การพัฒนาโปรแกรมจำลองรูปะบบการใช้พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทย

นายบุญชัย เลิศนุวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-959-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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	การพัฒนาโปรแกรมจำลองรูปแบบการใช้พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทย
โดย	นายบุญชัย เลิศนุวัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

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

โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประมาณค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทยได้รับการพัฒนาขึ้นตามวิธีของ Transfer Function Method ซึ่งถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 26 ของ ASHRAE HANDBOOK ฉบับ FUNDAMENTALS ปี 1993 โปรแกรมดังกล่าวนี้พบว่าใช้ได้ดีกับอาคารที่มีหลายโซน แต่มีขีดจำกัดที่ค่าสูงสุด 97 โซน โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนของผนังและหน้าต่างในแต่ละโซน ข้อจำกัดดังกล่าวน้อยกว่าข้อจำกัดของโปรแกรมตัวอื่นที่ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในท้องตลาดมาก 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 ปตท. 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 ปตท. ใช้เวลาราว 10 ชม. เมื่อทำการประมวลผลบนเครื่อง PC Pentium 133 MHz

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา – ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม –

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

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 it 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 ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา – ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม –

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณ อาจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ รศ.ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง และ รศ. ทวี เวชพฤติ ที่ให้คำแนะนำ และถ่ายทอดความรู้ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโททุกคน ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา และให้กำลังใจเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

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 ผ่านกรอบอาคารโดยใช้ Response Factor 20

การคำนวณ Secondary Equipment Loads 29

การคำนวณ Primary Equipment Energy Requirements 30

Flow Chart การทำงานของโปรแกรม BLN-ESP1 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-ESP1 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 Tranfer 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-ESP1 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 เงาที่เกิดจาก Fin	28
2.10	แสดงภาพประกอบสมการ 2.34 เงาที่เกิดจาก Overhang	28
2.11	แสดง Flow Chart ของโปรแกรม CAL.EXE	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 โซนไม่ปรับอากาศบริเวณ Lobby ชั้นล่างอาคาร ปตท.	41
3.4	แสดง Lay-out โซนปรับอากาศบริเวณ Lift Lobby ชั้นล่างอาคาร ปตท.	42
3.5	แสดง Lay-out โซนปรับอากาศบริเวณ Lift Lobby ชั้นสองอาคาร ปตท.	43
3.6	แสดง Lay-out โซนปรับอากาศบริเวณชั้นสามอาคาร ปตท.	44
3.7	แสดง Lay-out โซนปรับอากาศบริเวณชั้น 4 - 23 อาคาร ปตท.	45
3.8	แสดง Lay-out โซนปรับอากาศบริเวณชั้น 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-ESP1 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

หน้า

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 ในชั่วโมงก่อน
δ	Declination
ER	อัตราการนำความร้อนออกจากห้อง (Heat Extraction Rate)
$g_0^*, g_1^*, g_2^*, \ldots$	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
$p_0^*, p_1^*, \ldots$	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_e	Sol-air Temperature

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย