

การพัฒนาโปรแกรมจำลองระบบการใช้พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทย



นายบุญชัย เลิศนุวัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

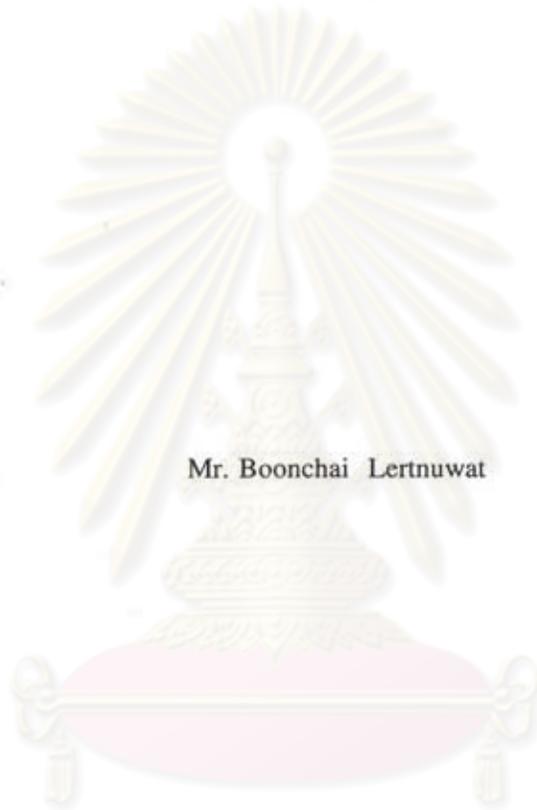
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-959-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17045824

DEVELOPMENT OF ENERGY SIMULATION PROGRAM
FOR BUILDINGS IN THAILAND



Mr. Boonchai Lertnuwat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduated School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-635-959-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาโปรแกรมจำลองรูปแบบการใช้พลังงานสำหรับอาคาร
ในประเทศไทย

โดย

นายบุญชัย เลิศนุวัฒน์

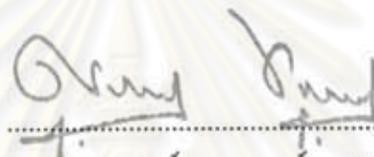
ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

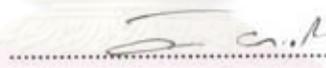
อาจารย์ ดร.ศุภย์ มณีวัฒนา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

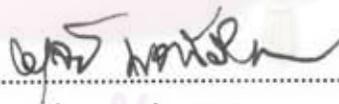


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

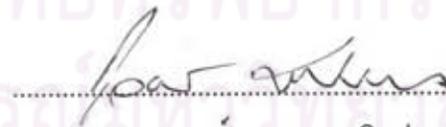
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



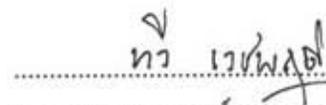
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ขงเจริญ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ศุภย์ มณีวัฒนา)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

บุญชัย เลิศนวิวัฒน์ : การพัฒนาโปรแกรมจำลองรูปแบบการใช้พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทย (DEVELOPMENT OF ENERGY SIMULATION PROGRAM FOR BUILDINGS IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. คุณชัย มณีวัฒนา ; 215 หน้า.
ISBN 974-635-959-2

โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประมาณค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทยได้รับการพัฒนาขึ้นตามวิธีของ Transfer Function Method ซึ่งถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 26 ของ ASHRAE HANDBOOK ฉบับ FUNDAMENTALS ปี 1993 โปรแกรมดังกล่าวนี้พบว่าใช้ได้กับอาคารที่มีหลายโซน แต่มีขีดจำกัดที่ค่าสูงสุด 97 โซน โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนของผนังและหน้าต่างในแต่ละโซน ข้อจำกัดดังกล่าวนี้น้อยกว่าข้อจำกัดของโปรแกรมตัวอื่นที่ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในท้องตลาดมาก โปรแกรมดังกล่าวได้รับการพัฒนาแยกออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกได้รับการพัฒนาให้ทำการคำนวณค่า Heat Extraction Rate รายชั่วโมงในแต่ละโซน และบันทึกข้อมูลไว้ในแฟ้มข้อมูลสำหรับการนำไปใช้งานในภายหลัง โปรแกรมในส่วนที่สองซึ่งเป็นอิสระจากส่วนแรก จะใช้ในการคำนวณค่าพลังงานของ System และ Plant ตามลำดับ โปรแกรมในส่วนนี้สามารถขยายขอบเขตได้อย่างง่ายดาย และไม่จำกัด เพราะความยุ่งยากเกือบทั้งหมดได้ถูกจัดการไว้ในส่วนแรกของโปรแกรมแล้ว โปรแกรมส่วนที่สาม เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการสร้างรายงานผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ ที่เข้าใจได้ง่าย

