ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างอาคารในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน

น.ส.พิมลมาศ วรรณคนาพล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0629-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20191005
W.A. 2547

THE EMERGY INDEX OF BUILDINGS AND BUILDING MATERIALS DURING CONSTRUCTION AND DEMOLITION

Miss Pimonmart Wankanapon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0629-4

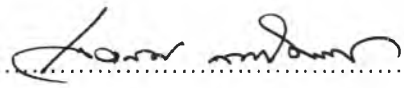
หัวข้อวิทยานิพนธ์	ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างอาคาร ในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน
โดย	นางสาว พิมลมาศ วรรณคนาพล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

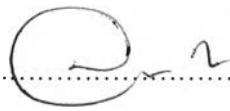


..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์เลอสม สถาปิตานนท์)

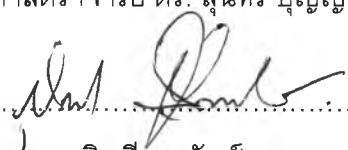
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)



..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)



..... กรรมการ

(คุณสุชาติ ภูรีสารศัพท์)

น.ส.พิมลมาศ วรรณคนาพล : ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างอาคารในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน (THE EMERGY INDEX OF BUILDINGS AND BUILDING MATERIALS DURING CONSTRUCTION AND DEMOLITION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ , 242 หน้า. ISBN 974-17-0629-4.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยร่วมในโครงการโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจุบันการใช้พลังงานของอาคารโดยทั่วไปมักพิจารณาจากปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเท่านั้น พลังงานที่ใช้ในระหว่างการผลิต และการขนส่ง ฯลฯ เป็นพลังงานแฝงที่เกิดขึ้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้ คือ พลังงานสะสมรวม (Embodied Energy)ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการต่างๆ การวิจัยนี้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ Emergy (Emergy Analysis) หมายถึง พลังงานสะสมรวมที่ใช้ในกระบวนการ โดยใช้หน่วย solar emergy การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินค่าและเปรียบเทียบพลังงานสะสมรวมและ Embahtในอาคาร จากนั้นจึงนำไปสร้างเป็นดัชนีสำหรับประเมินค่าพลังงานสะสมรวมและดัชนีด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นเครื่องมือบ่งชี้ถึงศักยภาพอาคารด้านพลังงานสะสมรวม

ขั้นตอนในการวิจัย คือ ศึกษารวบรวมข้อมูลจากแบบประมาณราคาก่อสร้างในอาคารประเภทต่างๆ4 แบบคือ อาคารพักอาศัย สถานศึกษา อาคารสำนักงานและโรงพยาบาล ในช่วงการก่อสร้างและศึกษาเปรียบเทียบอาคารโครงสร้างไม้-คอนกรีตเทียบกับอาคารคอนกรีตในช่วงการรื้อถอน รวมทั้งสิ้น 26 กรณี รวมถึงศึกษาเปรียบเทียบวัสดุก่อสร้างอาคารและวัสดุที่ได้จากการรื้อถอนในรูปดัชนีพลังงานสะสมรวมและดัชนีเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาทั้งในรูปของพลังงาน มวลสาร ปริมาณเงินสะสมและทรัพยากร รวมถึงรวบรวมข้อมูลพลังงานและทรัพยากรจัดทำดัชนีพลังงานสะสมรวมของประเทศไทยด้วย

ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ในการก่อสร้างอาคาร อาคารพักอาศัยมีพลังงานสะสมรวม ในช่วง 25.61-71.92 E+14 sej/ตร.ม. (เฉลี่ย 47.08 E+14 sej/ตร.ม.) และมี Embaht ในช่วง 10,292-16,017 Embaht/ตร.ม. (เฉลี่ย 12,327 Embaht/ตร.ม.) สถานศึกษา 23.57-376.25 E+14 sej/ตร.ม. (เฉลี่ย 88.84 E+14 sej/ตร.ม.) มี Embaht ในช่วง 9,208-153,248 Embaht/ตร.ม. (เฉลี่ย 35,773 Embaht/ตร.ม.) ในขณะที่อาคารสำนักงาน 31.40-65.16 E+14 sej/ตร.ม. (เฉลี่ย 42.72 E+14 sej/ตร.ม.) มี Embaht ในช่วง 11,701-19,015 Embaht/ตร.ม. (เฉลี่ย 14,998 Embaht/ตร.ม.)และโรงพยาบาล ที่ 32.60-157.02 E+14 sej/ตร.ม. (เฉลี่ย 85.08 E+14 sej/ตร.ม.) ซึ่งมี Embaht ในช่วง 13,873-61,347 Embaht/ตร.ม. (เฉลี่ย 28,744 Embaht/ตร.ม.) ในการรื้อถอนอาคาร พลังงานสะสมรวมอยู่ในช่วง 3.21-35.77 E+14 sej /ตร.ม. (เฉลี่ย 20.18 E+14 sej/ตร.ม.) และมี Embaht ในช่วง 1,331-15,221 Embaht/ตร.ม. (เฉลี่ย 8,573 Embaht/ตร.ม.)

จากดัชนีพลังงานสะสมรวมดังกล่าว การพิจารณาวัสดุก่อสร้างสามารถแบ่งปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานสะสมรวมได้เป็น 4 กลุ่ม คือ วัสดุโครงสร้าง วัสดุตกแต่ง งานระบบ และ แรงงาน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานสะสมรวมของอาคาร ได้แก่ วัสดุโครงสร้าง ของอาคารพักอาศัย สถานศึกษา และอาคารสำนักงาน ส่วนปัจจัยที่มีผลต่ออาคารโรงพยาบาลได้แก่ วัสดุตกแต่ง ส่วนการรื้อถอน ปัจจัยที่ส่งผลต่อพลังงานสะสมรวม คือวัสดุโครงสร้าง เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในช่วงใช้งานของอาคาร พลังงานสะสมรวมของอาคารไม้ผสมคอนกรีต มีค่าเทียบเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของอาคารนั้นประมาณ 7 ปี ส่วนพลังงานสะสมของอาคารโครงสร้างคอนกรีต มีค่าเทียบเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของอาคารนั้นประมาณ 19-30 ปี ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างควรเลือกใช้วัสดุโครงสร้างในปริมาณน้อย โดยเฉพาะวัสดุก่อสร้างที่มีค่า Transformity สูง การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างในอาคารควรเลือกใช้วัสดุ renewable มากกว่าวัสดุ non-renewable และพิจารณาอายุอาคารประกอบ

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต พิมลมาศ วรรณคนาพล
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4374162625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: / EMERGY INDEX / BUILDING MATERIALS / CONSTRUCTION / DEMOLITION

PIMONMART WANKANAPON: THE EMERGY INDEX OF BUILDING AND BUILDING MATERIALS DURING CONSTRUCTION AND DEMOLITION. THESIS ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR DR. VORASUN BURANAKARN, 242 pp. ISBN 974-17-0629-4.

This thesis is a part of a group research of non-airconditioned elementary school design in the northeastern part of Thailand as a main theme. Nowadays, energy consumption in building is usually considered only the energy from fossil fuel, but energy used during production process, transportation, etc. are still required. The energy during these phases is called "Embodied Energy". Emergy Analysis Technique is used in this thesis which is the amount of energy required to make something expressed in units of the same form of energy, called Solar Emergy. The objectives are to evaluate and compare Emergy and Embath of buildings and create Emergy and environmental Indices as a tool to help determining the Emergy saving and the environment benefits of buildings and building materials during construction and demolition.

The method was 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. The total case studies in Thailand have been made to 26 buildings. A consideration also made to evaluate materials during construction and demolition in each building. This study examines all factors, which are Emergy, masses and cost and resource data to create Emergy index and environmental index as well. In this part, Thailand Emergy and resource data was collected to produce Thailand Emergy to Money Ratio (Embaht) in addition.

The results illustrated that during construction, the Emergy index of residential building range from 25.61-71.92 E+14 sej/sq.m. (average 47.08 E+14 sej/sq.m.) with 10,292-16,017 Embaht/sq.m. (average 12,327 Embaht/sq.m.). The emergy index range from 23.57-376.25 E+14 sej/sq.m. (average 88.84 E+14 sej/sq.m.) with 9,208-153,248 Embaht/sq.m. (average 35,773 Embaht/sq.m.) in schools. Offices about 31.40-65.16 E+14 sej/sq.m. (average 42.72 E+14 sej/sq.m.) with 11,701-19,015 Embaht/sq.m. (average 14,998 Embaht/sq.m.). Hospitals index is 32.60-157.02 E+14 sej/sq.m. (average 85.08 E+14 sej/sq.m.) with 13,873-61,347 Embaht/sq.m. (average 28,744 Embaht/sq.m.). In demolition stage, the emergy values are 3.21-35.77 E+14 se/sq.m. (average 20.18 E+14 sej/sq.m.) with 1,331-15,221 Embaht/sq.m. (average 8,573 Embaht/sq.m.).

Four influence factors effecting emergy values as: structure, decoration, building system and labor. Structure is the major factors in residential buildings, schools and office buildings. Decoration is a major factor in hospital buildings. In demolition stage, structure is also the main factors. In demolition stage, Emergy value of Half-timber structure buildings has the same as 7 years of energy consumption. Whereas Emergy value of concrete structure building has the same as 19-30 years of energy consumption. Therefore, the building materials should be used in a 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 the materials should be use.

Department Architecture Student's signature Pimonmart

Field of study Architecture Advisor's signature Vorasun Buranakarn

Academic year 2001 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณา ความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ และ น้ำใจจากหลายหน่วยงาน และ บุคคล ดังนี้

ขอบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ให้ทุน อุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองในวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา ประจำปีการศึกษา 2543 ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนการศึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อมูลเทคนิคต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ ซึ่งกรุณาให้ข้อมูลคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ คุณสุชาติ ภูรีสารศัพท์ คุณอนันต์ ศิริพฤกษา คุณพงษ์ศักดิ์ บุญกล่อมจิต คุณฐากูร อนันตโชค และกองสถาปัตยกรรม กรมโยธาธิการ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสุนทร กุลละวณิชย์ และคุณผกา เอื้อปรัชญากุล ฝ่ายประมาณการ กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข สำหรับข้อมูลในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อัศวิน พิชญโยธิน สำหรับข้อมูลในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณเทิดเกียรติ แต่สุขวัฒน์ บริษัท CM49 สำหรับข้อมูลในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ น้อง ปริญญาโท Building 'Tech ทุกท่าน พี่ติ่ง พี่จ่อย พี่ก้อง พี่หนาว พี่น้อย พี่โอ๋ พี่เก่ง บั้ม พี่นี พี่ทิพ พี่จุ๋ม ที่ให้ความบันเทิงใจ และความช่วยเหลืออย่างดีมาโดยตลอด

ขอบคุณสำหรับ กำลังใจ ความเข้าใจ ความช่วยเหลือ ความห่วงใย ของ "พี่โอ๊ค" อานิก สกุลญานนท์วิทยา

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่นุท ที่คอยห่วงใยและใส่ใจมาตลอดตั้งแต่เข้าศึกษาจนทำวิทยานิพนธ์สำเร็จ

จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตารางประกอบ		ฌ
สารบัญรูปภาพประกอบ		ฎ
สารบัญแผนภูมิประกอบ		ฏ
การวิจัยร่วมโครงการโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาษาไทย		ฒ
การวิจัยร่วมโครงการโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาษาอังกฤษ		ด
บทที่ 1	บทนำ	
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	ปัญหาของการวิจัย	4
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
	ขอบเขตการวิจัย	4
	คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	5
	ระเบียบวิธีวิจัย	5
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2	ทฤษฎี และ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	
	2.1 นิยามและคำจำกัดความของคำศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	7
	2.2 การประเมิน Emergy ของ วัสดุและกระบวนการ	9
	2.3 การคำนวณ Emergy ของ รัฐและประเทศ	19
	2.4 หลักเกณฑ์การถอดแบบหาปริมาณวัสดุตั้งต้นเพื่อการประเมิน	27
	2.5 ข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับประเทศไทย ที่ใช้ในการประเมิน Emergy/ Money Ratio	35

