ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล | วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง โปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสำหรับประเทศไทย

The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Program for Thailand

นามผู้วิจัย นายอัครพล ภู่มหภิญโญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พลกฤต กฤชไมตรี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(รองศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

โปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี สำหรับประเทศไทย

The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Program for Thailand

โดย

นายอัครพล ภู่มหภิญโญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัครพล ภู่มหิญโญ2557: โปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสำหรับประเทศไทยปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พลกฤต กฤชไมตรี,Ph.D.
112หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสำหรับประเทศไทย โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excelเป็นหลัก มีการรวมข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณภาระทำความเย็นสำหรับประเทศไทย เช่น ละติจูด ลองจิจูด ความสูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณความชื้นในอากาศ ฯลฯ และ รวมถึงวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้ในประเทศไทย การคำนวณเพียงแค่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณ โปรแกรมจะสามารถคำนวณภาระทำความเย็นได้ทันที ทำให้ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถทราบภาระทำความเย็นได้อย่าง รวดเร็ว แม่นยำ และสร้างความสะดวกในการใช้งาน เนื่องจากไม่ต้องสร้างแบบจำลองอาคารที่ใช้คำนวณ

หลังจากการพัฒนาโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นเสร็จสิ้น มีการตรวจสอบผลการคำนวณภาระทำความเย็นที่คำนวณได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เทียบกับโปรแกรม Energy Plus โดยโปรแกรม Energy Plus เป็นโปรแกรมคำนวณด้านพลังงานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงพลังงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา โปรแกรม Energy Plus ได้ถูกนำไปใช้คำนวณพลังงานอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมไปถึงการคำนวณภาระทำความเย็น

ผลเปรียบเทียบการคำนวณภาระทำความเย็นจากโปรแกรมทั้งสองในวัน สถานที่ และสภาวะเดียวกัน พบว่า มีแนวโน้มภาระทำความเย็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกๆ เดือน โดยภาระทำความเย็นที่มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากที่ดวงอาทิตย์ขึ้น และเพิ่มสูงสุดในช่วงเย็น จากนั้นภาระทำความเย็นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงค่ำ และในช่วงกลางคืนภาระทำความเย็นจะลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งดวงอาทิตย์ขึ้นในเวลาเช้า

________________ ________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Akaraphon Poomahapinyo 2014: The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Program for Thailand. Master of Engineering (MechanicalEngineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Pollakrit Kritmaitree, Ph.D. 112 pages.

This research is to develop the "Radiant Time Series Cooling Load Calculation Program for Thailand",the crucial information for calculating cooling load,like latitude,longtitude,height from sea level, humidity and constructing material,is always conducted.The users just put the necessary information to the calculating program.The result will be showed immediately.Because it's not necessary to build the buildings models for calculating,the users can get the result of cooling load quickly,precisely and conveniently.

After finishing in developing the calculating program of cooling load it is compared with the "Energy Plus" program,which was developed by the "US Energy Ministry" and was used to calculate energy from all over the world,including in calculating "cooling load".

The comparative result in calculating cooling load of these 2 programs,in the same day,place and condition, found that cooling load tended to be on the same direction in every month, cooling load tended to be increased after the sun rises and reached the highest point in the evening. After that time, cooling load tended to be quickly decreased in the late evening and to be slowly decreased at night until the sun rises in the morning.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.พลกฤต กฤชไมตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณรศ. ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งคณะกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเสมอมา รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนลุล่วงไปได้ด้วยดี

อัครพล ภู่มหิญโญ

เมษายน 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	48
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากไฟส่องสว่างตามประเภทการใช้งาน	80
ภาคผนวก ขแสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์	85
ภาคผนวก ค แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ให้ความร้อน	88
ภาคผนวก ง แสดงการใส่ข้อมูลและผลการคำนวณภาระทำความเย็นจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	101
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	112

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 เปรียบเทียบความแตกต่างโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้านคุณสมบัติทั่วไป 30

2 เปรียบเทียบความแตกต่างโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้านภาระทำความเย็น 31

3 เปรียบเทียบความแตกต่างโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้านระบบและอุปกรณ์HVAC 33

4 ตารางดำเนินงานวิจัย 47

5 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มกราคม 50

6 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กุมภาพันธ์ 52

7 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มีนาคม 54

8 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21เมษายน 56

9 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤษภาคม 58

10 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มิถุนายน 60

11 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กรกฎาคม 62

12 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21สิงหาคม 64

13 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กันยายน 66

14 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ตุลาคม 68

15 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤศจิกายน 70

16 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ธันวาคม 72

ตารางผนวกที่

ก1 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากไฟส่องสว่างตามประเภทการใช้งาน 81

ก2 อัตราส่วนการพาความร้อนและการแผ่รังสีจากไฟส่องสว่างตามประเภทแหล่งกำเนิด 84

ข1 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ 86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค1	แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทไม่ใช้เครื่องดูดควัน	89
ค2	แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทใช้เครื่องดูดควัน	92
ค3	แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทใช้ก๊าซ และเครื่องดูดควัน	94
ค4	แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทใช้เชื้อเพลิงแข็ง และเครื่องดูดควัน	97
ค5	แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทอุปกรณ์ซักล้าง	98
ค6	แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนทางการแพทย์	99
ค7	แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในห้องปฏิบัติการ	100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ช่วงเวลาการค้นพบการคำนวณภาระทำความเย็นวิธีต่างๆ	6
2	ขั้นตอนการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี	9
3	การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์	11
4	พิกัดท้องฟ้าระบบของฟ้า	12
5	พิกัดท้องฟ้าระบบศูนย์สูตร	13
6	การคำนวณมวลอากาศ	14
7	การคำนวณมุมแสงที่ตกกระทบผนังอาคาร	15
8	สัญลักษณ์ของมุมต่างๆ ระหว่างดวงอาทิตย์และพื้นผิวภายนอกอาคาร	15
9	การคำนวณหาBeam Component	17
10	การคำนวณหา Diffuse Component	18
11	การคำนวณหาGround-Reflected Component	18
12	การคำนวณหาTotal Clear-Sky Irradiance	19
13	คุณสมบัติของอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร	20
14	การคำนวณหาอุณหภูมิเทียบเท่า	21
15	การคำนวณภาระทำความเย็นจากความร้อนผ่านกระจก	26
16	การคำนวณภาระทำความเย็นจากความร้อนผ่านผนังและหลังคา	27
17	ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม Energy Plus	35
18	แบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรม Sketch Up	38
19	การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 1	39
20	การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 2	40
21	การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 3	41
22	การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 4	42
23	การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 5	43
24	การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 6	44
25	การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 7	45
26	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มกราคม	49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กุมภาพันธ์	51
28	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มีนาคม	53
29	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21เมษายน	55
30	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤษภาคม	57
31	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มิถุนายน	59
32	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กรกฎาคม	61
33	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21สิงหาคม	63
34	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กันยายน	65
35	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ตุลาคม	67
36	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤศจิกายน	69
37	ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ธันวาคม	71

ภาพผนวกที่		
ง1	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 1	102
ง2	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 2	103
ง3	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 3	104
ง4	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 4	105
ง5	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 5	106
ง6	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 6	107
ง7	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 7	108
ง8	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 8	109
ง9	การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 9	110
ง10	ผลการคำนวณโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น	111

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

E_0	=	ค่าพลังงานความร้อนที่มายังโลก
E_{sc}	=	ค่าคงตัวแสงอาทิตย์
n	=	วันที่ของปี
ET	=	ค่าปรับเท่าเวลา
δ	=	มุมลาดเอียงของแสง
AST	=	เวลาสุริยะปรากฏ
LST	=	เวลามาตรฐานท้องถิ่น
LON	=	ลองจิจูด
LSM	=	Longitude of Local Standard Time Meridian
TZ	=	เขตเวลา
H	=	มุมเวลา
L	=	ละติจูด
m	=	มวลอากาศ
Σ	=	มุมเอียงของพื้นผิว
θ	=	มุมตกกระทบของแสง
γ	=	มุมสัมผัสแนวระดับของแสง
ϕ	=	มุมภาคทิศดวงอาทิตย์
ψ	=	มุมแนวระดับของพื้นผิวสัมผัส
E_b	=	Beam Normal Irradiance
E_d	=	Diffuse Horizontal Irradiance
τ_b	=	Beam Pseudo Optical Depths
τ_d	=	Diffuse Pseudo Optical Depths
ab	=	Beam Air Mass Exponents
ad	=	Diffuse Air Mass Exponents
E_t	=	Total Clear-Sky Irradiance
$E_{t,b}$	=	Beam Component
$E_{t,d}$	=	Diffuse Component
$E_{t,r}$	=	Ground-Reflected Component