โปรแกรมในสองส่วนแรกใช้ข้อมูลอากาศจริงรายชั่วโมงเพื่อคำนวณ Cooling Load, Heat Extraction Rate ของแต่ละโซนในอาคาร และค่าพลังงานงานที่ต้องการสำหรับอาคาร การทดสอบการคำนวณค่า Cooling Load, Heat Extraction Rate และ พลังงานที่ต้องการในอาคาร ปรตท. แล้วนำเอา ผลลัพธ์เหล่านี้ไปทำการเปรียบเทียบกับ ผลจากการทำ Energy Audit และ ผลจากการคำนวณโดย Simulation Program ตัวอื่นๆ (เช่น BLAST, TRACE600 และ TMW-CL1) ให้ผลการเปรียบเทียบที่สมเหตุผล ข้อดีของโปรแกรมตัวนี้เมื่อเทียบกับโปรแกรมอื่นคือ สามารถอินพุต จำนวนโซนได้มาก, แสดงค่าคำตอบในรูปแบบที่เอื้อประโยชน์เนื่องจากโปรแกรมมี Source Code เป็นของตัวเอง ข้อเสียคือเวลาที่ใช้ในการ Simulation มากกว่าโปรแกรมอื่นหลายเท่า เพราะโปรแกรมต้องอ่านและเขียน แฟ้มข้อมูลเป็นจำนวนมาก การคำนวณอาคารขนาดใหญ่ที่คล้ายคลึงกับอาคาร ปรตท. ใช้เวลาราว 10 ชม. เมื่อทำการประมวลผลบนเครื่อง PC Pentium 133 MHz

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C716128 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: ENERGY / SIMULATION / PROGRAM

BOONCHAI LERTNUWAT : DELVELOPMENT OF ENERGY SIMULATION PROGRAM FOR BUILDINGS IN THAILAND. THESIS ADVISOR :

TUL MANEEWATTANA, Ph.D. 215 pp. ISBN 974-635-959-2

A computer program to estimate energy consumption for buildings in Thailand has been developed, based on the Transfer Function Method presented in chapter 26 of ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS 1993. This program is found to be appropriate for multi-zone buildings, limited to a maximum of 97 zones. There is no limitation on the total number of walls or windows per zone. This limitation is much more relaxed than the other simulation programs on the PC now available in the market. This program has been developed into 3 parts. The first part has been devoted to calculation on hourly heat extraction rate in each zone and records the results in a data file for later use. The second part of the program, independent of the first part is used to calculate the energy consumption of the system and plant respectively. This part of the program can be extended easily and indefinitely because most of the complexities have already been overcome in the first part of the program. The third part is used to produce reports of various forms that are easily understandable.

The first two parts of the program use the actual hourly weather data as an input to calculate cooling load, heat extraction rate for each zone and energy consumption for the buildings. Testing for the calculations of cooling load, heat extraction rate and energy consumption for PTT building and comparing the results with energy audit and the results from the other programs (such as BLAST, TRACE600 and TMW-CL1) give reasonable values. Advantages of this program, compared with other programs, are the ability to accept a large number of zones and the ability to obtain the results in any useful form because the program has its own source code. The disadvantage is the simulation time taken is much longer than other programs because the program needs to read and write a lot of temporary files. Simulation time for large building, similar to PTT building, takes approximately 10 hours on a PC Pentium 133 MHz.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา.....-

ปีการศึกษา.....2539

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูงที่
ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร.วิชา ชงเจริญ รศ.ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง และ
รศ. ทวี เวชพฤติ ที่ให้คำแนะนำ และถ่ายทอดความรู้ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์
มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโททุกคน ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา
และให้กำลังใจเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
ความสำคัญและที่มา	1
วัตถุประสงค์	5
ขอบเขตของงานวิจัย	5
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
2. ทฤษฎี	6
การทำ Energy Simulation	6
การคำนวณ Cooling Load	10
การคำนวณค่า Heatgain ผ่านกรอบอาคาร โดยใช้ Response Factor	20
การคำนวณ Secondary Equipment Loads	29
การคำนวณ Primary Equipment Energy Requirements	30
Flow Chart การทำงานของโปรแกรม BLN-ESPI	31
3. การทดลอง	35
ข้อมูลของอาคารที่ใช้ในการตรวจสอบ	35
อุปกรณ์ในการวัดค่าพลังงาน	48
การตรวจสอบโปรแกรม	52

	หน้า
4. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์	54
การเปรียบเทียบผลลัพธ์ Cooling Load	54
การเปรียบเทียบผลลัพธ์ Heat-Extraction Rate	72
การเปรียบเทียบผลลัพธ์ Energy Consumption	79
5. ผลสรุปและข้อเสนอแนะ	81
ผลสรุป	81
ข้อเสนอแนะ	86
รายการอ้างอิง	87
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้โปรแกรม BLN-ESPI	90
ภาคผนวก ข SOURCE CODE โปรแกรม CAL, SYSTEM และ REPORT	100
ภาคผนวก ค INPUT FILE (อาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย)	153
ภาคผนวก ง OUTPUT FILE (อาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) ...	175
ภาคผนวก จ ตารางข้อมูลดิบ	182
ภาคผนวก ฉ กราฟเปรียบเทียบค่า CLTD และ SCL จากการคำนวณด้วยวิธี CLTD/CLF และวิธี Tranfer Function Method	189
ประวัติผู้เขียน	215

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Simulation ในปัจจุบัน ที่ทำการศึกษา 3 ตัว	3
2.1 Procedure for Calculating Space Design Cooling Load - Summary of Load Sources and Equations	11
2.2 ตัวอย่าง Transfer Function Coefficients	14
2.3 The Value of w_1 for Different Room Air Circulation Rate and Envelope Construction	16
2.4 Coefficients of Room Transfer Functions	16
2.5 Normalized Coefficients of Space Air Transfer Functions	16
2.6 แสดง Algorithm ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละขั้นตอนของการ Simulation	31
3.1 แสดงรายชื่อวัสดุโครงสร้างอาคารในอาคาร ปตท.	36
3.2 แสดงส่วนประกอบโครงสร้างของอาคาร	37
3.3 แสดงตารางเวลาของกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอาคาร ปตท.	39
3.4 จำนวนคนอยู่อาศัย, การใช้พลังงานไฟแสงสว่าง และขนาดของอุปกรณ์จ่ายลมเย็นในชั้นต่างๆ ของอาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	47
3.5 แสดงวิธีการตรวจวัดพลังงาน และอุปกรณ์ที่ใช้	48
3.6 แสดงผลลัพธ์ที่ใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำในการคำนวณของโปรแกรม BLN-ESPI	53
5.1 เปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมต่างๆ ที่ทำการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	84

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 Simplified Model for Detailed Simulation Method for Energy Estimation	8
2.2 แสดงอิทธิพลของ Pulse ของอุณหภูมิหนึ่งหน่วย ที่มีผลต่อ Heatgain ที่ไหลเข้าสู่ห้อง	21
2.3 แสดงการแบ่ง Layer ของผนัง	22
2.4 Multi-layer Wall	23
2.5 แสดง Pulse รูปสามเหลี่ยมขนาดหนึ่งหน่วย	23
2.6 แสดงผลลัพธ์ของ Heatgain ที่ไหลเข้าสู่ห้องที่จุดเวลาต่างๆ	24
2.7 แสดงการ Superpositon ของ Pulse รูปสามเหลี่ยม ของอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง	25
2.8 แสดงมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยอ้างอิงกับผิวผนังที่สนใจ	28
2.9 แสดงภาพประกอบสมการ 2.33 เเงที่เกิดจาก Fin	28
2.10 แสดงภาพประกอบสมการ 2.34 เเงที่เกิดจาก Overhang	28
2.11 แสดง Flow Chart ของโปรแกรม CALEXE	32
2.12 แสดง Flow Chart ของโปรแกรม SYSTEM.EXE	33
2.13 แสดง Flow Chart ของโปรแกรม REPORT.EXE	34
3.1 อาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	35
3.2 แสดงลักษณะของหน้าต่างอาคาร ปตท.	38
3.3 แสดง Lay-out โชนไม้ปรับอากาศบริเวณ Lobby ชั้นล่างอาคาร ปตท.	41
3.4 แสดง Lay-out โชนปรับอากาศบริเวณ Lift Lobby ชั้นล่างอาคาร ปตท.	42
3.5 แสดง Lay-out โชนปรับอากาศบริเวณ Lift Lobby ชั้นสองอาคาร ปตท.	43
3.6 แสดง Lay-out โชนปรับอากาศบริเวณชั้นสามอาคาร ปตท.	44
3.7 แสดง Lay-out โชนปรับอากาศบริเวณชั้น 4 - 23 อาคาร ปตท.	45
3.8 แสดง Lay-out โชนปรับอากาศบริเวณชั้น 24 อาคาร ปตท.	46
3.9 อุปกรณ์ CLAMP-ON METER	49