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย.....	
	3.1 รูปแบบอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ในการวิจัย.....	37
	3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	39
บทที่ 4	ผลที่ได้จากการวิจัย.....	49
	4.1 อาคารพักอาศัย.....	49
	4.2 สถานศึกษา.....	67
	4.3 อาคารสำนักงาน	84
	4.4 โรงพยาบาล.....	96
	4.5 การรื้อถอนอาคาร.....	106
บทที่ 5	สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....	116
	5.1 สรุปผลการประเมิน Emergy ของอาคารประเภทต่างๆ.....	116
	5.2 สรุปผลการประเมิน Emergy ของวัสดุก่อสร้างอาคาร.....	117
	5.3 สรุปผลการประเมิน Embaht.....	121
	5.4 สรุปผลการประเมินดัชนีด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม.....	121
	5.5 การนำไปประยุกต์ใช้.....	123
รายการอ้างอิง		125
ภาคผนวก.....		130
	ภาคผนวก ก. รายการคำนวณ Emergy / Money Ratio ของประเทศไทย.....	131
	ภาคผนวก ข. รายการคำนวณ Emergy ของประเภทอาคารพักอาศัย.....	168
	ภาคผนวก ค. รายการคำนวณ Emergy ของประเภทอาคารสถานศึกษา.....	197
	ภาคผนวก ง. รายการคำนวณ Emergy ของประเภทอาคารสำนักงาน.....	221
	ภาคผนวก จ. รายการคำนวณ Emergy ของประเภทอาคารโรงพยาบาล.....	243
	ภาคผนวก ฉ. รายการคำนวณ Emergy ของการรื้อถอนอาคารสำนักงาน.....	262
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		271

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงความต้องการบริโภคพลังงานของประเทศไทย พ.ศ.2541 จำแนกตามสาขาทางเศรษฐศาสตร์.....	2
2.1	แสดงรายชื่อวัสดุประเภทและค่า Solar Transformity (sej/หน่วย) ที่ใช้ในการคำนวณ.....	10
2.2	แสดงรายการข้อมูลที่จำเป็นในการประเมิน Emergy ของประเทศ.....	20
2.3	แสดงระยะการติดตั้งและปริมาณวัสดุมุงหลังคาทรงจั่ว.....	33
2.4	แสดงระยะการติดตั้งและปริมาณวัสดุมุงหลังคาปั้นหยา.....	34
2.5	แสดงการคำนวณไม้พื้นและตง ต่อตารางเมตร.....	35
3.1	EMERGY Flow ของประเทศไทย ปีพ.ศ.2538 (1995).....	40
3.2	EMERGY of Exports and Other Flows ของประเทศไทย ปีพ.ศ.2538(1995)	41
3.3	EMERGY Storages ของประเทศไทย ปีพ.ศ.2538 (1995).....	41
3.4	Summary Flows สำหรับประเทศไทย ปีพ.ศ.2538 (1995).....	42
3.5	Solar emjoules/฿ ของประเทศไทยในปีต่างๆกัน.....	43
4.1	ตารางประเมินอาคารพักอาศัย.....	
	กรณีที่ 4.1-1	51
	กรณีที่ 4.1-2	53
	กรณีที่ 4.1-3	55
	กรณีที่ 4.1-4	57
	กรณีที่ 4.1-5	59
	กรณีที่ 4.1-6	61
	กรณีที่ 4.1-7	63
	4.1-8 ผลที่ได้จากการประเมิน Emergy อาคารพักอาศัย.....	64
4.2	ตารางประเมินสถานศึกษา.....	
	กรณีที่ 4.2-1	68
	กรณีที่ 4.2-2	70
	กรณีที่ 4.2-3	72
	กรณีที่ 4.2-4	74

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
	กรณีที่ 4.2-5	76
	กรณีที่ 4.2-6	78
	กรณีที่ 4.2-7	80
	4.2-8 ผลที่ได้จากการประเมิน Emergy อาคารพักอาศัย.....	81
4.3	ตารางประเมินอาคารสำนักงาน.....	
	กรณีที่ 4.3-1	85
	กรณีที่ 4.3-2	87
	กรณีที่ 4.3-3	89
	กรณีที่ 4.3-4	91
	กรณีที่ 4.3-5	93
	4.3-6 ผลที่ได้จากการประเมิน Emergy อาคารสำนักงาน.....	94
4.4	ตารางประเมินโรงพยาบาล.....	
	กรณีที่ 4.4-1	97
	กรณีที่ 4.4-2	99
	กรณีที่ 4.4-3	101
	กรณีที่ 4.4-4	103
4.5	ตารางประเมินการรื้อถอนอาคารสำนักงาน.....	
	กรณีที่ 4.5-1	107
	กรณีที่ 4.5-2	109
	กรณีที่ 4.5-3	111
	4.5-4 ผลที่ได้จากการประเมิน Emergy การรื้อถอนอาคารสำนักงาน.....	111
5.1	ดัชนี Emergy สรุปสำหรับการก่อสร้างอาคารและรื้อถอนอาคารในประเทศไทย (1990-2001).....	118
5.2	ตารางสรุป ค่า Emergy ในระบบการรื้อถอนอาคาร.....	138

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	แสดงความต้องการการบริโภคพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2541.....	2
1.2	แสดงพลังงานสะสมรวมในการก่อสร้างอาคาร.....	3
2.1	ค่า Emergy / Money ratio ของระบบโลก.....	12
2.2	แสดงสัญลักษณ์ในการเขียนไดอะแกรมการไหลของพลังงานในภาษาระบบพลังงาน (energy system language).....	14
2.3	แสดงความแตกต่างของการไหลของพลังงานในแต่ละวัสดุที่แตกต่างกัน แบ่งเป็นกระบวนการที่มีค่า transformity เหมือนกันและกระบวนการที่มีค่า transformity แตกต่างกัน.....	15
2.4	ไดอะแกรมสรุป.....	18
2.5	ลักษณะการเขียน ไดอะแกรม 3 แขน.....	19
2.6	แสดงไดอะแกรมของประเทศ สหรัฐอเมริกา และประเทศอื่นๆทั่วไปที่มีลักษณะการไหลของทรัพยากรดังกล่าว.....	21
2.7	ไดอะแกรมสรุปแสดงการไหลเข้าและออกของพลังงานและวัสดุในประเทศ.....	22
2.8	แสดงการสรุปผลในรูปไดอะแกรม 3 แขน (3-Arms Diagram).....	25
2.9	เป็นการเขียนไดอะแกรมสรุปเกี่ยวกับการไหลของวัสดุและพลังงานของประเทศอีกแบบหนึ่ง.....	26
3.1	การคำนวณ ค่า Transformity และ emergy per gram.....	48
3.2	การคำนวณ ค่า emergy index.....	48

สารบัญแผนภูมิประกอบ

แผนภูมิประกอบ		หน้า
3.1	แสดงค่า Emergy / Money Ratio ของประเทศไทย	44
4.1-4.7	แสดง ไดอะแกรม และไดอะแกรมสรุปพลังงานสะสมรวมของ อาคารพักอาศัย	50
4.1	กรณีที่ 1.1.....	52
4.2	กรณีที่ 1.2.....	54
4.3	กรณีที่ 1.3.....	56
4.4	กรณีที่ 1.4.....	58
4.5	กรณีที่ 1.5.....	60
4.6	กรณีที่ 1.6.....	62
4.7	กรณีที่ 1.7.....	64
4.8	แสดงผลของ Emergy / ตร.ม. ของอาคารประเภทพักอาศัย.....	64
4.9	แสดงผลของ Emergy ของอาคารพักอาศัย : พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น.....	65
4.10	แสดงผลของ ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารพักอาศัย.....	65
4.11	แสดง Emergy /ตร.ม. ของวัสดุประเภทต่างๆในอาคารพักอาศัย ผนังก่ออิฐฉาบปูน.....	66
4.12	แสดง Emergy /ตร.ม. ของวัสดุประเภทต่างๆในอาคารพักอาศัย ระบบผนัง EIFS	66
4.13-4.19	แสดง ไดอะแกรม และไดอะแกรมสรุปพลังงานสะสมรวมของ อาคารพักอาศัย	
4.13	กรณีที่ 2.1.....	67
4.14	กรณีที่ 2.2.....	69
4.15	กรณีที่ 2.3.....	71
4.16	กรณีที่ 2.4.....	73
4.17	กรณีที่ 2.5.....	75
4.18	กรณีที่ 2.6.....	77
4.19	กรณีที่ 2.7.....	79
4.20	แสดงผลของ Emergy / ตร.ม. ของอาคารประเภทสถานศึกษา.....	81
4.21	แสดงผลของ Emergy ของอาคารสถานศึกษา: พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น.....	82
4.22	แสดงผลของ ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมของสถานศึกษา	82

