้ผลิตและเทคโนโลยีการผลิตในปัจจุบัน

5. ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

5.1 ส่วนที่ 1 คือ การรวบรวมข้อมูลและแปลงข้อมูล โดยการวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวม เป็นขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบประเมินค่า ได้แก่

5.1.1 ข้อมูลจากกระบวนการก่อสร้างอาคาร โดยแบ่งเป็นอาคารประเภทต่าง ๆ 4 ประเภทอาคาร ได้แก่ อาคารพักอาศัย สถานศึกษา อาคารสำนักงาน และโรงพยาบาล โดยดูข้อมูลในส่วนของกระบวนการก่อสร้างวัสดุก่อสร้างและพลังงานที่ใช้ และปริมาณเงินสะสมที่สนับสนุนกระบวนการนั้น ๆ

5.1.2 ข้อมูลจากกระบวนการรื้อถอนอาคาร โดยแบ่งเป็น ประเภทของโครงสร้างอาคาร 2 ประเภทหลัก ได้แก่ อาคารไม้ - คอนกรีต และอาคารคอนกรีต ดูข้อมูลในส่วนของ กระบวนการรื้อถอนเศษวัสดุก่อสร้างที่ได้และพลังงานที่ใช้ และปริมาณเงินสะสมที่สนับสนุนกระบวนการนั้น ๆ การสุ่มตัวอย่างจากกลุ่มตัวอย่าง แบ่งออกเป็น การก่อสร้างและการรื้อถอนอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์และใช้เป็นกรณีศึกษา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการศึกษาหาแนวทางในการประเมินค่าพลังงานสะสมรวมในกระบวนการก่อสร้างและการรื้อถอนอาคาร เพราะในการวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุก่อสร้างอาคารต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการรวบรวมและจำแนกออกมาเป็นแผนภูมิ (diagram) ที่

แสดงถึงการใช้พลังงานในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์และประเมินค่าต่อไป วิธีการที่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ คือ การรวบรวมเอกสารการประมาณราคาก่อสร้างอาคารประเภทต่าง ๆ ข้อเขียนที่เกี่ยวข้อง และการออกสำรวจข้อมูลในการรื้อถอนด้วยการสังเกตและการสัมภาษณ์ จากกรณีศึกษา

5.2 ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวมและปริมาณเงินสะสมของวัสดุประเภทต่าง ๆ

การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวมได้จำแนกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการก่อสร้าง และกระบวนการรื้อถอน ต่อพื้นที่ของอาคารที่เป็นกรณีศึกษา

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณเงินสะสม ในการที่จะสามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวมและปริมาณเงินสะสมรวมได้นั้น ต้องทำการศึกษาภาพรวมการใช้พลังงานและปริมาณเงินของระบบของประเทศไทยทั้งหมด และจัดทำข้อมูลค่าพลังงานสะสมรวมทั้งหมดของประเทศไทยต่อปริมาณเงินสะสม (Thailand energy money ratio data) ขึ้น โดยค่าดังกล่าว จะสามารถแสดงถึงสัดส่วนความมั่งคั่งทางด้านเศรษฐกิจของประเทศหนึ่ง ๆ จากทรัพยากรที่มีทั้งหมดในประเทศและปริมาณเงินหมุนเวียนในประเทศของปีที่ทำการศึกษา จากสูตร

$$\text{Total Energy use} \times \text{GNP} = \text{Energy} / \text{Money Ratio}$$

เมื่อ

Total Energy Use = ค่าพลังงานสะสมรวมทั้งหมดในระบบของประเทศ (sej/yr)

Gross National Product, GNP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (฿)

Energy/Money Ratio = ค่าสัดส่วนความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ (sej/฿)

จากการวิเคราะห์ดังกล่าว ได้ค่าดังรูปที่ 2

5.2.1 รายละเอียดในการคำนวณค่าพลังงาน สะสมรวมและปริมาณเงินสะสม (Energy and Embaht Calculation) เป็นดังนี้

วิธีที่ใช้ในการคำนวณค่าพลังงานสะสมรวม และปริมาณเงินสะสม มาจากหลักในการวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวม โดยอาศัยความเข้าใจในเรื่อง

5.2.1.1 ค่าพลังงานสะสมรวม (Emergy) ย่อมาจาก “Energy Memory” ซึ่งเป็นพลังงานสะสมในวัสดุนั้น ๆ โดยพิจารณาจากพลังงานที่สะสมมาก่อนหน้าที่จะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยที่ ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุนั้น ๆ ได้มาจาก

$$\text{Product} \times \text{Transformity} = \text{Emergy}$$

เมื่อ

Product = มวลหรือพลังงานสะสมของวัสดุนั้น ๆ (J, g)

Transformity = ค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงานของวัสดุนั้น ๆ (sej/J) หรือ (sej/g)

Emergy = ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุนั้น ๆ (sej)

5.2.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงาน (Transformity) คือ ค่าพลังงานสะสมรวมในหน่วย emjoules ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำให้เกิดพลังงานทั่วไป หนึ่งหน่วยค่าความจุพลังงาน [จูล (Joule, J)] ของวัสดุหนึ่ง ๆ โดยในการศึกษานี้ ใช้หน่วยเป็น solar emjoules/joule (sej/J) การใช้เป็นหน่วยเป็น emjoule เพื่อให้แตกต่างจาก

ค่าความจุพลังงานทั่วไปในหน่วยจูล และเทียบมาจากค่าพลังงานสะสมรวมของพลังงานแสงอาทิตย์ [2] ซึ่งค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปไม่เกิน $2E+15$ sej/ตารางเมตร จากรูปที่ 3

5.2.1.3 ปริมาณเงินสะสม (Embaht) เป็นค่าปริมาณเงินสะสมของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ในระบบ โดยค่าปริมาณเงินสะสมได้มาจาก

$$\frac{\text{Energy of Product}}{\text{Energy per Money Ratio}} = \text{Embaht}$$