	หน้า
3.10 อุปกรณ์ ENERGY ANALYZER	49
3.11 เครื่องวัดอัตราการไหล Ultrasonic Flow	50
3.12 เครื่อง TESTO 350	50
3.13 อุปกรณ์วัด Air Flow	51
4.1.1.1 ถึง 4.1.1.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณ Total Cooling Load เฉลี่ย ของอาคาร ปตท. รายเดือน ด้วยวิธีการต่างๆ	56
4.1.2.1 ถึง 4.1.2.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณ Conduction Load เฉลี่ย ของอาคาร ปตท. รายเดือน ด้วยวิธีการต่างๆ	62
4.1-พิเศษ-1 TFM versus CLTD/CLF versus TETD/TA Methods of Calculating Sensible Heatgain and Cooling Load	66
4.2-พิเศษ-2 แสดงความแตกต่างระหว่างค่า Solar Heatgain และ Solar Cooling Load ของอาคาร ปตท. ในเดือนเมษายน ด้วยวิธี TFM ของโปรแกรม BLN-ESPI	67
4.1.2.1 ถึง 4.1.2.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณ Solar Load เฉลี่ย ของอาคาร ปตท. รายเดือน ด้วยวิธีการต่างๆ	68
4.2-พิเศษ กราฟเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ด้วยโปรแกรม TRACE600 โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้น เป็นอาคาร ปตท. เช่นเดียวกัน แต่เลือกใช้รูปแบบ การคำนวณเป็น 6 วิธีที่แตกต่างกัน	73
4.2.1 ถึง 4.2.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณ Heat-Extraction Rate เฉลี่ยของอาคาร ปตท. รายเดือน ด้วยวิธีการต่าง	75
4.3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Energy Consumption รายเดือน ของอาคาร ปตท. ที่ได้จากการคำนวณ และ ผลจากการวัดจริง	80

4.3.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Energy Consumption ตลอดปี ที่คำนวณได้ กับผลการตรวจวัดจริง	80
5.1	แสดงค่า Heat Extraction Rate ที่เกิดขึ้นในช่วง 1 สัปดาห์	83
5.2	เปรียบเทียบขนาดของอุปกรณ์ทำความเย็นที่สามารถลดลงได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในอาคาร ปตท.	83
5.3	เปรียบเทียบพลังงานที่สามารถลดลงได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในอาคาร ปตท.	83



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่
b_n	Transfer Function Coefficient สำหรับอุณหภูมิภายนอกอาคาร
β	Solar Altitude
CLF	Cooling Load Factor
CLTD	Cooling Load Temperature Difference
c_n	Transfer Function Coefficient สำหรับอุณหภูมิภายในอาคาร
d_n	Transfer Function Coefficient สำหรับค่า Heat Gain ในช่วงโมงก่อน
δ	Declination
ER	อัตราการนำความร้อนออกจากห้อง (Heat Extraction Rate)
$g_0^*, g_1^*, g_2^*, \dots$	Normalized Coefficients of Space Air Transfer Function สำหรับค่า อุณหภูมิห้อง
I_d	Diffused Irradiation
I_{DN}	Direct Normal Irradiation
K_t	ค่าการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความยาวระหว่างอากาศภายในห้องกับสิ่งแวดล้อม
Lat.H.G.	Latent Heat Gain
L_F	ความยาวของผนังภายนอก
LON	Longitude
LSM	Longitude of Standard Meridian
p_0^*, p_1^*, \dots	Normalized Coefficients of Space Air Transfer Function สำหรับค่า Cooling Load
Q	Cooling Load
q	Heat Gain
R_i	การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน
SC	Shading Factor
Sens.H.G.	Sensible Heat Gain
SHGF	Solar Heat Gain Factor (Maximum)
Σ	Surface Tilt
t_c	Sol-air Temperature

t_s^*	อุณหภูมิที่กำหนดไว้ของ Thermostat
t_{rc}	Room Constant Temperature
U	ค่าการนำความร้อนของวัสดุต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย
V	Ventilation Rate
VI	Infiltration Rte
v_0, v_1, v_2, \dots	Coefficients of Room Transfer Function สำหรับค่า Heat Gain
w_1, w_2, \dots	Coefficients of Room Transfer Function สำหรับค่า Cooling Load อุณหภูมิในห้อง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย