บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการประเมินพลังงานสะสมรวม Embaht และจัดทำเป็นดัชนีพลังงานสะสมรวม และดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นพบว่า

5.1 สรุปผลการประเมิน Emergy ของอาคารประเภทต่าง ๆ ช่วงการก่อสร้างอาคาร

5.1.1 อาคารพักอาศัย

1. ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน อาคารพักอาศัยมีแนวโน้มที่จะมีพลังงานสะสมรวมน้อยลงตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น และ เพิ่มขึ้นตามพื้นที่ในอาคารขนาดใหญ่
2. ในลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ต่อ 1 ตารางเมตร ผนัง EIFS มีพลังงานสะสมรวมใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

5.1.2 สถานศึกษา

1. ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน สถานศึกษามีแนวโน้มที่จะมีพลังงานสะสมรวมจะแปรผันตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน
2. ในลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ต่อ 1 ตร.ม. ผนังอิฐดินซีเมนต์จะมีพลังงานสะสมรวมน้อยกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน ถึง 2 เท่า

5.1.3 อาคารสำนักงาน

1. ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน สำนักงานมีแนวโน้มพลังงานสะสมรวมจะแปรผกผันกับพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น แต่แบ่งออกเป็นช่วงพื้นที่ 400-600ตร.ม. และ 900-1200 ตร.ม. ซึ่งมาจากการเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของอาคาร

5.1.4 โรงพยาบาล

1. ในลักษณะโครงสร้างเดียวกัน โรงพยาบาลมีแนวโน้มพลังงานสะสมรวมจะแปรผันตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น แต่แบ่งออกเป็นช่วงพื้นที่ 500-2500ตร.ม. และ4000-5000 ตร.ม. ซึ่งมาจากการเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างของอาคาร

ช่วงการรื้อถอนอาคาร

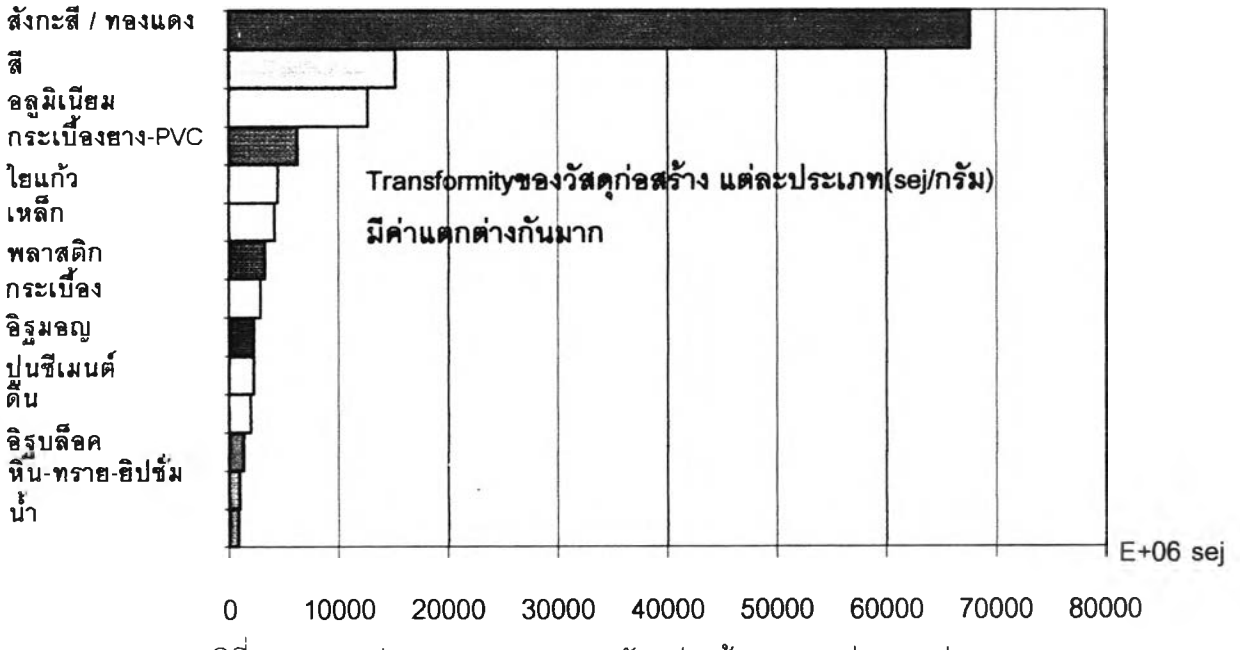
5.1.5 การรื้อถอนอาคารสำนักงาน

1. ในอาคารโครงสร้างไม้-อิฐ - พลังงานสะสมรวมของอาคารจะมีค่าเท่ากับ พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในช่วงใช้งานถึง 40 ปี ดังนั้น อายุการใช้งานอาคาร ควรอยู่ใน ช่วง 7 ปีขึ้นไปจึงจะคุ้มทุน
2. ในอาคารโครงสร้างผนังอิฐ - พลังงานสะสมรวมของอาคารจะมีค่าเท่ากับ พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในช่วงใช้งานตั้งแต่ 19-30 ปี ดังนั้น อายุการใช้งานอาคาร ควรอยู่ใน ช่วง 19-30 ปีขึ้นไปจึงจะคุ้มทุน

ทั้งนี้ต้องพิจารณาร่วมกับ ปัจจัยพลังงานที่ใช้ ปริมาณเงินที่ใช้ในการบำรุงรักษาและศักยภาพอาคารเมื่ออายุอาคารเพิ่มขึ้นประกอบด้วย

3. ในลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ต่อ 1 ตร.ม. โครงสร้างไม้-อิฐ จะมี พลังงานสะสมรวมน้อยกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูน
4. ในช่วงการรื้อถอน พลังงานสะสมรวมจะแปรผัน ตามพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

5.2 สรุปผลการประเมิน Emergy ของวัสดุก่อสร้างอาคาร



แผนภูมิที่ 5.1 แสดงค่า Transformity ของวัสดุก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ

ช่วงการก่อสร้างอาคาร

จากการพิจารณาอาคารที่อยู่ในช่วงการก่อสร้างอาคาร ทั้ง 4 ประเภท ถ้าเราพิจารณาแยกแต่ละหมวดของวัสดุ พบว่า

การหาค่า Emergy ของอาคาร /ตร.ม. มาจาก ความสัมพันธ์ของ

- โครงสร้าง / ตร.ม. คือ A
- การตกแต่ง/ ตร.ม. คือ B
- งานระบบ / ตร.ม. คือ C
- แรงงาน / ตร.ม. คือ D

ดังสมการ

$$Y = 0.68 + 1.01\,A + 1.06\,B + 0.35\,C + 0.88\,D$$

ช่วงการรื้อถอนอาคาร

จากการพิจารณาอาคารที่อยู่ในช่วงการรื้อถอนอาคาร ถ้าเราพิจารณาแยกแต่ละหมวดของวัสดุ พบว่า

การหาค่า Emergy ของอาคาร /ตร.ม. มาจาก ความสัมพันธ์ของ

- โครงสร้าง / ตร.ม. คือ A
- การตกแต่ง/ ตร.ม. คือ B
- งานระบบ / ตร.ม. คือ C
- แรงงาน / ตร.ม. คือ D

ดังสมการ

$$Y = -9.54 + 1.30\,A - 4.93\,B + 349.09\,C + 11.90\,D$$

เมื่อพิจารณาแยกประเภทวัสดุก่อสร้างพบว่าวัสดุที่เป็นปัจจัย ที่ทำให้ค่าพลังงานสะสมรวมเพิ่มขึ้นคือวัสดุในประเภทวัสดุโครงสร้างอาคารหลัก ได้แก่ หิน ทราย ปูนซีเมนต์ เหล็ก และวัสดุก่อ เช่น อิฐมอญ อิฐบล็อก อิฐดินซีเมนต์

และ สัดส่วนของวัสดุ renewable : non-renewable ของอาคารทุกอาคาร จะมี วัสดุประเภท renewable ในสัดส่วนที่มากกว่า non-renewable

ตารางที่ 5.1 ดัชนี Emergy สรุปสำหรับการก่อสร้างอาคารและรื้อถอนอาคารในประเทศไทย (1990-2001) เรียงตามพื้นที่อาคาร

ประเภทอาคาร	บ้านพักอาศัย							โรงเรียน						
	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07
ความสูง (ชั้น),	2-FL	2-FL	2-FL	1-FL	2-FL	3-FL	22-FL	1-FL	2-FL	2-FL	2-FL	3-FL	2-FL	20-FL
พื้นที่อาคาร,	64.9	78.8	116.0	118.4	149.1	400.0	46616.0	229.5	229.5	248.4	302.4	526.4	740.5	14975.0
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,Y/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
Emergy 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
Emergy Sustainability Index: ESI, (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
Embaht (Em฿ /sq.m.)	16017	13629	11858	11861	10417	10292	12218	9208	12580	12862	18278	33016	11225	153248
Operation & Labour expenses(E+04 baht/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

ประเภทอาคาร	สำนักงาน					โรงพยาบาล				ร้อยเอ็ด		
ความสูง (ชั้น),	OF 01 2-FL	OF 02 2-FL	OF 03 2-FL	OF 04 2-FL	OF 05 12-FL	H01 1-FL	H02 3-FL	H03 5-FL	H04 6-FL	D-OF-01 HT. 3-FL	D-OF-02 CC. 3-FL	D-OF-03 CC. 4-FL
พื้นที่อาคาร,	382.0	536.0	896.0	1144.0	11650.0	591.5	2244.0	4313.0	4746.0	1100.0	1515.0	3995.0
Transformity w/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
Emergy 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
Emergy 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
Embaht (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

5.3 สรุปผลการประเมิน Embaht

แสดงค่า ปริมาณเงินสะสมในระบบ ค่าของ Embaht จะมีความสัมพันธ์ วัสดุโครงสร้างที่ใช้ในอาคาร และ Emergy / Money Ratio ของประเทศในขณะนั้น โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับค่า Emergy ของอาคาร

5.4 สรุปผลการประเมินดัชนีด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ช่วงการก่อสร้าง

Emergy Yield Ratio (EYR)

แสดงค่า Emergy ของระบบ / Emergy ที่ต้องการใช้ในระบบ ค่า EYR จะสูงเมื่อวัสดุประเภท renewable ที่ใช้มี Emergy มาก โดยจะส่งผลให้ทราบถึงความคุ้มทุนที่ได้รับจากการลงทุนในทรัพยากร ยิ่งค่ามากแสดงถึงความคุ้มทุนมาก

เมื่อพิจารณาจากผลการประเมิน Emergy พบว่า ค่า EYR ของอาคารจะเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับ วัสดุโครงสร้างหลักของอาคารเป็นสำคัญได้แก่ หิน ทราย ดินและปูนซีเมนต์ โดยอาคารสถานศึกษาระบบโครงสร้างผนังอิฐดินซีเมนต์ มีค่า EYR สูงสุด แสดงถึงได้อาคารที่มีคุ้มทุนด้านพลังงานสะสมรวมมาก ในขณะที่อาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่จะมีความคุ้มทุนด้านพลังงานสะสมรวมต่ำ และเมื่อพิจารณาในส่วนการรื้อถอน พบว่า ค่า EYR ลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นถึงการรื้อถอนไม่ส่งผลให้มีความคุ้มทุนด้านพลังงานสะสมรวม