เมื่อ

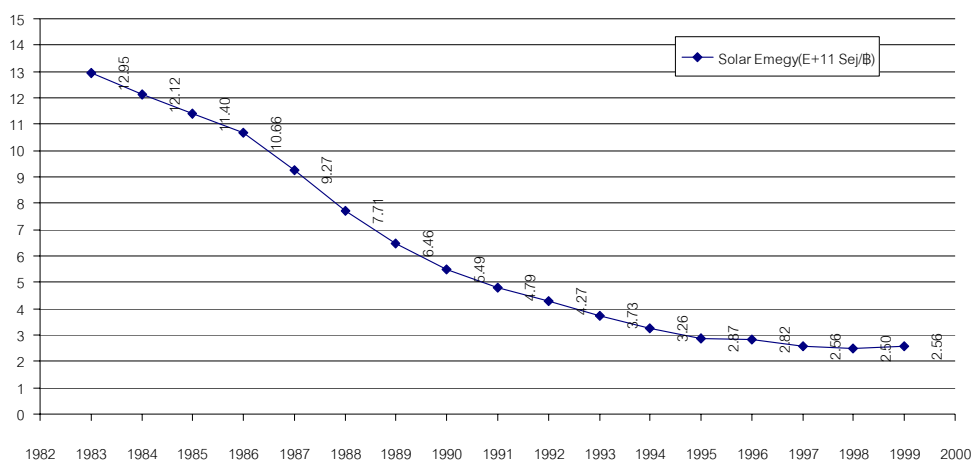
Energy of Product = ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุ (sej)

Energy / Money Ratio = ค่าสัดส่วนทางเศรษฐกิจของประเทศ (sej/B)

Embaht = ค่าปริมาณเงินสะสมในวัสดุหนึ่ง ๆ (EmB)

จากพื้นฐานการประเมินค่าพลังงานสะสมรวมดังกล่าว นำมาสู่ขั้นตอนในการวิเคราะห์ ดังนี้

5.2.1.4 การวิเคราะห์ค่าพลังงานสะสมรวม (Emergy Analysis)



รูปที่ 2 แสดงค่าปริมาณพลังงานสะสมรวมของประเทศไทยต่อปริมาณเงินสะสม ที่ใช้ในการศึกษานี้

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณปริมาณงานในอาคารกรณีศึกษา นำแบบประเมินราคาของอาคารกรณีศึกษา มาทำการแยกเป็น

- ปริมาณงานตามขั้นตอนการก่อสร้าง
- ค่าการบริการตามขั้นตอนการก่อสร้าง

โดยข้อมูลในส่วนที่ไม่สามารถคำนวณเป็นปริมาณได้ จะใช้มูลค่าของวัสดุในการคำนวณต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณปริมาณวัสดุและมูลค่าการบริการของระบบในอาคารกรณีศึกษานำปริมาณแต่ละประเภทในขั้นตอนที่ 1 มาจำแนกเป็นรายการวัสดุตั้งต้นที่ใช้ในการคำนวณและจัดหมวดหมู่แยกตามคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่

- วัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Renewable Resource) ได้แก่ วัสดุโครงสร้าง
- วัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่
- (Non-Renewable Resource) ได้แก่ วัสดุตกแต่ง
- วัสดุหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ (Products &

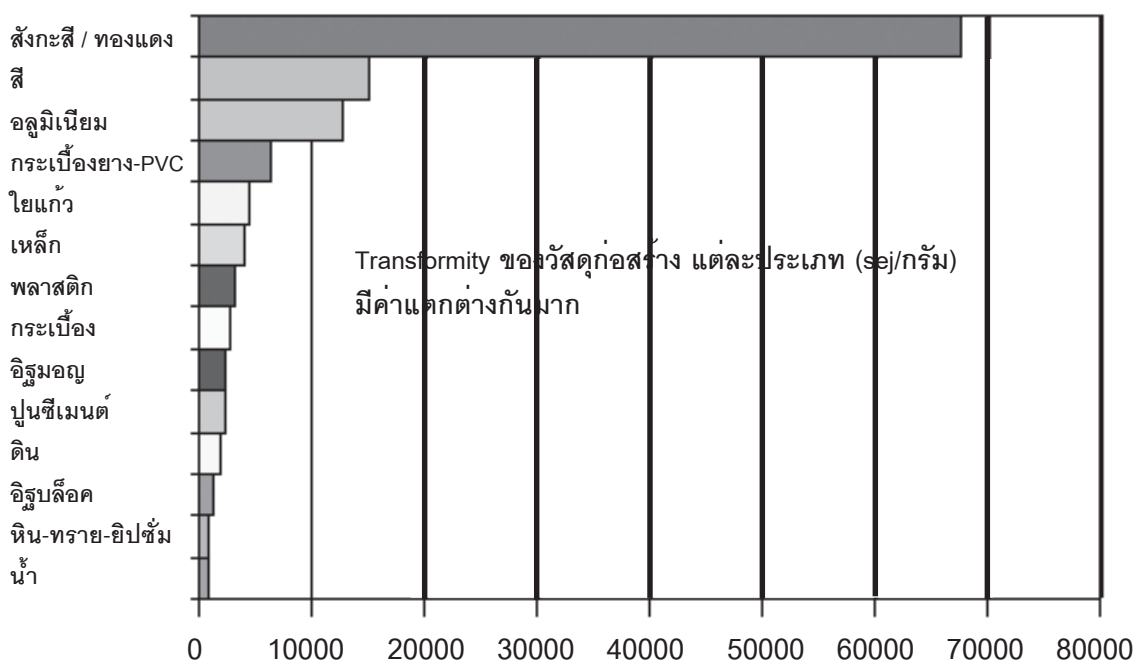
Goods) ได้แก่ งานระบบ

- การบริการและแรงงาน (Services & Labors) ได้แก่ แรงงานที่ใช้

การแบ่งหมวดหมู่ดังกล่าวจะครอบคลุมประเภทของวัสดุ และระบบในอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด วัสดุทั้งหมดต้องแปลงค่าให้อยู่ในหน่วยความจุพลังงาน (จูล) น้ำหนัก (กรัม) และมูลค่า (บาท) โดยการแยกส่วนประกอบเพื่อหาวัสดุตั้งต้น เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 จัดทำเป็นแผนภูมิอย่างง่าย เพื่อแสดงการไหลของวัสดุและพลังงาน จัดทำเป็นแผนภูมิของระบบที่มีวัสดุแต่ละชนิดผ่านกระบวนการเพื่อให้เกิดความเข้าใจและเป็นตัวแทนของการไหลของพลังงานในทุกขั้นตอนของวงจรของวัสดุ ช่วยในการมองภาพรวมของกระบวนการ และช่วยในการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุ

ขั้นตอนที่ 4 จัดทำตารางประเมินค่าพลังงานสะสมรวม สร้างตารางการประเมินค่าพลังงานสะสมรวม โดยรายการวัสดุที่ได้จากขั้นตอนจากแผนภูมิ จะถูกนำมาประเมินค่าพลังงานสะสมรวม



รูปที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงานของวัสดุก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ

เรียงตามแถวในตาราง โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงาน ค่าพลังงานสะสมรวม และปริมาณเงินสะสมของแต่ละวัสดุ และกระบวนการ [3]

ขั้นตอนที่ 5 จัดทำแผนภูมิสรูปสามแขน (3-Arm Diagram) นำข้อมูลจากตารางประเมินมาสรูปในรูปแผนภูมิสรูปสามแขน

ขั้นตอนที่ 6 ศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะสมรวมโดยค่าที่ได้ในการศึกษา ได้แก่

- ค่าพลังงานสะสมรวมต่อตารางเมตร (Yield, Y)
 - มูลค่าเงินสะสม / ตารางเมตร (Finance, F)
 - ค่าพลังงานสะสมรวมของโครงสร้างต่อตารางเมตร (Re-Newable, R)
 - ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุคงทนต่อตารางเมตร (Non-Renewable, N)
 - ค่าพลังงานสะสมรวมของงานระบบต่อตารางเมตร (Products & Goods, P)
 - ค่าพลังงานสะสมรวมของแรงงานต่อตารางเมตร (Services & Labors, S)
- ของอาคารกรณีศึกษาแต่ละประเภท

5.3 ส่วนที่ 3 การสรุปและจัดทำเป็นดัชนีในการประเมินค่าวัสดุก่อสร้างประเภทต่าง ๆ เป็นขั้นตอนจัดทำดัชนีในการประเมินค่าวัสดุก่อสร้างประเภทต่าง ๆ เพื่อหาข้อดีและข้อจำกัดในการใช้งาน

การจัดทำดัชนีค่าพลังงานสะสมรวมและการคำนวณ แสดงในรูปที่ 3 โดยแบ่งออกเป็น

5.3.1 Energy Yield Ratio (EYR) แสดงค่าพลังงานสะสมรวมของระบบต่อค่าปริมาณเงินสะสมรวมที่ต้องการใช้ในระบบ ค่า EYR จะสูง เมื่อวัสดุประเภทที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ในอาคาร มีค่าพลังงานสะสมรวมมาก โดยจะส่งผลให้ทราบถึงความคุ้มค่าที่รับจากการลงทุนในทรัพยากร ค่ายิ่งมาก แสดงถึงความคุ้มค่ามาก

$$\text{สูตร Energy Yield Ratio: } EYR = Y/F$$

5.3.2 Emergy Investment Ratio (EIR) เป็นค่าพลังงานสะสมรวมของเศรษฐกิจต่อค่าพลังงานสะสมรวมของทรัพยากรจากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดความชัดเจนของความสัมพันธ์ในกระบวนการของอาคารต่อการลงทุน ค่ายิ่งมาก แสดงถึงต้องมีการลงทุนในด้านทรัพยากรมาก

$$\text{สูตร Emergy Investment Ratio: } EIR = F/(N+R)$$

5.3.3 Emergy Sustainability Index (ESI) เป็นค่าดัชนีพลังงานสะสมรวมของความสามารถด้านความยั่งยืนของระบบหรืออาคารที่นำมาประเมิน ค่ายิ่งมากแสดงถึงความยั่งยืนของระบบที่นำมาประเมิน

$$\text{สูตร Emergy Sustainability Index: } ESI = (Y/F) / [(N+F)/R]$$

5.3.4 Environmental Loading (ELR) เป็นค่าดัชนีพลังงานสะสมรวมของภาระของระบบนั้นต่อทรัพยากรต่าง ๆ คือ สัดส่วนของการใช้วัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ต่อวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ค่ายิ่งน้อย ยิ่งดี

$$\text{สูตร Environmental Loading: } ELR = (N+F)/R$$

5.3.5 Environmental Loading (ELR) เป็นค่าดัชนีค่าพลังงานสะสมรวมของความสามารถในการนำทรัพยากรที่ได้จากระบบนั้นกลับมาใช้ใหม่ ค่ายิ่งมาก ยิ่งดี

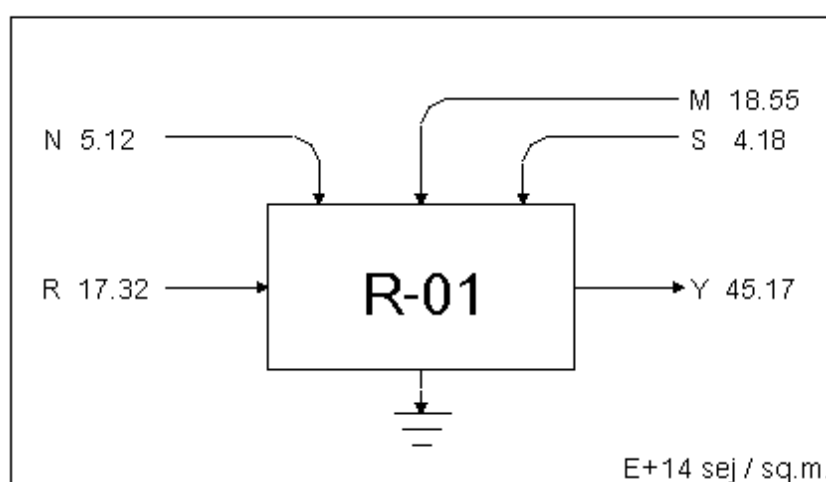
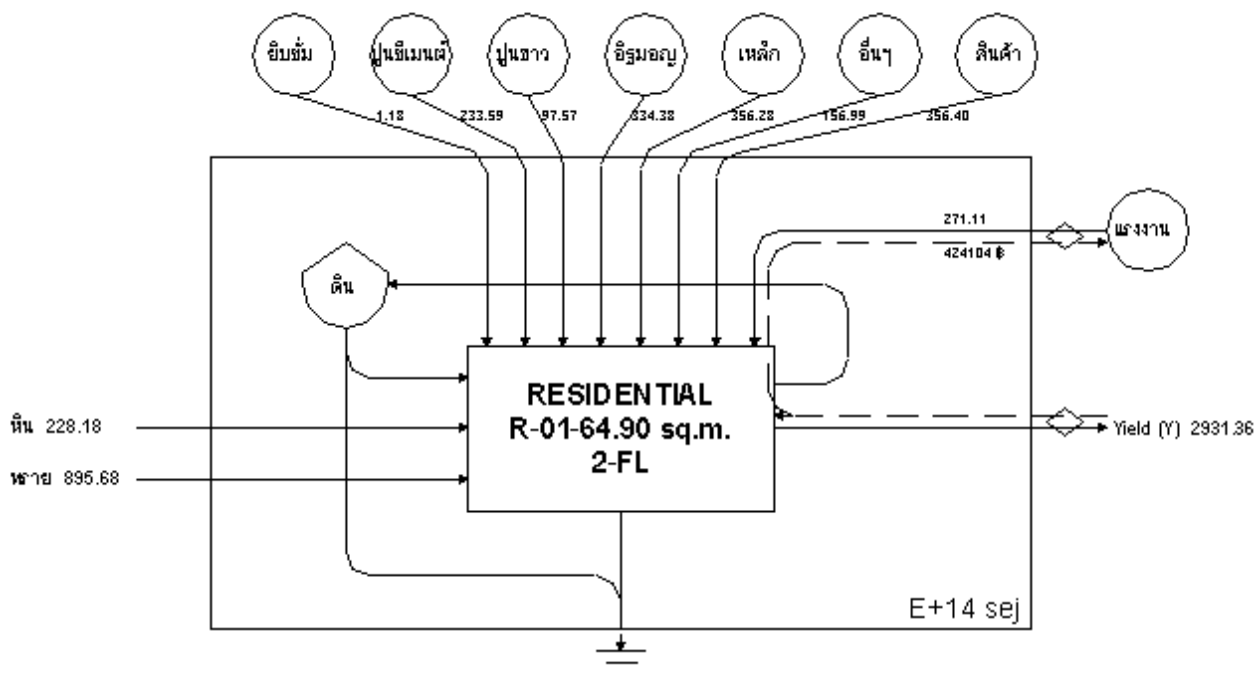
$$\text{สูตร Renewability: } R = (R/Y) \times 100$$

6. ประโยชน์ของการศึกษา (Purpose of Study)

6.1 ทราบดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารที่มีรูปแบบอาคาร ประเภทอาคาร และขนาดพื้นที่ของอาคารต่างกัน เพื่อเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบและตัดสินใจสำหรับผู้ออกแบบ

6.2 ทราบดัชนีการใช้พลังงานสะสมรวมของวัสดุ-ก่อสร้างชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประกอบการตัดสินใจของผู้ออกแบบอาคาร ในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคาร ระบบการก่อสร้างและการรื้อถอน

6.3 ทราบแนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง ในขั้นตอนการก่อสร้างและรื้อถอนอาคาร ที่มีรูปแบบอาคาร ประเภทอาคาร และขนาดพื้นที่ของอาคารต่าง ๆ กัน เพื่อความเหมาะสมในด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้ทรัพยากร



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างแผนภูมิค่าพลังงานสะสมรวมและแผนภูมิสรูปสามแขน แสดงค่าพลังงานสะสมรวมของอาคารพักอาศัยกรณีศึกษาหนึ่ง

7. ผลการศึกษา (Results of Study)

ลักษณะผลการศึกษา แสดงได้ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5

จากผลการประเมินค่าพลังงานสะสมรวม ปริมาณเงินสะสมและจัดทำเป็นดัชนีพลังงานสะสมรวมและดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น พบว่า

7.1 ผลการประเมิน Energy ของอาคารประเภทต่าง ๆ

7.1.1 ช่วงการก่อสร้างอาคาร

อาคารพักอาศัย

- ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน อาคารพักอาศัย มีแนวโน้มที่จะมีพลังงานสะสมรวมน้อยลงตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ในอาคารขนาดใหญ่
- ในลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันต่อ 1 ตารางเมตร ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (Exterior Insulating Finish System, EIFS) มีค่าพลังงานสะสมรวมใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

สถานศึกษา

- ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน สถานศึกษามีแนวโน้มที่จะมีพลังงานสะสมรวมจะแปรผันตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน
- ในลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ต่อ 1 ตารางเมตร ผนังอิฐดินซีเมนต์จะมีค่าพลังงานสะสมรวมน้อยกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 เท่า

อาคารสำนักงาน

- ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน สำนักงานมีแนวโน้มค่าพลังงานสะสมรวมจะแปรผกผันกับพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น แต่แบ่งออกเป็นช่วงพื้นที่ 400 - 600 ตารางเมตร และ 900 - 1,200 ตารางเมตร ซึ่งมาจากการเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของอาคาร

โรงพยาบาล

- ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน โรงพยาบาลมีแนวโน้มค่าพลังงานสะสมรวมจะแปรผันตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น แต่แบ่งออกเป็นช่วงพื้นที่ 500 - 2,500 ตารางเมตร และ 4,000 - 5,000 ตารางเมตร ซึ่งมาจากการเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของอาคาร

7.1.2 ช่วงการรื้อถอนอาคาร

การรื้อถอนอาคารสำนักงาน

- ในอาคารโครงสร้างไม้-อิฐ ค่าพลังงานสะสมรวมของอาคารจะมีค่าเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในช่วงใช้งานถึง 40 ปี ดังนั้น อายุการใช้งานอาคารควรอยู่ในช่วง 7 ปีขึ้นไป จึงจะคุ้มทุน
- ในอาคารโครงสร้างผนังอิฐ ค่าพลังงานสะสมรวมของอาคารจะมีค่าเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในช่วงใช้งาน ตั้งแต่ 19-30 ปี ดังนั้น อายุการใช้งานอาคารควรอยู่ใน ช่วง 19-30 ปีขึ้นไป จึงจะคุ้มทุน ทั้งนี้ ต้องพิจารณาพร้อมกับปัจจัยค่าพลังงานที่ใช้ในช่วงใช้งาน ปริมาณเงินที่ใช้ในการบำรุงรักษา ศักยภาพอาคาร และอายุอาคารไปพร้อม ๆ กัน
- ในลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ต่อ 1 ตารางเมตร โครงสร้างไม้-อิฐ จะมีค่าพลังงานสะสมรวมน้อยกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน
- ในช่วงการรื้อถอน ค่าพลังงานสะสมรวมจะแปรผันตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