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิประกอบ		หน้า
4.23	แสดงEmergy /ตร.ม.ของวัสดุประเภทต่างๆในอาคารสถานศึกษาผนังก่ออิฐฉาบปูน	83
4.24	แสดงEmergy /ตร.ม.ของวัสดุประเภทต่างๆในอาคารสถานศึกษาผนังอิฐดินซีเมนต์	83
4.25-4.29	แสดง ไดอะแกรม และไดอะแกรมสรุปพลังงานสะสมรวมของอาคารสำนักงาน	
4.25	กรณีที่ 3.1	84
4.26	กรณีที่ 3.2	86
4.27	กรณีที่ 3.3	88
4.28	กรณีที่ 3.4	90
4.29	กรณีที่ 3.5	92
4.30	แสดงผลของ Emergy / ตร.ม. ของอาคารประเภทสำนักงาน	94
4.31	แสดงผลของ Emergy ของอาคารสำนักงาน: พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น	95
4.32	แสดงผลของ ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมของสำนักงาน	95
4.33-4.36	แสดง ไดอะแกรม และไดอะแกรมสรุปพลังงานสะสมรวมของโรงพยาบาล	
4.33	กรณีที่ 4.1	96
4.34	กรณีที่ 4.2	98
4.35	กรณีที่ 4.3	100
4.36	กรณีที่ 4.4	102
4.37	แสดงผลของ Emergy / ตร.ม. ของอาคารประเภทโรงพยาบาล	104
4.38	แสดงผลของ Emergy ของอาคารโรงพยาบาล: พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น	105
4.39	แสดงผลของ ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมของโรงพยาบาล	105
4.40-4.42	แสดงไดอะแกรม และไดอะแกรมสรุปพลังงานสะสมรวมของการรื้อถอนอาคารสำนักงาน	
4.40	กรณีที่ 5.1	106
4.41	กรณีที่ 5.2	108
4.42	กรณีที่ 5.3	110

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิประกอบ		หน้า
4.43	แสดงผลของ Emergy / ตร.ม. ของการรื้อถอนอาคารสำนักงาน.....	112
4.44	แสดงผลของ Emergy ของการรื้อถอนอาคารสำนักงาน : พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น.....	112
4.45	แสดงผลของ Emergy ของการรื้อถอนอาคารสำนักงาน : พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ.....	113
4.46	แสดงผลของ ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมของการรื้อถอนอาคารสำนักงาน.....	113
4.47	แสดงผลของ Embaht / ตร.ม. ของอาคารทุกประเภททั้งในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน.....	114
4.48	แสดงผลดัชนี Renewability ของอาคารทุกประเภททั้งในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน.....	115
5.1	แสดงค่า Transformity ของวัสดุก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ.....	117

การวิจัยร่วมโครงการโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยร่วมเพื่อสร้างเป็นโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วย

เทคนิคการออกแบบส่วนของอาคารและการเลือกใช้วัสดุ โดยมีแนวคิดในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุต่างๆของอาคารเพื่อการนำประโยน์จากธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างสูงสุด ซึ่งแบ่งเป็น

- การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร (อภิธัช พรหมสิริแสง, 2544)
- การพัฒนาผนังวัสดุธรรมชาติพื้นถิ่นเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายในอาคาร กรณีศึกษา อาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2544)
- การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน (ไพบูลย์ วังรุ่งเรืองกิจ, 2544)

เทคนิคการออกแบบด้านแสงสว่างและการมองเห็น โดยมีแนวคิดในการออกแบบโดยแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงความสบายทางการมองเห็น เพื่อให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งเป็น

- การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในห้องเรียนในชนบท (อวิรุทธ์ อุรุพงศา, 2544)
- การจัดวางแสงประดิษฐ์ให้สัมพันธ์กับผังห้องเรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (อานิก สกุลญานนท์วิทยา, 2544)
- แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาและเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท (ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ, 2544)

เทคนิคการออกแบบเพื่อการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยนำปัจจัยธรรมชาติมาใช้ในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อเพิ่มช่วงเวลาที่อยู่ในสภาวะสบายของที่ตั้งอาคารให้มากขึ้น ประกอบด้วย