Emergy Investment Ratio (IR)

แสดงค่าการลงทุนลงไปในระบบ / Emergy ของทรัพยากร ค่า IR จะขึ้นกับมูลค่าของทรัพยากรหลักที่ใช้ในระบบ ค่า IR ที่น้อยแสดงถึงมีการลงทุนในด้านทรัพยากรน้อย

เมื่อพิจารณาผลการประเมิน พบว่า ค่า IR ของอาคารผนังอิฐดินซีเมนต์ มีการลงทุนในด้านทรัพยากรน้อย ในขณะที่ระบบผนัง EIFS และอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่ มีการลงทุนด้านทรัพยากรค่อนข้างจะมาก

Emergy Sustainability Index (ESI)

เป็นค่าดัชนี emergy ของความสามารถด้าน Sustainability ของระบบที่นำมาประเมิน ค่ายิ่งมากยิ่งดี แสดงถึงความคงอยู่ของระบบมีมากคือ มีอัตราส่วนการใช้ ทรัพยากร non-renewable น้อยกว่าทรัพยากร renewable

เมื่อพิจารณาผลการประเมิน พบว่าค่า ESI ของอาคารผนังอิฐดินซีเมนต์ มีค่าสูง ในขณะที่ระบบผนัง EIFS และอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่ มีค่าน้อย

Environmental Loading (ELR)

เป็นค่าดัชนี emergy ของภาระของระบบนั้นต่อสภาพแวดล้อม คือสัดส่วนการใช้ Nonrenewable ต่อ Renewable resource นั่นเอง โดย ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี

เมื่อพิจารณาผลการประเมิน พบว่าค่า ELR ของอาคารผนังอิฐดินซีเมนต์ มีค่าน้อย ในขณะที่ระบบผนัง EIFS และอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่ มีค่าสูง

Renewability (R)

เป็นดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการนำอาคารกลับไปใช้ใหม่ ค่าสูงแสดงถึงความสามารถในการนำกลับไปใช้ใหม่มีมาก

เมื่อพิจารณาผลการประเมิน พบว่าค่า ESI ของอาคารผนังอิฐดินซีเมนต์ มีค่าสูง ในขณะที่ระบบผนัง EIFS และอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่ มีค่าน้อยเนื่องจากวัสดุก่อสร้างอาคารผนังอิฐดินซีเมนต์ มีสัดส่วนการใช้ทรัพยากร renewable มากถึง 81% ของวัสดุก่อสร้างทั้งหมด

ช่วงการรื้อถอน

เมื่อพิจารณารวมในดัชนีด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมพบว่า

ความสามารถในการคงอยู่ ค่า ESI ของอาคารไม้ - อิฐ น้อยกว่า อาคาร อิฐ มากและความสามารถในการ Renewability หรือค่า R ของอาคารกรณีศึกษาที่มาทำการรื้อถอนมีค่าสูงเนื่องจากมีสัดส่วนวัสดุ Renewable:Nonrenewable = 1 : 1

เมื่อพิจารณาผลจากดัชนีสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปไปถึงอายุการใช้อาคารได้ ถ้าอาคารมีการลงทุนต่อทรัพยากรที่ใช้ และปริมาณทรัพยากรที่ใช้มากกว่า อาคารควรจะมีอายุการใช้อาคารมากกว่า

ในขณะเดียวกันการพิจารณาในส่วนนี้ ไม่สามารถระบุความเหมาะสมในการเลือกใช้โครงสร้างได้ โดยต้องพิจารณาควบคู่ไปกับพลังงานในช่วงใช้งานของอาคาร และศักยภาพอาคารในการปรับให้อยู่ในภาวะน่าสบาย เนื่องจาก ระบบผนังEIFS ใช้พลังงานในการปรับอากาศเพียง 220 ตร.ม./ตัน เมื่อเทียบกับระบบก่ออิฐฉาบปูนที่ 16 ตร.ม./ ตัน

5.5 การนำไปประยุกต์ใช้

ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อ พลังงานสะสมรวม ประกอบด้วย

- วัสดุโครงสร้าง
- วัสดุตกแต่ง
- งานระบบ
- แรงงาน

โดยมีความสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้าง เทคนิคการก่อสร้างรื้อถอน และ ประเภทของอาคาร โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานสะสมรวมมากที่สุด คือวัสดุโครงสร้างดังนั้น การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างในอาคาร จึงควรพิจารณาดังนี้

1. การเลือกใช้วัสดุอาคารที่มีปริมาณมาก เช่น วัสดุโครงสร้างอาคาร ควรเลือกใช้
   - วัสดุก่อสร้างธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่น หรือในประเทศ
   - วัสดุก่อสร้างประเภท renewable
   - วัสดุก่อสร้างที่มีค่า Transformity น้อยในการออกแบบ
2. ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้วัสดุ Non-renewable ควรพิจารณา ในสัดส่วนที่น้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับกับ วัสดุ Renewable ในอาคารเพื่อความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์
3. ในการก่อสร้างและรื้อถอน ระบบการก่อสร้างที่สามารถลดระยะเวลาลงได้ เช่น ระบบผนังสำเร็จรูป จะทำให้ค่าพลังงานสะสมลดลง

การพิจารณาในส่วนพลังงานสะสมรวมนี้เป็นส่วนหนึ่ง ที่จะช่วยในการกำหนด และเป็นเครื่องมือในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างในอาคารประเภทต่างๆ อย่างไรก็ดี ควรพิจารณา พลังงานสะสมรวมนี้ควบคู่ไปกับพลังงานในช่วงใช้งานของอาคาร และ สภาวะน่าสบายของอาคารที่มีโครงสร้างดังกล่าว ประกอบด้วย

5.6 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไปในอนาคต

หัวข้อการวิจัยต่อไปในอนาคต ที่ควรพิจารณา ได้แก่

5.6.1 การศึกษาพลังงานสะสมรวมของอาคารตลอดอายุการใช้งานอาคาร 1 อาคาร เพื่อดูปัจจัย รายละเอียดในเชิงลึก

5.6.2 การจัดทำแบบประเมินพลังงานของอาคาร ทั้งพลังงานสะสมรวม และพลังงานที่ใช้ในอาคาร

การพิจารณาตัวประกอบปรับแก้

เนื่องจากค่า Transformity ที่ใช้ในงานวิจัย เป็นค่าที่อ้างอิงมาจา Howard T. Odum ผู้ทำการวิจัย เรื่อง Emergy Analysis (Odum,1996) ในภายหลังได้มีการปรับแก้ในส่วนค่า Trasformity ตาม Handbook of Emergy Evaluation (Odum,2000) คือ

ค่า Transformity เดิม x 1.68 = **ค่า Transformity ใหม่**

ค่าในงานวิจัยครั้งนี้ ยังมิได้คูณตัวประกอบปรับแก้ ดังกล่าว ดังนั้น ในการคำนวณ ค่าพลังงานสะสมรวมในอนาคต ควรมีการปรับแก้ให้ถูกต้องด้วย

ในการทำวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดทางด้านฐานข้อมูลในเรื่องการการประมาณราคาของการก่อสร้างและการรื้อถอน ทางผู้จัดทำจึงใช้วิธีการวิเคราะห์และประเมิน Emergy ของอาคาร รวมถึงการจัดทำเป็น Diagram ในการศึกษา ในขณะเดียวกันฐานข้อมูลของอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทย ยังไม่มีรวบรวมอย่างเป็นระบบ จึงต้องใช้เวลาค้นหามาก ในการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต ควรมีการรณรงค์ปลูกจิตสำนึกของผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดทำเป็นฐานข้อมูลที่สามารถค้นคว้าได้ต่อไป