7.2 สรุปผลการประเมินค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุก่อสร้างอาคาร จากผลค่าพลังงานสะสมรวมที่แสดงในรูปที่ 6 สามารถ สรุปได้ว่า

7.2.1 ช่วงการก่อสร้างอาคาร จากการพิจารณาอาคารที่อยู่ในช่วงการก่อสร้างอาคารทั้ง 4 ประเภท พิจารณาแยกแต่ละหมวดของวัสดุ พบว่าสามารถทำนายค่าพลังงานสะสมรวมของอาคารต่อตารางเมตร (Y) มาจากความสัมพันธ์ทางสถิติของ

- ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย R
- ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย N
- ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย P
- ค่าพลังงานสะสมรวมของแรงงานที่ใช้ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย S

ลำดับ	รายละเอียด	หน่วย	Input Resource Energy 1.00E+04	Solar Transformity (sej/หน่วย) 1.00E+06	Emergy (sej) 1.00E+14	Em฿** (1996baht฿)
1	น้ำ	J	2703.98	0.05	0.01	5
2	หิน	g	2281.78	1000.00	228.18	80914
3	ทราย	g	8956.76	1000.00	895.68	317616
4	ปูนซีเมนต์	g	1011.19	2310.00	233.59	82832
5	ปูนขาว	g	422.40	2310.00	97.57	34601
6	ไม้	g	428.27	879.00	37.64	13349
7	เหล็ก	g	858.51	4150.00	356.28	126341
8	ยิปซัม	g	11.80	1000.00	1.18	418
9	งานบันได	฿	1.09	282000.00	30.71	10889
10	อิฐมอญ	g	1441.28	2320.00	334.38	118574
11	กระเบื้องยาง	g	41.70	6320.00	26.35	9346
12	กระเบื้องเคลือบ	g	41.70	2860.00	11.93	4229
13	กระเบื้องซีเมนต์	g	156.70	2310.00	36.20	12836
14	สีฝุ่น	g	1.60	15200.00	2.42	860
15	สีผง	g	0.10	800.00	0.01	3
16	สีพลาสติก	g	6.28	15200.00	9.54	3382
17	สีน้ำมัน	g	5.94	15200.00	9.03	3203
18	พลาสติก	g	0.05	3280.00	0.02	6
19	สแตนเลส	g	0.45	9000.00	0.41	144
20	สังกะสี/ทองแดง	g	3.46	67700.00	23.40	8297
21	กระจก	g	0.19	1900.00	0.04	13
22	ประตู	฿	1.68	282000.00	47.33	16784
23	หน้าต่าง	฿	4.58	282000.00	129.15	45799
24	ระบบไฟฟ้า	฿	2.30	282000.00	64.72	22951
25	ระบบประปา	฿	3.00	282000.00	84.49	29960
26	แรงงาน	฿	9.61	282000.00	271.11	96139
	รวม				2931.36	1039489
		E+145ej/m2			45.17	
		Em฿/m2				16017

Note: 2.82E+11 sej/฿ ของประเทศไทย ในปี 2539 (1996)
(projected from calculation รูปที่ 1)

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการประเมินค่าพลังงานสะสมรวมของอาคาร ประเภทอาคารที่พักอาศัยกรณีศึกษา ลักษณะอาคารเป็นโครงสร้างคอนกรีต
อาคาร 2 ชั้น ขนาดหรือเนื้อที่อาคาร 64.9 ตร.ม. ข้อมูลปี 2539 (1996)

ดั่งสมการ

$$Y = 0.68 + 1.01 R + 1.06 N + 0.35 P + 0.88 S$$

เมื่อพิจารณาแยกประเภทประเภทวัสดุอาคารพบว่า วัสดุที่เป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าพลังงานสะสมรวมของการก่อสร้างอาคารประเภทต่าง ๆ เพิ่มขึ้น คือ

- วัสดุในประเภทวัสดุโครงสร้างหรือวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น หิน ทราาย ปูน เหล็ก วัสดุก่อสร้างเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าพลังงานสะสมรวมของอาคารพักอาศัย สถานศึกษา และอาคารสำนักงาน
- วัสดุในประเภทวัสดุตกแต่งอาคาร หรือวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น ปูนซีเมนต์ กระเบื้องต่าง ๆ วัสดุสังเคราะห์จากปิโตรเลียม เช่น ยาง วัสดุแปรรูปจากโลหะ และไม้ เช่น ประตู หน้าต่าง และสารเคมีที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าพลังงานสะสมรวมของโรงพยาบาล

7.2.2 ช่วงการรื้อถอนอาคาร จากการพิจารณาอาคารที่อยู่ในช่วงการรื้อถอนทั้ง 2 ประเภทพิจารณาแยกแต่ละหมวดของวัสดุ พบว่า สามารถทำนายค่าพลังงานสะสมรวมของอาคารต่อตารางเมตร (Y) มาจากความสัมพันธ์ทางสถิติของ

- ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย R
- ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย N
- ค่าพลังงานสะสมรวมของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย P
- ค่าพลังงานสะสมรวมของแรงงานที่ใช้ต่อตารางเมตร แทนค่าด้วย S

ดั่งสมการ

$$Y = -9.54 + 1.30 R - 4.93 N + 349.09 P + 11.90 S$$

เมื่อพิจารณาแยกประเภทวัสดุก่อสร้าง พบว่าวัสดุที่เป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าพลังงานสะสมรวมของการรื้อถอนอาคารประเภทต่าง ๆ เพิ่มขึ้น คือ

- วัสดุในประเภทวัสดุตกแต่งและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ได้จากการรื้อถอน โดยสัดส่วนของวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ของอาคาร จะมีสัดส่วนของวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในสัดส่วนที่มากกว่าวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ตามผลที่ได้จากช่วงของการก่อสร้าง

7.3 สรุปผลการประเมินปริมาณเงินสะสม ปริมาณเงินสะสมในระบบจะมีความสัมพันธ์กับวัสดุที่ใช้ในอาคารและค่าพลังงานสะสมรวมทั้งหมดของประเทศไทยต่อปริมาณเงินสะสมในขณะนั้น โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับค่าพลังงานสะสมรวมของอาคาร

7.4 สรุปผลการประเมินดัชนีด้านเศรษฐศาสตร์ และการใช้ทรัพยากรในการประเมินดัชนีที่เกี่ยวข้องกับด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้ทรัพยากรเป็นขั้นตอนจัดทำดัชนีในการประเมินค่าวัสดุก่อสร้างประเภทต่าง ๆ เพื่อหาข้อดีและข้อจำกัดในการใช้งาน

จากรูปที่ 6 สามารถสรุปได้ว่า

7.4.1 ช่วงการก่อสร้าง

- Energy Yield Ratio (EYR) เมื่อพิจารณาจากผลการประเมินค่าพลังงานสะสมรวม พบว่า ค่า EYR ของอาคารจะเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับวัสดุโครงสร้างหลักของอาคารเป็นสำคัญ ได้แก่ หิน ทราาย ดิน และปูนซีเมนต์ โดยอาคารสถานศึกษา ระบบโครงสร้างผนังอิฐ ดิน ซีเมนต์ มีค่า EYR สูงสุด แสดงได้ถึงอาคารที่มีความคุ้มค่าด้านพลังงานสะสมรวมมาก ในขณะที่อาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่ จะมีความคุ้มค่าด้านพลังงานสะสมรวมต่ำ และเมื่อพิจารณาในส่วนการรื้อถอนพบว่า ค่า EYR ลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าการรื้อถอนไม่ส่งผลให้มีความคุ้มค่าด้านพลังงานสะสมรวม ซึ่งผลที่ได้นี้ จะต้องไปพิจารณาเพิ่มเติมถึงความสามารถในการนำวัสดุที่ได้ไปผ่านกระบวนการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle process) ต่อไป

ประเภทอาคาร	การก่อสร้าง: บ้านพักอาศัย							การก่อสร้าง: โรงเรียน						
	R01 2-FL 64.9	R02 2-FL 78.8	R03 2-FL 116.0	R04 1-FL 118.4	R05 2-FL 149.1	R06 3-FL 400.0	R07 22-FL 46616.0	S01 1-FL 229.5	S02 2-FL 229.5	S03 2-FL 248.4	S04 2-FL 302.4	S05 3-FL 526.4	S06 2-FL 740.5	S07 20-FL 14975.0
ความสูง (ชั้น), พื้นที่อาคาร, Transformity w/services (E+14 sej/sq.m.)	45.17	38.43	33.44	29.38	33.45	25.22	52.17	23.57	32.21	32.93	46.79	84.52	26.38	375.46
Transformity w/o services (E+14 sej/sq.m.)	40.99	34.83	30.38	25.43	30.52	9.16	49.16	21.49	29.65	30.68	43.53	78.61	25.27	369.91
Service (E+14 sej/sq.m.)	4.18	3.6	3.06	3.95	2.93	16.06	3.01	2.08	2.56	2.25	3.26	5.91	1.11	5.55
Energy Yield Ratio: EYR _i /F	1.99	2.16	1.81	1.69	1.58	1.18	3.08	2.31	2.47	2.42	3.43	2.60	16.59	13.51
Energy Investment Ratio: EIR, F/(N+R)	1.01	0.86	1.23	1.45	1.74	5.46	0.48	0.76	0.68	0.71	0.41	0.62	0.06	0.08
Energy Sustainability Index: ESI _i (Y/F) / [(N+F)/R]	1.24	1.30	0.92	0.93	0.55	0.19	3.85	1.52	1.74	1.81	3.73	2.05	71.33	96.69
Environmental Loading :ELR, (N+F)/R	1.61	1.66	1.98	1.81	2.87	6.39	0.80	1.51	1.42	1.34	0.92	1.27	0.23	0.14
Renewability R=(R/Y)x100	38.34	37.55	33.55	35.60	25.80	13.52	55.55	39.80	41.35	42.79	52.11	44.08	81.16	87.74
Embant (Em _h /sq.m.)	16017	13629	11858	11861	10417	10292	12218	9208	12580	12862	18278	33016	11225	153248
Operation & Labour expenses(E+04 bah/sq.m.)	1481.34	1276.29	1084.10	1039.19	1398.97	2141.14	705.37	812.31	999.44	878.57	1272.85	2307.56	470.69	2264.09
Year of data collected	1996	1996	1996	1996	1996	2000	1992	1999	1999	1999	1999	1999	2002	2000

รูปที่ 6 ดัชนีสุขภาพพลังงานสะสมรวม สำหรับอาคารอยู่อาศัยและเรือนไทยในกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2533-2544 (ค.ศ. 1990-2001) เรียงตามพื้นที่อาคาร

ประเภทอาคาร	การก่อสร้าง: สำนักงาน						การก่อสร้าง: โรงพยาบาล				การรื้อถอน		
	OF 01	OF 02	OF 03	OF 04	OF 05		H01	H02	H03	H04	D-OF-01	D-OF-02	D-OF-03
ความสูง (ชั้น), พื้นที่อาคาร, Transformity w/services (E+14 sej/sq.m.)	2-FL 382.0	2-FL 536.0	2-FL 896.0	2-FL 1144.0	12-FL 11650.0		1-FL 591.5	3-FL 2244.0	5-FL 4313.0	6-FL 4746.0	HT. 3-FL 1100.0	CC. 3-FL 1515.0	CC. 4-FL 3995.0
Transformity w/o services (E+14 sej/sq.m.)	46.06	31.4	37.42	33.58	65.16		32.6	91.64	157.02	59.05	3.21	21.55	35.77
Transformity w/o services (E+14 sej/sq.m.)	42.12	28.87	34.77	31.09	58.85		29.37	87.78	154	55.51	2.41	20.96	34.64
Service (E+14 sej/sq.m.)	3.94	2.53	2.65	2.49	6.31		3.23	3.86	3.02	3.54	0.8	0.59	1.13
Energy Yield Ratio: EYR,Y/F	2.28	2.32	2.37	2.54	2.90		3.03	3.77	1.16	1.47	4.26	36.53	31.65
Energy Investment Ratio:EIR, F/(N+R)	0.78	0.76	0.73	0.65	0.53		0.49	0.36	6.14	2.15	0.31	0.03	0.03
Energy Sustainability Index: ESI,(Y/F) / [(N+F)/R]	1.55	1.67	1.79	2.15	3.54		3.36	7.66	0.13	0.42	10.23	538.02	301.37
Environmental Loading :ELR, (N+F)/R	1.47	1.39	1.32	1.18	0.82		0.90	0.49	8.76	3.47	0.42	0.07	0.11
Renewability R=(R/Y)x100	40.53	41.88	43.03	45.86	54.96		52.55	67.03	10.25	22.35	70.38	93.64	90.49
Embant (Em฿ /sq.m.)	18424	12815	13039	11701	19015		13873	16691	23065	61347	1331	9169	15221
Operation & Labour expenses(E+04 baht/sq.m.)	1574.34	1033.52	924.85	868.52	2463.51		1375.30	703.85	1381.27	1180.63	296.03	251.17	479.11
Year of data collected	1998	2000	1995	1995	1997		2001	1990	1997	1997	1999	2001	2001

รูปที่ 6 ดัชนีต้นทุนค่าพลังงานสะสมรวม สำหรับการก่อสร้างอาคารและรื้อถอนในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2533-2544 (ค.ศ. 1990-2001) เรียงตามพื้นที่อาคาร (ต่อ)

- Energy Investment Ratio (EIR) เมื่อพิจารณาผลการประเมิน พบว่า ค่า IR ของอาคารผนังอิฐ ดิน ซีเมนต์ มีการลงทุนในด้านทรัพยากรน้อย ในขณะที่ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก และอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่มีการลงทุนด้านทรัพยากรค่อนข้างจะมาก
- Energy Sustainability Index (ESI) เมื่อพิจารณาผลการประเมิน พบว่า ค่า EIR ของอาคารผนังอิฐ ดิน ซีเมนต์ มีค่าน้อย ในขณะที่ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก และอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่มีค่าสูง
- Renewability (R) เมื่อพิจารณาผลการประเมินพบว่า ค่า ESI ของอาคารผนังอิฐ ดิน ซีเมนต์ มีค่าสูง ในขณะที่ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกและอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่มีค่าน้อย เนื่องจาก วัสดุก่อสร้างอาคารผนังอิฐ ดิน ซีเมนต์ มีสัดส่วนการใช้ทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่มากถึง 81% ของวัสดุก่อสร้างทั้งหมด

7.4.2 ช่วงการรื้อถอน เมื่อพิจารณา รวมในด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้ทรัพยากรพบว่า ความสามารถในการคงอยู่หรือค่า ESI ของอาคารที่ก่อสร้างด้วยไม้ - อิฐ มีค่าน้อยกว่าอาคาร ที่ก่อสร้างด้วยอิฐ มาก และความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ หรือค่า R ของอาคารกรณีศึกษาที่ทำการรื้อถอนมีค่าสูง เนื่องจาก มีสัดส่วนของวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ต่อ วัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ของอาคาร จะมีสัดส่วนของวัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในสัดส่วนที่มากกว่าวัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เมื่อพิจารณาผลจากดัชนีสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปไปถึงอายุการใช้อาคารได้ ถ้าอาคารมีการลงทุนต่อ ทรัพยากรที่ใช้และปริมาณทรัพยากรที่ใช้มากกว่า อาคาร ควรจะมีอายุการใช้อาคารมากกว่า

ในขณะเดียวกัน การพิจารณาในส่วนนี้ไม่สามารถระบุความเหมาะสมในการเลือกใช้โครงสร้างได้ โดยต้องพิจารณาคว่กับพลังงานในช่วงใช้งานของอาคาร และ ศักยภาพอาคารในการปรับให้อยู่ในภาว่น่าสบาย ยกตัวอย่างเช่น ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ใช้พลังงานในการปรับอากาศ 220 ตร.ม./ตัน เมื่อเทียบกับระบบ ก่ออิฐฉาบปูนที่ใช้พลังงานในการปรับอากาศ 16 ตร.ม./ ตัน

7.5 การนำไปประยุกต์ใช้ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรง ต่อพลังงานสะสมรวม ประกอบด้วย

- วัสดุจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่, วัสดุ-โครงสร้าง
- วัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่, วัสดุ-ตกแต่ง
- วัสดุหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง, งานระบบ
- แรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง

โดยมีความสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้าง เทคนิค การก่อสร้าง รื้อถอน และประเภทของอาคาร โดยปัจจัยที่มี ผลต่อค่าพลังงานสะสมรวมมากที่สุด คือ วัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือวัสดุตกแต่ง

ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างในอาคาร จึงควร พิจารณาดังนี้

7.5.1 การเลือกใช้วัสดุอาคารที่มีปริมาณ มาก เช่น วัสดุตกแต่งอาคาร วัสดุจากแหล่งที่ไม่สามารถ นำกลับมาใช้ใหม่ ควรเลือกใช้

- วัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่นหรือในประเทศ
- วัสดุก่อสร้างจากแหล่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ที่มีค่า R มากกว่าหรือเท่ากับ 50 เป็นต้น
- วัสดุก่อสร้างที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงาน-น้อยในการออกแบบ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การสะสม พลังงานของวัสดุตกแต่งหลักที่ใช้เป็นปริมาณมาก ควรมีค่าไม่เกิน $2E+15$ sej/ ตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าที่เฉลี่ยโดยทั่วไปของวัสดุก่อสร้างพื้นฐาน

7.5.2 ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้วัสดุ จากแหล่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ควรพิจารณา ในสัดส่วนที่น้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับกับวัสดุจากแหล่งที่ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในอาคาร เพื่อความคุ้มค่า ทางเศรษฐศาสตร์ในอัตรา N : R เท่ากับ 1 : 2 ขึ้นไป