- การปรับสภาพแวดล้อมเพื่อเอื้อประโยชน์ต่อห้องเรียนธรรมชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง (มนต์ชัย อัชชพันธ์, 2544)
- การลดอุณหภูมิวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารโดยวิธีการระเหย (เลิศลักษณ์ วุฒิสุวรรณ, 2544)

เทคนิคการประเมินอาคาร ประกอบด้วย

- การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร (สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ, 2544)
- การเปรียบเทียบทางเลือกการสร้างสภาวะน่าสบายทางด้านความร้อนในห้องเรียนไม่ปรับอากาศ (รุจิยา มุสิกะลักษณ์,2544)
- ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน (พิมลมาศ วรรณคนาพล, 2544)
- แนวทางในการประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษา (จันสอน สุลิวง, 2544)

การออกแบบโรงเรียนท้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิธีการธรรมชาติ (นรากร พุทธโฆษ์, 2544) เป็นการออกแบบโรงเรียน ที่นำเอาเทคนิคต่างๆ ในการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ มาวิเคราะห์ ผสมผสาน เป็นแบบอาคารโรงเรียนที่มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

RELATED RESEARCH OF NON-AIR CONDITIONED ELEMENTARY SCHOOL DESIGN PROJECT IN NORTHEASTERN THAILAND

This thesis is a part of group research, consists of:

Concepts of building and building materials are to utilize and optimize the natural assets by considered :

- THE DELELOPEMENT OF ROOF DESIGN AND AIR CIRCULATION SYSTEM TO REDUCE TEMPERATURE IN BUILDING (PROMSIRISANG,APITOUCH, 2001)
- A DEVELOPMENT OF BUILDING THERMAL WALL FROM LOCAL NATURAL MATERIALS , CASE STUDY : NON-AIR CONDITIONED STUDY ROOM NORTHEASTERN REGION , THAILAND (THONGKAMSAMUT, CHOOPONG, 2001)
- A BENEFIT OF THERMAL COMFORT FROM EARTH CONTACT SURFACE (WANGRUNGRUANGKIT, PAIBOON, 2001)

Concepts of lighting design and visual comfort are to integrated daylight and artificial light by considered:

- DAYLIGHT UTILIZATION FROM CLERESTORY IN RURAL CLASSROOM (URUPONGSA, AVIRUTH, 2001)
- THE PLANING OF ARTIFICIAL LIGHT REGARDING CLASSROOM PLAN FOR INCREASING ENERGY PERFORMANCE (SAKULYANONDVITTAYA, ARNIC. 2001)
- AN APPROACH TO IMPROVE VISUAL COMFORT IN CLASSROOM IN RURAL AREAS (TANGPOONSUPSIRI, TIPPAWAN, 2001)

Concept of modifying microclimate is to improve the comfort condition by natural assets considered:

- THE USE OF SITE TO MODIFY THERMAL COMFORT CONDITION FOR NATURE CLASSROOM IN LOWER NORTHEASTERN REGION (AUTCHAPUN, MONCHAI, 2001)
- EXTERIOR SURFACE TEMPERATURE REDUCTION THROUGH EVAPOLATION PROCESS (VUTTISUWAN, LERTLUX, 2001)

Concept of evaluation school performance is considered:

- A METHOD TO DEVELOP AN ENVELOPE INDEX FOR ENERGY EFFICIENCY BUILDING. (LOHASUWAN,SUTEEWAN, 2001)
- COMPARATIVE SOLUTION TO ACHIEVE THERMAL COMFORT IN NON-AIR CONDITIONED CLASSROOM (MUSIKALUCK, ROUJIYA. 2001)
- THE EMERGY INDEX OF BUILDINGS AND BUILDING MATERIALS DURING CONSTRUCTION AND DEMOLITION (WANKANAPON, PIMONMART. 2001)
- AN APPROACH TO FORMULATE ACOUSTIC EVALUATION INDEX IN PRIMARY SCHOOL (SOULIVONG, CHANSONE, 2001)

PASSIVE DESIGN FOR SCHOOL IN NORTHEASTERN REGION (PUTTHACO, NARAKORN, 2001) is the design of school which integrated, analyzed and optimized all natural factors ,and techniques to create appropriate school for better learning environment.