7.5.3 ในการก่อสร้างและรื้อถอนระบบ การก่อสร้างที่สามารถลดระยะเวลาลงได้ เช่น ระบบผนัง สำเร็จรูป จะทำให้ค่าพลังงานสะสมลดลง ทั้งนี้ ควรคำนึง ถึงอายุของวัสดุ อายุอาคาร ต้องเป็นค่าสัมประสิทธิ์การ สะสมพลังงาน : อายุการใช้งานที่มีค่าที่เป็นสัดส่วน น้อยลง เช่น ถ้าอาคารที่มีอายุการใช้งานน้อย ควรเลือกใช้ วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงานน้อยด้วย

การพิจารณาในส่วนค่าพลังงานสะสมรวมนี้ เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการกำหนดและเป็นเครื่องมือใน

การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างในอาคารประเภทต่าง ๆ อย่างไรก็ดี ควรพิจารณาพลังงานสะสมรวมนี้ควบคู่ไปกับค่าพลังงานที่ใช้ ในช่วงใช้งานของอาคารและสภาวะน่าสบายของอาคารที่มีโครงสร้างดังกล่าวประกอบด้วย

7.6 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคต [4] สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ

7.6.1 การศึกษาพลังงานสะสมรวมของอาคารตลอดอายุการใช้งานอาคาร 1 อาคาร เพื่อดูปัจจัยรายละเอียดในเชิงลึก

7.6.2 การจัดทำแบบประเมินพลังงานของอาคาร ที่มีทั้งค่าพลังงานสะสมรวมและค่าพลังงานที่ใช้ในช่วงใช้งานอาคาร

เนื่องจากประเทศไทยนั้น มีข้อจำกัดทางด้านฐานข้อมูลในเรื่องการประมาณราคาของการก่อสร้างและการรื้อถอน ทางผู้ศึกษาจึงใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์และประเมินค่าพลังงานสะสมรวมของอาคาร โดยใช้หลักการประเมินค่าพลังงานสะสมรวม รวมถึงการจัดทำเป็นแผนภูมิในการศึกษา ในขณะเดียวกัน ฐานข้อมูลของอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทย ยังไม่มีรวบรวมอย่างเป็นระบบ จึงต้องใช้เวลาค้นหามาก ในการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต ควรมีการรณรงค์ปลูกจิตสำนึกของผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการจัดทำเป็นฐานข้อมูลที่สามารถค้นคว้าได้ต่อไป

รายการอ้างอิง (References)

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2542. แหล่งที่มา: <http://www.dedp.go.th>, [3 กุมภาพันธ์ 2545].
- [2] ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจาก Odum, Howard T. Environmental Accounting: EMERGY and Environment Decision Making. New York: John Wiley, 1996.
- [3] ดูรายละเอียดของการคำนวณเพิ่มเติมได้จาก [2]
- [4] การพิจารณาตัวประกอบปรับแก้ เนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงานที่ใช้ในงานศึกษา เป็นค่าที่อ้างอิงมาจาก Howard T. Odum ผู้ทำการศึกษา เรื่อง Energy Analysis (Odum,1996) ในภายหลัง ได้มีการปรับแก้ในส่วนค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว ตาม Handbook of Emery Evaluation (Odum,2000) คือ $\text{ค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงานเดิม} \times 1.68 = \text{ค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงานใหม่}$ ในงานวิจัยครั้งนี้ ยังมีได้คุณตัวประกอบปรับแก้ดังกล่าว ดังนั้น ในการคำนวณค่าพลังงานสะสมรวมในอนาคต ควรมีการปรับแก้ให้ถูกต้องด้วย.

บรรณานุกรม (Bibliography)

- [1] กรมโยธาธิการ. หลักเกณฑ์การถอดแบบหาปริมาณวัสดุเพื่อคำนวณราคากลาง. <http://www.psd.go.th>, [6 มีนาคม 2544].
- [2] ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกร. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ ฯ: ที่กรุ๊ป ออฟ เอนจิเนียร์ซ, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์.
- [3] บริษัท ยูเนียนแอสโซซิเอตส์ จำกัด, คู่มือการประมาณการ (Estimation Manual & Building Material). พิมพ์ครั้งที่ 6, มปท. : กรุงเทพฯ ฯ, 2533.
- [4] พิภพ สุนทรสมัย. การประมาณราคาก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 18, กรุงเทพฯ ฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): 2538.
- [5] วรสิทธิ์ บุรณากาญจน์. Environmental Technology และ Green Architecture. เอกสารประกอบการสอน วิชาพัฒนากาวิวิชาการสถาปัตยกรรม. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [6] วรสิทธิ์ บุรณากาญจน์. Energy and Environment inputs in Building Operation (Condominium Case Study, Bangkok Thailand). สารศาสตร์สถาปัตย์ 2543, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [7] สมาคมอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย, ข่าวช่าง. ปีที่ 29 ฉบับที่ 345 มีนาคม 2544. กรุงเทพฯ ฯ: โรงพิมพ์เดือนตุลา 2544.
- [8] Brown, L.,Harry. Energy Analysis of 108 Industrial Processes. Atlanta, GA: Fairmont Press, 1985.
- [9] Buchanan, H., Andrew, and Honey, G., Brian. Energy and Carbon Dioxide Implications of Building Construction. Energy and Buildings, 20 1994. New York: Elsevier Science, 1994.
- [10] Buranakarn, Vorasun. Evaluation of Recycling and Reuse of Building Materials Using the Emery Analysis Method. Dissertation (Ph.D.), Department of Architecture, University of Florida, 1998.
- [11] Odum, Howard T. Environmental accounting: EMERGY and environment decision making. New York: John Wiley, 1996.
- [12] Odum, Howard T., Brown Mark T. and Brandt-Williams, Sherry. Handbook of Emery Evaluation: A compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series of Folios. Folio#1 Introduction and Global Budget, May 2000. Florida: Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences, 2000.
- [13] Odum, Howard T. Handbook of Emery Evaluation: A Compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series of Folios. Folio#2 Emery of Global Processes, May 2000. Florida: Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences, 2000.

- [14] Stein, Benjamin. and Reynolds, S., John. Mechanical and Electrical Equipment for Building. 8th Edition, New York: John Wiley & Son, 1992.
- [15] Stein R., G. Architecture and Energy. Garden City, NY: Anchor Press/Doubleday, 1977.