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ρ_g	=	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้น
t_{db}	=	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
DB	=	อุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุด
MCWBR	=	Mean Coincident Wet Bulb Temperature Range
Ra	=	Fraction of Daily Temperature Range
$t_{e,\theta}$	=	อุณหภูมิเทียบเท่า
$t_{o,\theta}$	=	อุณหภูมิภายนอก
α	=	สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผนัง
h_o	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากภายนอก
ε	=	ค่าคงที่ Surface Emissivity
ΔR	=	Difference between Long-Wave Radiation Incident on Surface from Sky and Surroundings and Radiation Emitted by Blackbody at Outdoor Air Temperature
$q_{SHG,D}$	=	ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง
$SHGC(\theta)$	=	สัมประสิทธิ์ความร้อนที่รับจากรังสีตรง
A	=	พื้นที่
$q_{SHG,d}$	=	ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยการแพร่
$SHGC_{diffuse}$	=	สัมประสิทธิ์ความร้อนที่รับจากรังสีกระจาย
q_θ	=	ความร้อนรายชั่วโมง
U	=	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม
c_j	=	ตัวประกอบอนุกรมเวลาของการนำความร้อนรายชั่วโมง
$t_{e,\theta-j\delta}$	=	อุณหภูมิเทียบเท่าj ชั่วโมงที่ผ่านมา
t_{rc}	=	อุณหภูมิห้อง
Q_θ	=	ภาระทำความเย็นรายชั่วโมง
$q_{\theta-n\delta}$	=	ความร้อนที่รับn ชั่วโมงที่ผ่านมา
$r_0, r_1, \ldots$	=	ตัวประกอบอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีรายชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี สำหรับประเทศไทย

The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Program for Thailand

คำนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานมากเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้น แต่การได้พลังงานมาใช้จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ที่มีอยู่อย่างจำกัด และมีการปล่อยมลภาวะที่เป็นพิษสู่สิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นมนุษย์จำเป็นจะต้องใช้พลังงานที่ผลิตขึ้นมาให้เกิดความเหมาะสมที่สุด เพื่อสงวนทรัพยากรธรรมชาติ และรักษาสิ่งแวดล้อมให้คงอยู่

อาคารในเมืองใหญ่ของประเทศเขตร้อน ส่วนมากจะติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อความสบาย โดยเครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก ดังนั้นการเลือกชนิด และขนาดของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับอาคาร จึงมีความสำคัญมาก

การเลือกชนิดของเครื่องปรับอากาศขึ้นอยู่กับ งบประมาณ ทรัพยากรที่มีอยู่ ลักษณะของห้องที่ต้องการปรับอากาศ ซึ่งจะต้องอาศัยประสบการณ์ ความรู้ ความสามารถ ความชำนาญ ของผู้ออกแบบระบบ โดยในส่วนขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เลือกใช้ จะต้องคำนวณจากภาระทำความเย็น ซึ่งวิธีการคำนวณภาระทำความเย็นที่ยอมรับในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันมากคือ วิธีสมดุลความร้อนและ วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี โดยอาศัยการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และลดข้อผิดพลาด

วิธีสมดุลความร้อนเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงแต่ต้องใช้ข้อมูลต่างๆ ในการคำนวณมากและมีความยุ่งยาก จึงต้องอาศัยการคำนวณจากคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี(Radiant Time Series Method)เป็นวิธีที่ได้มีความถูกต้อง แม่นยำสูงและใช้งานง่าย มีการพัฒนาโปรแกรมจนสามารถใช้งานได้ง่าย โดยผู้ออกแบบโปรแกรมส่วนมากจะเป็นชาวต่างชาติ ซึ่งวัสดุใช้ก่อสร้างที่มีในฐานข้อมูลของโปรแกรมเป็นวัสดุหลักที่มีการใช้งานทั่วโลก แต่ในประเทศไทย ที่อยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อยู่ในเขตร้อนชื้น มีความหลากหลายทางพันธุ์พืช ทำให้มีวัสดุก่อสร้างที่มีเฉพาะในท้องถิ่นเช่น ไม้ยาง ไม้สัก ฯลฯ ซึ่งในฐานข้อมูลโปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นโดยทั่วไปไม่มีข้อมูลคุณสมบัติการส่งผ่านความร้อนในวัสดุดังกล่าว จึงทำให้การคำนวณเกิดความผิดพลาดมีผลต่อการคำนวณภาระทำความเย็นที่ไม่ถูกต้องและส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี ซึ่งมีการนำข้อมูลวัสดุก่อสร้างที่ใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณรวมไปถึงการนำสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยที่ใช้ร่วมกับการคำนวณบรรจุลงในฐานข้อมูลของโปรแกรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1. เพื่อให้เกิดโปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย

2. เพื่อรวบรวมคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างหลัก ที่เป็นวัสดุที่ใช้ในประเทศไทย

3. เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถตัดสินใจเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี

2. พัฒนาโปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสำหรับประเทศไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นสำหรับใช้งานในประเทศไทยและในภูมิภาค

2. สามารถรวบรวมคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างหลัก ที่เป็นวัสดุที่ใช้ในประเทศไทยเพื่อง่ายต่อการค้นหา และนำไปใช้งานในอนาคต

3. ทำให้ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถตัดสินใจเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานได้ง่ายขึ้น

4. เกิดความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน และการลงทุนในระบบปรับอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ในปัจจุบันโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศในประเทศเขตร้อน เช่น ประเทศไทย มีสภาพอากาศที่ร้อนยิ่งขึ้นส่งผลต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ และสัตว์ต่างๆ เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากกลไกในร่างกายไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนส่งผลทำให้เกิดความไม่สบายตัว มนุษย์จึงสร้างอุปกรณ์เพื่อขจัดความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งได้แก่ เครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบเกือบทุกอาคาร เนื่องจากเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่อำนวยความสะดวกสบายให้กับมนุษย์หน้าที่หลักของเครื่องปรับอากาศคือ การลดอุณหภูมิ และการควบคุมปริมาณความชื้น นอกจากนี้เครื่องปรับอากาศบางรุ่น มีการเพิ่มอุปกรณ์เสริมเพื่อเป็นทางเลือกของผู้ใช้งาน เช่น การกรองฝุ่น การกำจัดเชื้อที่แพร่ทางอากาศ การดูดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ การตั้งเวลาเปิดและปิด การปรับทิศทางลมอัตโนมัติ ฯลฯ ในการเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ ควรเลือกเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับสภาพอาคารที่ติดตั้ง โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ภาระทำความเย็นของอาคาร งบประมาณของผู้ซื้อ ข้อจำกัดด้านสภาพอาคาร รสนิยมของผู้ซื้อ ฯลฯ โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ภาระทำความเย็น

การวิเคราะห์ภาระทำความเย็นมีความสำคัญเพราะความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น แต่พลังงานมีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งพลังงานมีราคาสูงขึ้น และเครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง จึงจำเป็นที่จะต้องใช้คำนวณภาระทำความเย็นที่ถูกต้องและแม่นยำเพื่อความคุ้มค่าทั้งในด้านการใช้พลังงาน และการลงทุนระบบปรับอากาศ (Xiang et al., 2009) นอกจากนี้การคำนวณเป็นวิธีที่ต้นทุนต่ำที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นและยังให้ความสะดวกต่อผู้วิเคราะห์มากกว่าวิธีอื่น(Shengwei and Chen, 2001)

นอกจากนี้การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดไม่สัมพันธ์กับภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงจะส่งผลให้เกิดปัญหาตามมา กล่าวคือ หากเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดมากกว่าภาระทำความเย็นปัญหาที่พบคือ ราคาของเครื่องปรับอากาศสูงเกินความจำเป็น มีการใช้กระแสไฟฟ้ามากเกินความจำเป็น ไม่สามารถลดความชื้นในอากาศได้ตามต้องการ มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น อายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศสั้นลงเนื่องจากมีการหยุดการทำงานบ่อยครั้ง เป็นต้น แต่ถ้าหากเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดน้อยกว่าภาระทำความเย็นปัญหาที่พบคือ ไม่สามารถลดอุณหภูมิของอาคารได้ตามต้องการ อายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศสั้นลงเนื่องจากเครื่องปรับอากาศ

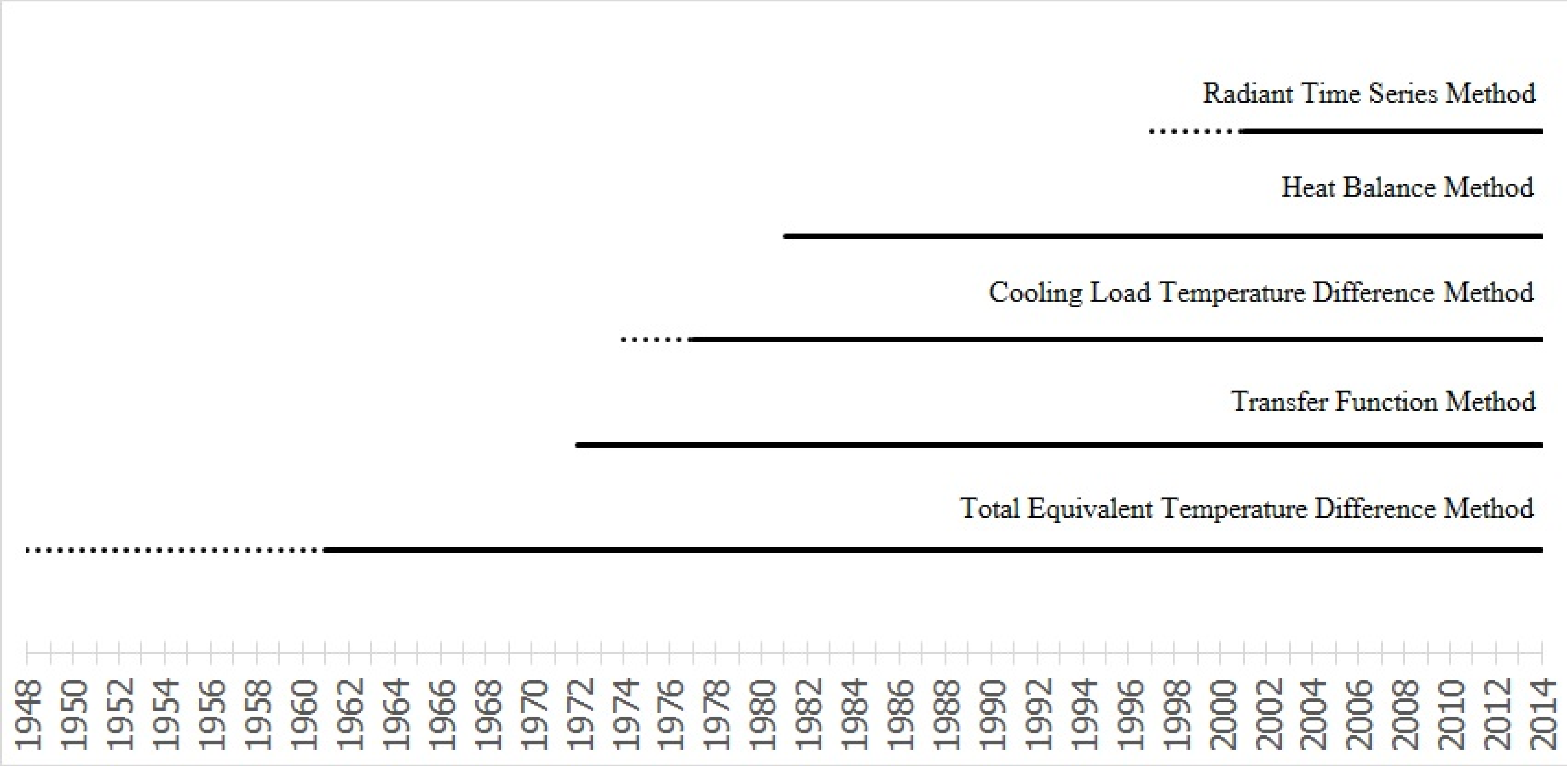
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำงานหนัก เป็นต้น ดังนั้นพบว่าการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดพอดีกับภาระทำความเย็น จึงเป็นสิ่งที่ถูกต้องทำให้เกิดการใช้เครื่องปรับอากาศทำงานอย่างเหมาะสม ความคุ้มค่า และเกิดประโยชน์ในการใช้งานสูงสุด

ภาระทำความเย็น คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในปริมาตรควบคุม ปริมาณความร้อนนี้มาจาก การถ่ายโอนความร้อนผ่านผนัง ความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆ ความร้อนจากอากาศใหม่ ความร้อนจากมนุษย์ เป็นต้น โดยความร้อนทั้งหมดจะถูกถ่ายโอนสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกผ่านเครื่องปรับอากาศ

การวิเคราะห์ภาระทำความเย็น ได้รับการพัฒนามานาน หลักการพัฒนาคือเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณ ลดความซับซ้อนของการคำนวณ ลดปริมาณข้อมูลที่ไม่จำเป็น และสร้างความสะดวกแก่ผู้ใช้งานการพัฒนาวิธีการคำนวณทำให้เกิดการค้นพบวิธีต่างๆ ที่ทำให้การคำนวณภาระทำควาเย็นสะดวกยิ่งขึ้นซึ่งเกิดจากการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีความทันสมัยมากขึ้นความคิด แนวคิด และเทคนิคใหม่ๆ ที่มีการค้นพบอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาที่ผ่านมาโดยแสดงช่วงเวลาที่ค้นพบวิธีต่างๆ ตามภาพที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1ช่วงเวลาการค้นพบการคำนวณภาระทำความเย็นวิธีต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในยุคแรกการคำนวณภาระทำความเย็นจะใช้วิธีTotal Equivalent Temperature Difference ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1948 และเริ่มนำไปใช้งานจริงในปี 1961วิธีนี้เป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ โดยเริ่มต้นจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณเนื่องจากต้องมีการสร้างข้อมูลความร้อนจากการแผ่รังสีในรายชั่วโมง ตามสภาพของการเก็บความร้อนในอาคาร วิธีนี้ถือเป็นการคำนวณภาระทำความเย็นวิธีแรกที่วิศวกรสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ(ASHRAE, 2001)

ในเวลาต่อมามีแนวคิดในการพัฒนาวิธีการคำนวณภาระทำความเย็นที่ซับซ้อนมากขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำจนกลายเป็นวิธี Transfer Functionในปี 1972 ซึ่งวิธีนี้สามารถคำนวณจนได้ความแม่นยำที่สูงขึ้นโดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยภาระทำความเย็น(Christian, 2013) แต่วิธีการคำนวณ มีความซับซ้อนของสมการมากทำให้ไม่สามารถคำนวณด้วยมือและต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูงจึงไม่สะดวกในการใช้งานในสมัยนั้น เนื่องจากคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงหายาก และมีราคาแพง ต่างกับปัจจุบัน วิธีการคำนวณเริ่มจาก Daily load cycle ทุกชั่วโมง มีการใช้ Conduction Time Factor (CTF) เพื่อคำนวณการนำความร้อนผ่านผนังและหลังคา จากนั้นคำนวณหาการเก็บความร้อนด้วย Room Transfer Function (RTF)ซึ่งสามารถประมาณอุณหภูมิของห้องและความร้อนที่ถูกกำจัดออก ด้วย Space Air Transfer Function (SATF) ซึ่งเป็นภาระทำความเย็นที่ต้องการ (ASHRAE, 1997);(Shariah et al., 1997)

จากนั้นมีการพัฒนาเป็นวิธี Cooling Load Temperature Difference (CLTD) ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1974 และเริ่มนำมาใช้งานจริงในปี 1977ซึ่งใช้พื้นฐานมาจากวิธี Transfer Function และวิธีTotal Equivalent Temperature Difference รวมกันเหลือขั้นตอนเดียว มีการรวมวิธี Solar Cooling Load Factor (SCL) และวิธี Cooling Load Factor (CLF)มีการปรับปรุงจนกระทั่งสามารถคำนวณได้ด้วยมือ เพื่อแก้ปัญหาด้านประสิทธิภาพและราคาของคอมพิวเตอร์ในสมัยนั้นการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธี CLTD จะคำนวณจากข้อมูลดิบไปเป็นภาระทำความเย็น โดยมีการคูณตัวแปรสำหรับปรับค่าการนำความร้อนผ่านผนัง หลังคา พื้น และกระจก สำหรับความร้อนที่มากับแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกจะใช้ SCL เป็นตัวปรับค่า และสำหรับความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารจะใช้ CLF เพื่อปรับค่าความร้อนจากภายใน ในการคำนวณจะจัดทำข้อมูลเป็นรูปแบบตารางโดยผู้คำนวณเลือกค่าความร้อนจากตารางที่กำหนดขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดในรูปแบบตารางที่ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลความร้อนได้ทุกชนิดในชีวิตประจำวันทำให้การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนสูง และไม่ได้รับความนิยม(ASHRAE, 2001); (Karan et al., 2008); (Bhatia, n.d.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อมาได้มีการพัฒนาการคำนวณภาระทำความเย็นเป็นวิธีสมดุลความร้อน(Heat balance) ในปี 1981 เนื่องจากการคำนวณแบบก่อนหน้านี้มีความคลาดเคลื่อน โดยวิธีนี้ต้องคำนวณหาคุณสมบัติของพื้นผิวต่างๆ และอุณหภูมิที่ผิวตลอด 24 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณหาปริมาณแสงที่ตกกระทบผนัง หลังคา และแสงที่ส่องผ่านกระจกตลอด 24 ชั่วโมง คำนวณแหล่งความร้อนภายในอาคารตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อคำนวณหา Long-Wave Short-Wave และการพาความร้อน จากแหล่งความร้อนภายใน คำนวณหาความร้อนจากการระบายอากาศ และคำนวณการนำความร้อนผ่านผนังและหลังคา เมื่อรวมความร้อนทั้งหมดจะได้ภาระทำความเย็น (ASHRAE, 2009)ผลการคำนวณที่ได้มีความแม่นยำ เนื่องจากเป็นการคำนวณโดยใช้หลักการทางความร้อนโดยตรง แต่การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีนี้มีสมการที่คำนวณซับซ้อน และต้องการข้อมูลต่างๆ ประกอบการคำนวณมาก จึงไม่สะดวกต่อการใช้งาน (เทพฤทธิ์ และ เอกพล, 2553)ต่อมาจึงพัฒนาโดยใช้หลักการจากวิธีสมดุลความร้อน ซึ่งมีความแม่นยำสูง แต่ไม่สะดวกในการคำนวณ มาเป็นวิธี Conduction Transfer เป็นการคำนวณจาก Conduction Transfer Functions เพื่อลดความซับซ้อนลงโดยใช้การคำนวณภาระทำความเย็นที่ผ่านผนัง และหลังคา ใน 1 มิติด้วยวิธีนำความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายในการคำนวณ แต่มีข้อจำกัดคือมีความแม่นยำต่ำเมื่อใช้ผ่านกระจก จึงได้ผลการคำนวณไม่แม่นยำสำหรับอาคารที่มีกระจกในสัดส่วนสูง (Spitlerand Fisher, 1999)

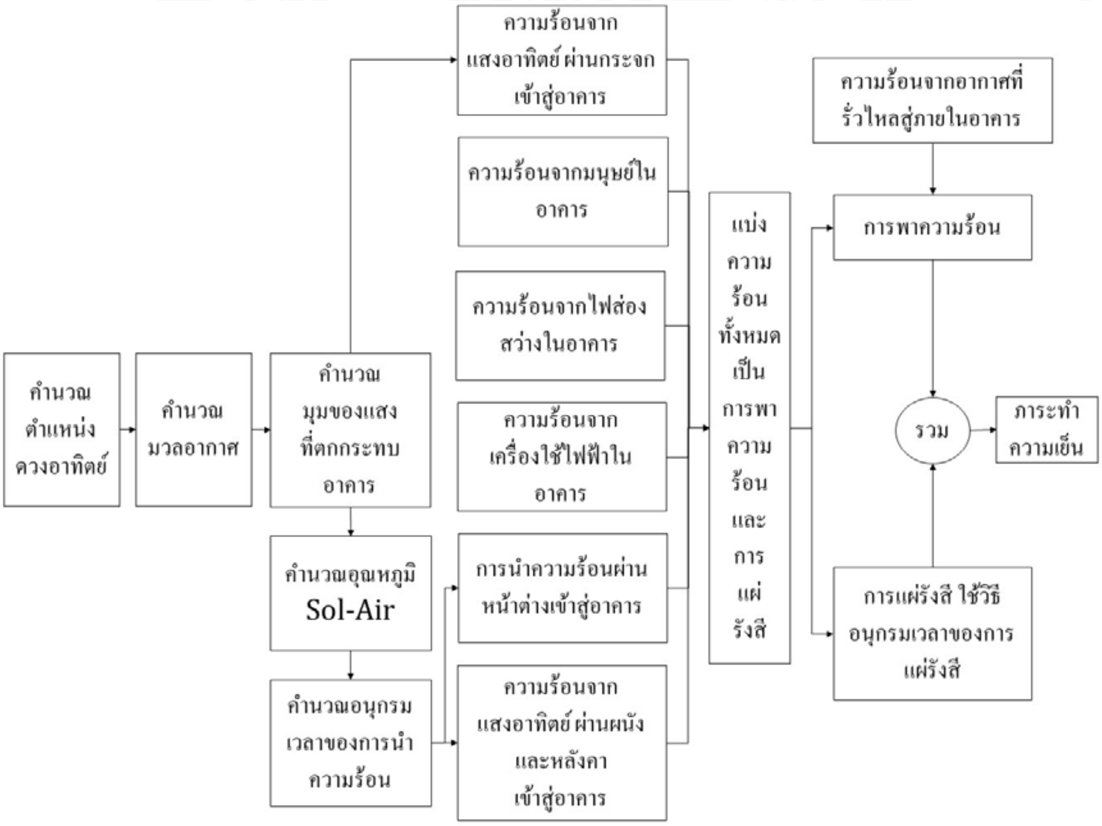
ต่อมาได้มีการพัฒนาการคำนวณภาระทำความเย็นให้ถูกต้อง แม่นยำ ง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน จนเกิดเป็นวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี (Radiant Time Series, RTS) ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1997 และถูกนำไปใช้งานในปี 2001วิธีนี้เป็นวิธีที่มาจากการคำนวณขั้นพื้นฐานของวิธีสมดุลความร้อนแต่มีการพัฒนาการคำนวณบางส่วนให้ลดความซับซ้อน และลดการใส่ข้อมูลที่ไม่จำเป็น โดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีนี้ได้รับการพัฒนาโดย ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)(2009) เป็นองค์กรเอกชนระหว่างประเทศที่มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนา ระบบทำความร้อน ระบบระบายอากาศ ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นประกอบอาคารเพื่อประโยชน์แก่มนุษยชาติและเป็นการพัฒนาโลกที่ยั่งยืน ผ่านการวิจัยมาตรฐานในการเขียนแบบ ออกตีพิมพ์และศึกษาอย่างต่อเนื่อง(Francesco et al., 2010); (Haberl and Baltazar, 2013)

การใช้วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีเป็นการคำนวณล่วงหน้า ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมีข้อมูลของสภาพอากาศล่วงหน้าของพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ เช่น อุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลนี้จะหาได้จากประวัติของสภาพอากาศย้อนหลังในช่วงวันและเวลาเดียวกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของแต่ละปีในพื้นที่นั้นๆ แต่เนื่องจากความแตกต่างของฤดูกาลทำให้สภาพอากาศต่างกัน ซึ่งจากสภาวะโลกร้อน สภาพอากาศมีความผันผวน จึงต้องใช้ประวัติของสภาพอากาศย้อนหลังนานมากขึ้นด้วย (Chen and Yu, 2009); (Mui and Wong, 2007)

วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีมีวิธีการคำนวณแสดงดังภาพที่ 2 โดยจะเริ่มการคำนวณเพื่อหาข้อมูลทางกายภาพจากภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ในการคำนวณจะหาปริมาณความร้อนที่ส่งมายังโลก โดยคำนวณจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลกตามวัน และเดือนในแต่ละปี เนื่องจากในแต่ละวันของปีปริมาณและมุมของแสงอาทิตย์ที่กระทำกับจุดต่างๆ บนโลกแตกต่างกัน จึงต้องอาศัยการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์เทียบกับตำแหน่งของโลกด้วย ซึ่งจำเป็นต้องระบุ ตำแหน่งของพื้นที่ที่ต้องการคำนวณบนโลกเป็น ละติจูด กับ ลองจิจูด เพื่อคำนวณปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวอาคารด้านต่างๆ(Richard and Darula, 2013)



ภาพที่ 2ขั้นตอนการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Spitler (2009) ได้เสนอวิธีการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์เพื่อใช้หาปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องมาสู่โลกโดยใช้สมการ 1-10ดังนี้

$$E_0 = E_{sc}\left\{1 + 0.033\cos\left[360°\frac{(n-3)}{365}\right]\right\} \quad (1)$$

$$ET = 2.2918(0.0075 + 0.1868\cos(\Gamma) - 3.2077\sin(\Gamma) - 1.4615\cos(2\Gamma) - 4.089\sin(2\Gamma)) \quad (2)$$

$$\Gamma = 360°\frac{n-1}{365} \quad (3)$$

$$\delta = 23.45\sin\left(360°\frac{n+284}{365}\right) \quad (4)$$

$$AST = LST + ET/60 + (LON - LSM)/15 \quad (5)$$

$$LSM = 15TZ \quad (6)$$

$$H = 15(AST - 12) \quad (7)$$

$$\sin\beta = \cos L\cos\delta\cos H + \sin L\sin\delta \quad (8)$$

$$\beta = 90° - |L - \delta| \quad (9)$$

$$\sin\phi = \sin H\cos\delta/\cos\beta \quad (10)$$

โดยที่ E_0 คือค่าพลังงานความร้อนที่มายังโลก

E_{sc} คือค่าคงตัวแสงอาทิตย์

n คือวันที่ของปี

ET คือค่าปรับเท่าเวลา

δ คือมุมลาดเอียงของแสง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

AST คือเวลาสุริยะปรากฏ

LST คือเวลามาตรฐานท้องถิ่น

LON คือลองจิจูด

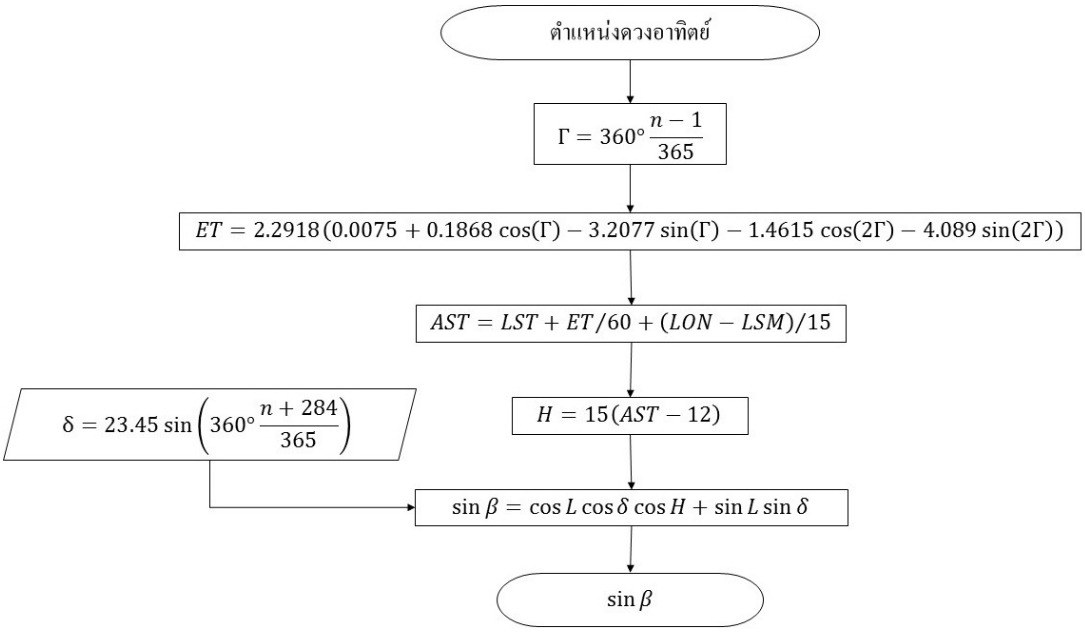
LSM คือLongitude of Local Standard Time Meridian

TZ คือเขตเวลา

H คือมุมเวลา

L คือละติจูด

จากการคำนวณดังกล่าวสามารถหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยเทียบจากตำแหน่งของสถานที่ที่ต้องการคำนวณบนโลก(Omar and Johani, 1997) สรุปได้ตามภาพที่ 3

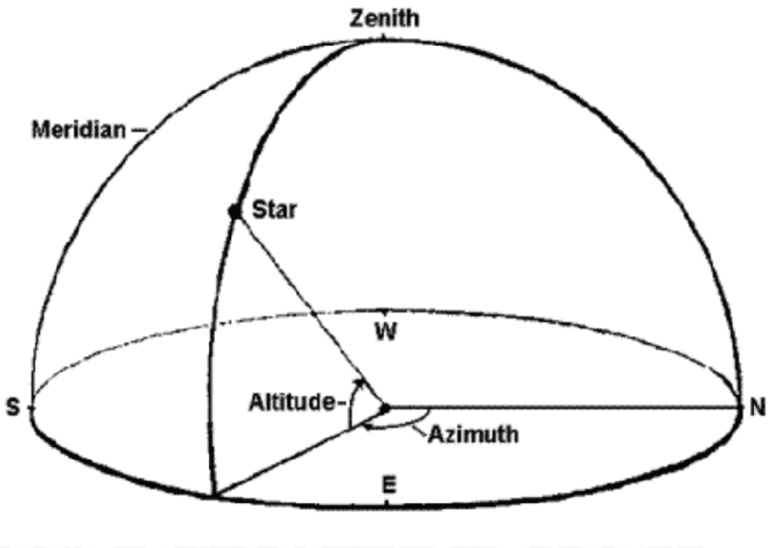


ภาพที่ 3การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์

การกำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งจัดเป็นวัตถุบนท้องฟ้า มีการใช้ระบบพิกัดท้องฟ้าในการระบุตำแหน่ง2 ระบบ คือ ระบบขอบฟ้า (The Horizontal System) และ ระบบศูนย์สูตร (Equatorial System)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบขอบฟ้า เป็นระบบที่วัดตำแหน่งวัตถุบนท้องฟ้าโดยใช้มุมเงยจากเส้นขอบฟ้า ถึงจุดเหนือศีรษะ เป็นมุม 0 องศา ถึง 90 องศา กับ อะซิมุท (Azimuth) คือการระบุทิศทางตามแนวเส้นขอบฟ้า (Horizontal Line) โดยเริ่มวัดจากทิศเหนือ วนตามเข็มนาฬิกา กำหนดค่าตั้งแต่ 0 องศา ถึง 90 องศา โดยแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 4 ระบบพิกัดนี้สามารถวัดได้ในกรณีที่อยู่ในเขตละติจูด และ ลองจิจูดเดียวกันเท่านั้น จึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง

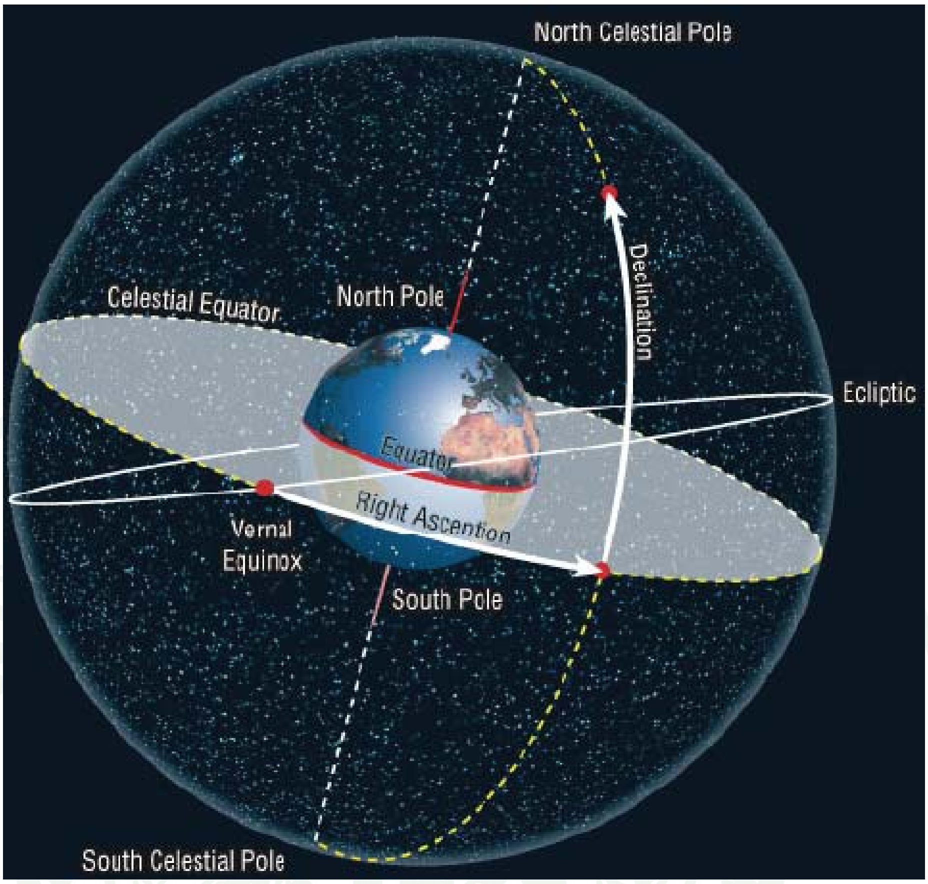


ภาพที่ 4 พิกัดท้องฟ้าระบบของฟ้า

ที่มา:คมสันต์(ม.ป.ป.)

ระบบศูนย์สูตร เป็นระบบที่เลียนแบบลักษณะของเส้นละติจูด และลองจิจูดบนโลก แต่เปลี่ยนเป็นค่า Declination เทียบได้กับละติจูด โดยวัดค่าที่เส้นศูนย์สูตรของโลก กำหนดวัตถุบนท้องฟ้าตามแนวดิ่ง เป็น 0 องศา มุมจะเปลี่ยนไปตามแนวทิศเหนือ และทิศใต้ มีค่าตั้งแต่ 90 องศา ถึง -90 องศาตามลำดับ และ ค่า Right Ascension (R.A.) เทียบได้กับลองจิจูด กำหนดเป็นค่าเวลา โดยเริ่มวัดที่ 0 ชั่วโมง ที่จุด Ecliptic ซึ่งเป็นจุดที่มีเวลากลางวันเท่ากับเวลากลางคืน โดยวัดค่าไปตามทิศตะวันออก แปลค่าจาก 360 องศา เป็น 24 ชั่วโมงมีลักษณะตามภาพที่ 5(คมสันต์,ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 พิกัดท้องฟ้าระบบศูนย์สูตร

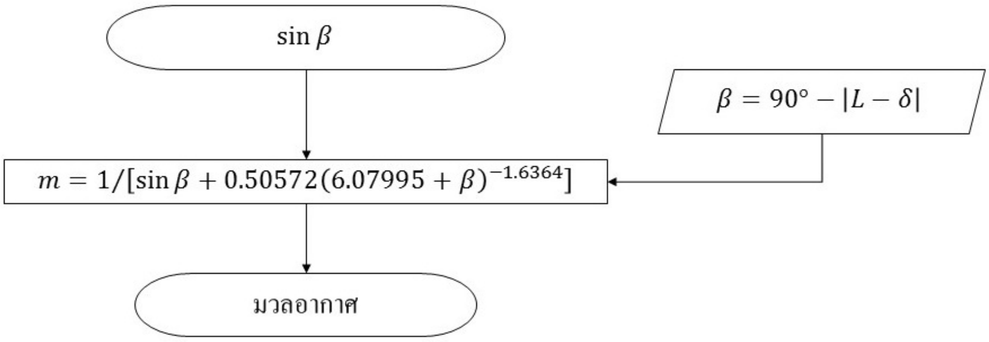
ที่มา: คมสันต์(ม.ป.ป.)

หลังจากที่ทราบตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในวันที่ต้องการคำนวณแล้ว จะคำนวณหาปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาสู่โลก ในเวลาต่างๆ ของวันจะมีปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาสู่โลกไม่เท่ากันโดยจะสังเกตได้จากสีของดวงอาทิตย์ในเวลาต่างๆ มีสีต่างกัน เช่น ในเวลาเช้า และเย็น ดวงอาทิตย์จะมีสีส้ม แต่ในเวลากลางวันดวงอาทิตย์จะมีสีขาว เนื่องมาจากโลกมีชั้นบรรยากาศห่อหุ้ม ในชั้นบรรยากาศจะมีมวลอากาศอยู่ ซึ่งมวลอากาศทำให้เกิดการกระเจิงแสง มีผลต่อปริมาณแสงที่ตกมาสู่พื้นโลก ในเวลาเช้า และเย็น ดวงอาทิตย์จะอยู่ใกล้แนวเส้นขอบฟ้าทำให้แสงอาทิตย์ต้องเดินทางผ่านมวลอากาศมากจึงเกิดการกระเจิงแสงมากทำให้แสงอาทิตย์ผ่านเข้ามาสู่โลกได้น้อยลง ดังนั้นมวลอากาศจึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาสู่โลก การคำนวณหามวลอากาศสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 11และภาพที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$m = 1/[\sin\beta + 0.50572(6.07995 + \beta)^{-1.6364}] \quad (11)$$

โดยที่ m คือ มวลอากาศ



ภาพที่ 6การคำนวณมวลอากาศ

หลังจากที่ทราบปริมาณแสงอาทิตย์ที่ผ่านมาสู่พื้นโลกซึ่งถือว่าเป็นปริมาณแสงที่ตกกระทบอาคาร จากนั้นเป็นการคำนวณหามุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวภายนอกอาคารจากสมการที่ 12-14 และภาพที่ 7ทั้งนี้สัญลักษณ์ของมุมต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ สามารถพิจารณาประกอบได้ตามภาพที่ 8

$$\cos\theta = \cos\beta\cos\gamma\sin\Sigma + \sin\beta\cos\Sigma \quad (12)$$

$$\theta = 90 - \beta \quad (13)$$

$$\gamma = \phi - \psi \quad (14)$$

โดยที่ Σ คือ มุมเอียงของพื้นผิว

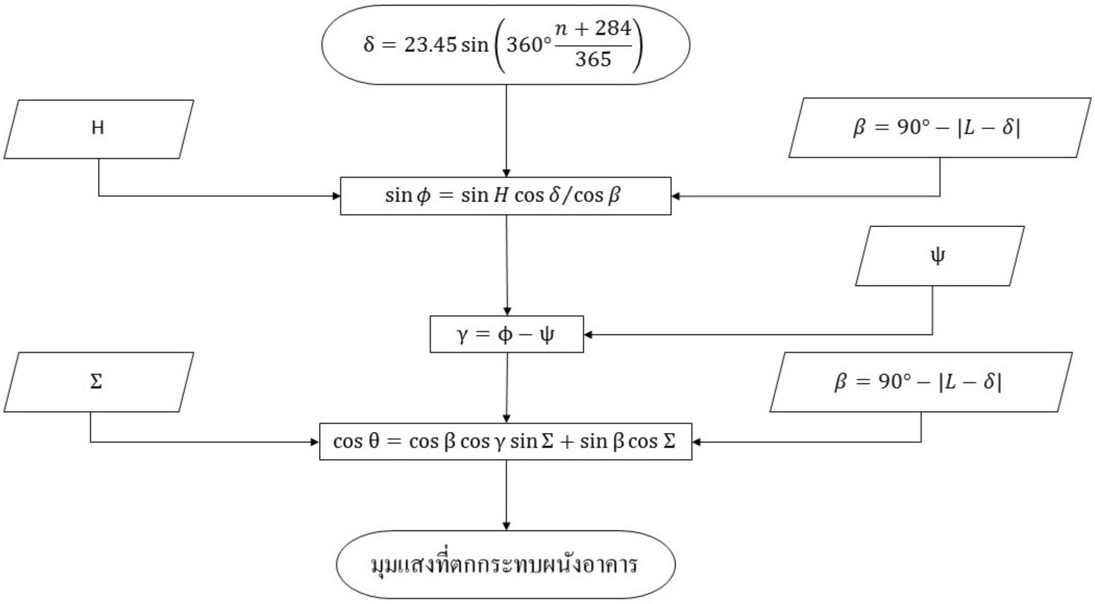
θ คือมุมตกกระทบของแสง

γ คือมุมสัมผัสแนวระดับของแสง

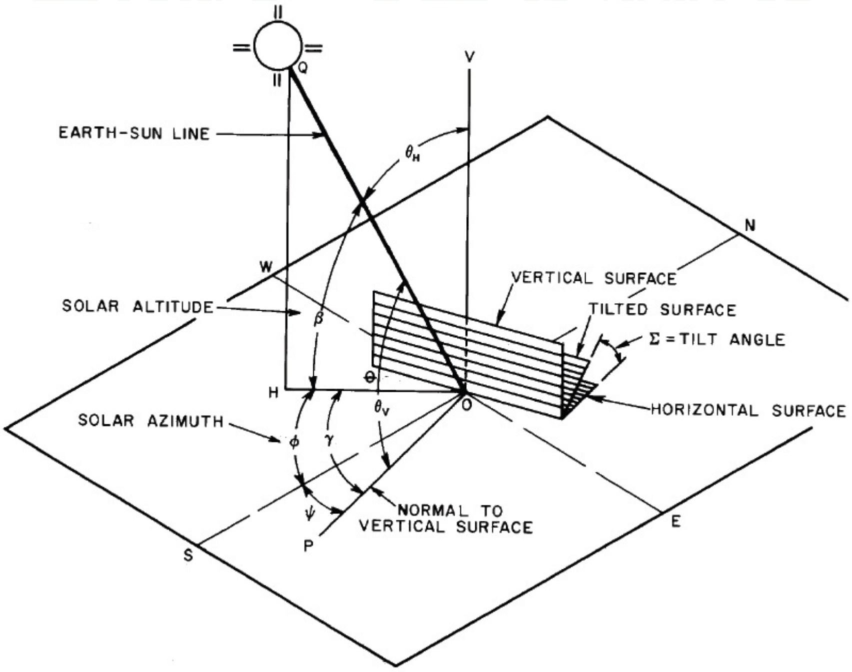
ϕ คือ มุมภาคทิศดวงอาทิตย์

ψ คือมุมแนวระดับของพื้นผิวสัมผัส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7การคำนวณมุมแสงที่ตกกระทบผนังอาคาร



ภาพที่ 8สัญลักษณ์ของมุมต่างๆ ระหว่างดวงอาทิตย์และพื้นผิวภายนอกอาคาร

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลังจากที่ทราบมุมของแสงที่ตกกระทบพื้นผิวภายนอกอาคารแล้ว ขั้นตอนต่อมาจะคำนวณหาปริมาณแสงอาทิตย์ที่กระทำกับพื้นผิวกระจกภายนอกอาคารตามมุมที่คำนวณได้ โดยแบ่งลักษณะความร้อนของแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารผ่านกระจกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกโดยตรง
2. แสงอาทิตย์ที่แพร่ผ่านกระจก
3. แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นและสะท้อนสู่อาคารผ่านกระจก

ความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารทั้ง 3 ลักษณะสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 15-23 และภาพที่ 9-12 (Kamaliet al., 2006)

$$E_b = E_0 \exp\left[-\tau_b m^{ab}\right] \tag{15}$$

$$E_d = E_0 \exp\left[-\tau_d m^{ad}\right] \tag{16}$$

$$ab = 1.219 - 0.043\tau_b - 0.151\tau_d - 0.204\tau_b\tau_d \tag{17}$$

$$ad = 0.202 - 0.852\tau_b - 0.007\tau_d - 0.357\tau_b\tau_d \tag{18}$$

$$E_t = E_{t,b} + E_{t,d} + E_{t,r} \tag{19}$$

$$E_{t,b} = E_b \cos\theta \tag{20}$$

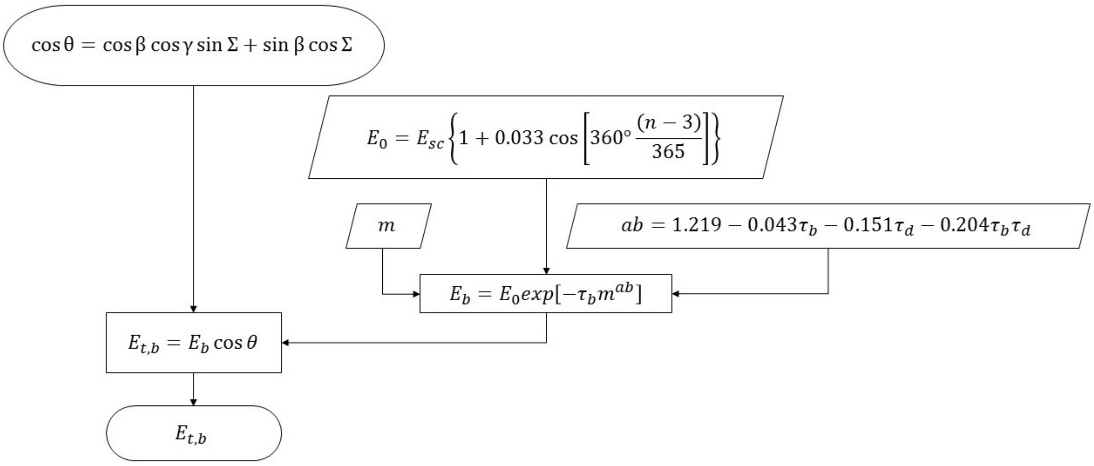
$$E_{t,d} = E_d Y \tag{21}$$

$$Y = \max(0.45, 0.55 + 0.437\cos\theta + 0.313\cos^2\theta) \tag{22}$$

$$E_{t,r} = (E_b \sin\beta + E_d)\rho_g \frac{1-\cos\Sigma}{2} \tag{23}$$

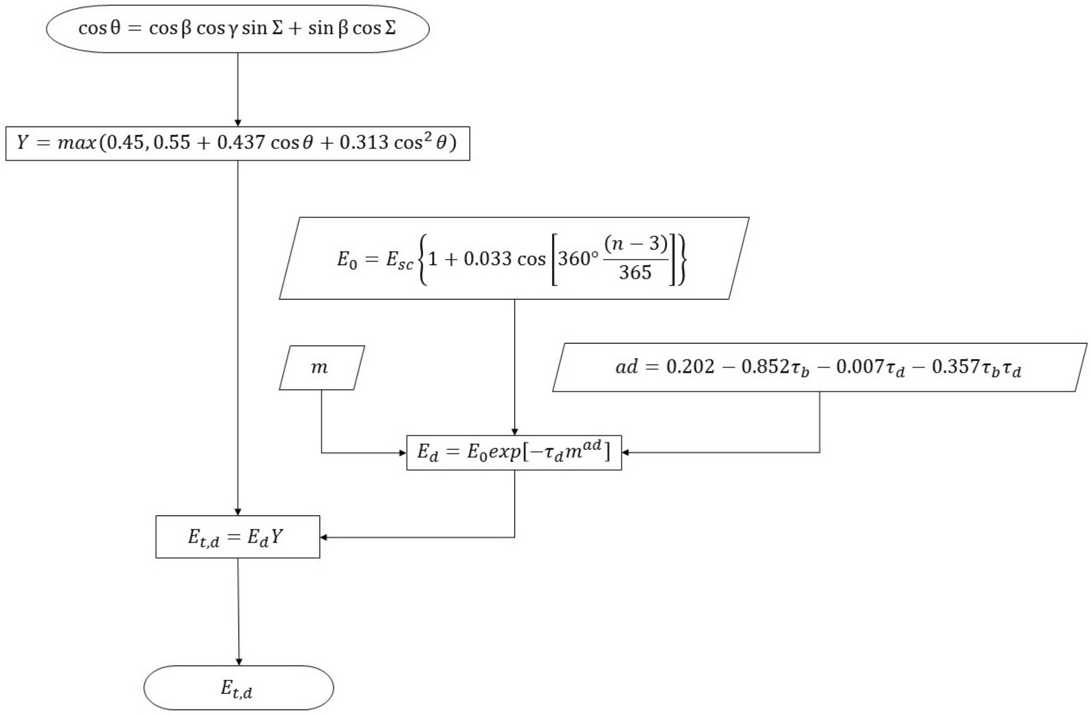
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่	E_b	คือ Beam Normal Irradiance
	E_d	คือ Diffuse Horizontal Irradiance
	E_0	คือ ค่าพลังงานความร้อนที่มายังโลก
	τ_b	คือ Beam Pseudo Optical Depths
	τ_d	คือ Diffuse Pseudo Optical Depths
	ab	คือ Beam Air Mass Exponents
	ad	คือ Diffuse Air Mass Exponents
	E_t	คือ Total Clear-Sky Irradiance
	$E_{t,b}$	คือ Beam Component
	$E_{t,d}$	คือ Diffuse Component
	$E_{t,r}$	คือ Ground-Reflected Component
	ρ_g	คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้น

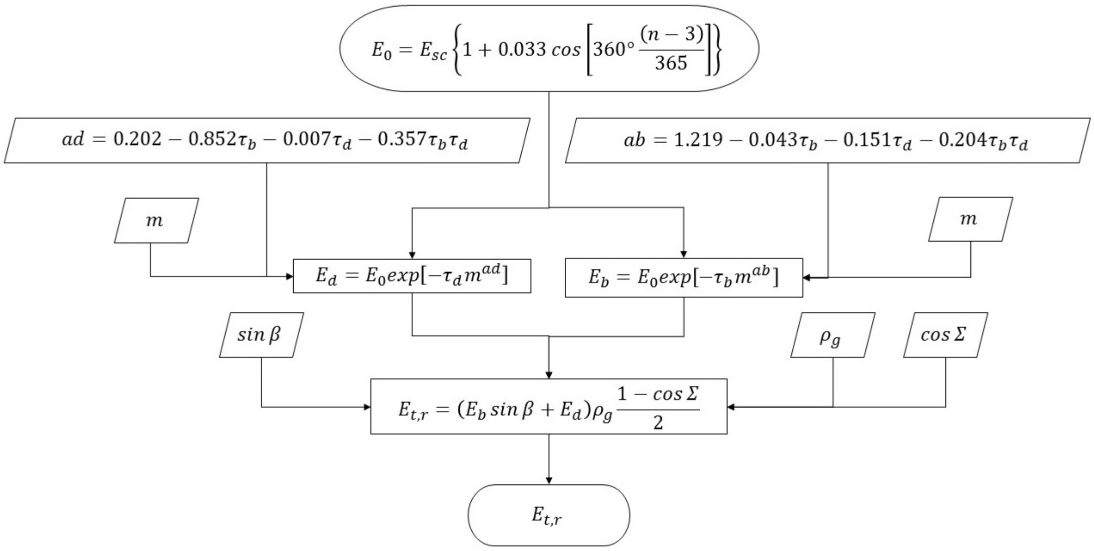


ภาพที่ 9การคำนวณหาBeam Component

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

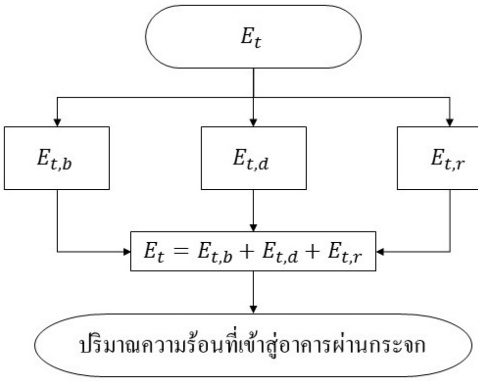


ภาพที่ 10การคำนวณหา Diffuse Component



ภาพที่ 11การคำนวณหาGround-Reflected Component

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12การคำนวณหาTotal Clear-Sky Irradiance

นอกจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารผ่านทางกระจก แสงอาทิตย์ยังทำให้เกิดปริมาณความร้อนเนื่องจากแสงอาทิตย์ตกกระทบผนังและหลังคาภายนอกอาคารทำให้เกิดความร้อนขึ้นบริเวณพื้นผิวภายนอกอาคาร โดยความร้อนดังกล่าวนี้จะนำมาคำนวณหาอุณหภูมิภายนอกอาคารเพื่อใช้หาปริมาณความร้อนต่อไป

ในการคำนวณหาอุณหภูมิภายนอกอาคาร นอกจากปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่ออุณหภูมิ คือ ความชื้นในอากาศ ดังนั้นในการคำนวณหาอุณหภูมิภายนอกอาคาร จึงต้องใช้ข้อมูลสภาพอากาศในแต่ละสถานที่โดยข้อมูลต่างๆ สำหรับจังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทยแสดงค่าไว้ในภาพที่ 13และในการคำนวณหาอุณหภูมิภายนอกอาคารสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 24

$$t_{db} = DB - (MCWBR \times Ra) \tag{24}$$

โดยที่ t_{db} คืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง

DB คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุด

MCWBR คือ Mean Coincident Wet Bulb Temperature Range

Ra คือ Fraction of Daily Temperature Range

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

BANGKOK METROPOLIS, Thailand WMO#: **484550**

Lat: **13.73N** Long: **100.57E** Elev: **13** StdP: **14.69** Time Zone: **7.00 (SEA)** Period: **82-06** WBAN: **99999**

Annual Heating and Humidification Design Conditions

Coldest Month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB	
			99.6%			99%			0.4%		1%			
	99.6%	99%	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD
12	66.3	69.1	53.4	60.7	73.6	56.2	67.3	75.2	14.4	81.2	12.1	82.2	2.1	40

Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions

Hottest Month	Hottest Month DB Range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB	
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%			
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB	MCWS	PCWD
4	12.8	96.5	79.8	95.2	79.5	94.1	79.2	82.6	91.5	81.8	90.4	81.3	89.6	6.2	180

Dehumidification DP/MCDB and HR									Enthalpy/MCDB						Hours 8 to 4 & 55/69
0.4%			1%			2%			0.4%		1%		2%		
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	
80.4	157.6	86.8	79.8	154.5	86.3	79.2	151.4	85.8	46.4	91.6	45.7	90.9	45.1	89.9	7

Extreme Annual Design Conditions

Extreme Annual WS			Extreme Max WB	Extreme Annual DB				n-Year Return Period Values of Extreme DB							
				Mean		Standard deviation		n=5 years		n=10 years		n=20 years		n=50 years	
1%	2.5%	5%		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
14.1	12.3	11.0	91.8	62.3	99.7	4.3	1.7	59.2	100.9	56.7	101.9	54.3	102.9	51.2	104.2

Monthly Climatic Design Conditions

			Annual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Temperatures, Degree-Days and Degree-Hours		Tavg	84.1	81.4	83.6	85.8	87.9	86.6	85.5	84.8	84.4	83.7	83.3	82.5	79.9
		Sd		3.22	2.65	2.69	2.54	2.75	2.04	2.12	1.93	1.93	2.27	3.23	4.04
		HDD50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		HDD65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CDD50	12447	973	942	1108	1137	1134	1065	1079	1065	1011	1032	975	926
		CDD65	6972	508	522	643	687	669	615	614	600	561	567	525	461
		CDH74	83767	5345	6027	8118	9345	8853	7869	7618	7238	6378	6363	5894	4719
		CDH80	37399	2100	2532	3909	5128	4522	3671	3364	3027	2477	2468	2384	1817
Monthly Design Dry Bulb and Mean Coincident Wet Bulb Temperatures	0.4%	DB		93.1	94.4	96.7	98.5	98.2	95.4	94.8	94.0	93.5	93.7	94.6	93.2
		MCWB		75.2	76.3	77.0	79.2	80.5	79.6	79.3	79.3	79.1	78.1	77.3	75.9
	2%	DB		91.6	92.7	94.6	96.7	96.2	93.5	93.0	92.1	91.7	92.0	92.5	91.4
		MCWB		75.6	76.9	78.1	80.1	80.6	79.6	79.3	78.9	79.0	78.4	77.2	75.3
	5%	DB		90.2	91.4	93.3	95.3	94.5	92.1	91.6	90.8	90.4	90.6	90.9	89.9
		MCWB		75.2	77.1	78.6	80.2	80.2	79.5	79.0	78.6	78.8	78.3	76.9	74.9
	10%	DB		88.9	90.1	92.0	94.1	92.7	90.8	90.1	89.5	89.0	89.1	89.3	88.1
		MCWB		74.8	76.8	78.5	80.1	79.9	79.2	78.6	78.3	78.5	78.0	76.5	74.1
Monthly Design Wet Bulb and Mean Coincident Dry Bulb Temperatures	0.4%	WB		80.6	81.8	82.0	83.6	83.2	82.4	82.7	81.4	81.4	81.5	80.9	79.7
		MCDB		87.6	90.2	91.5	93.7	92.7	90.6	90.3	89.1	88.3	89.1	88.2	87.1
	2%	WB		79.0	80.4	81.0	82.6	82.1	81.4	81.0	80.3	80.5	80.5	79.9	78.4
		MCDB		86.4	88.2	89.8	92.0	91.1	89.3	88.7	88.2	87.7	87.9	87.4	86.2
	5%	WB		78.2	79.4	80.5	81.9	81.5	80.8	80.2	79.7	79.9	79.9	79.1	77.2
		MCDB		85.4	87.0	88.8	90.7	90.2	88.4	87.8	87.4	86.9	86.9	86.7	85.9
	10%	WB		77.4	78.8	79.9	81.3	80.9	80.1	79.6	79.1	79.2	79.2	78.3	76.0
		MCDB		84.4	86.1	88.0	89.8	89.3	87.6	87.1	86.6	86.1	85.9	85.9	85.2
Mean Daily Temperature Range		MDBR		15.8	13.9	12.9	12.8	12.1	10.9	10.9	10.7	11.4	11.7	13.0	15.6
	5% DB	MCDBR		16.2	14.4	14.1	13.6	13.6	12.4	12.5	12.2	12.8	13.2	14.0	15.8
		MCWBR		5.2	4.3	4.3	4.1	4.3	4.3	4.5	4.2	4.2	4.0	4.2	4.9
	5% WB	MCDBR		13.4	12.7	12.5	12.5	12.6	11.6	11.6	11.4	11.7	12.1	12.7	13.3
		MCWBR		4.8	3.9	3.8	4.0	4.4	4.4	4.6	4.4	4.4	4.3	4.4	4.5
Clear Sky Solar Irradiance		taub		0.612	0.762	0.827	0.666	0.612	0.619	0.629	0.585	0.612	0.653	0.566	0.539
		taud		1.654	1.429	1.366	1.598	1.701	1.684	1.663	1.764	1.700	1.605	1.762	1.804
		Ebn,noon		222	195	188	221	229	225	223	236	230	217	232	237
		Edh,noon		77	100	109	87	77	77	79	73	77	83	68	65

CDD*n*	Cooling degree-days base n°F, °F-day	Lat	Latitude, °	Period	Years used to calculate the design conditions
CDH*n*	Cooling degree-hours base n°F, °F-hour	Long	Longitude, °	Sd	Standard deviation of daily average temperature, °F
DB	Dry bulb temperature, °F	MCDB	Mean coincident dry bulb temperature, °F	StdP	Standard pressure at station elevation, psi
DP	Dew point temperature, °F	MCDBR	Mean coincident dry bulb temp. range, °F	taub	Clear sky optical depth for beam irradiance
Ebn,noon	} Clear sky beam normal and diffuse hori-	MCDP	Mean coincident dew point temperature, °F	taud	Clear sky optical depth for diffuse irradiance
Edh,noon	} zontal irradiances at solar noon, Btu/h/ft2	MCWB	Mean coincident wet bulb temperature, °F	Tavg	Average temperature, °F
Elev	Elevation, ft	MCWBR	Mean coincident wet bulb temp. range, °F	Time Zone	Hours ahead or behind UTC, and time zone code
Enth	Enthalpy, Btu/lb	MCWS	Mean coincident wind speed, mph	WB	Wet bulb temperature, °F
HDD*n*	Heating degree-days base n°F, °F-day	MDBR	Mean dry bulb temp. range, °F	WBAN	Weather Bureau Army Navy number
Hours 8/4 & 55/69	Number of hours between 8 a.m. and 4 p.m with DB between 55 and 69 °F	PCWD	Prevailing coincident wind direction, °, 0 = North, 90 = East	WMO#	World Meteorological Organization number
HR	Humidity ratio, grains of moisture per lb of dry air			WS	Wind speed, mph

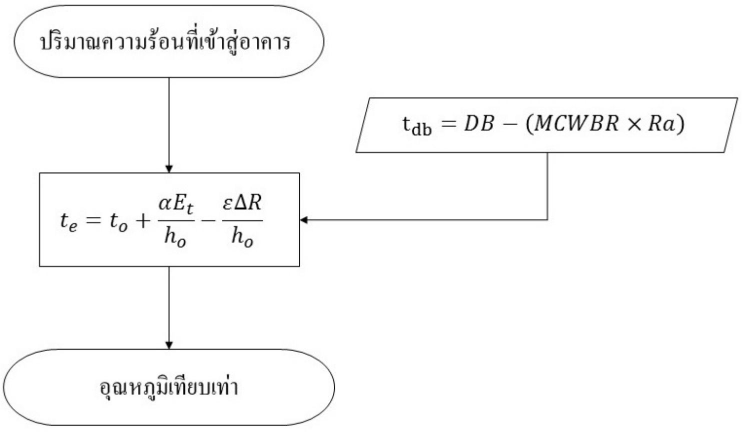
ภาพที่ 13คุณสมบัติของอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร

ที่มา: Spitler(2009)

อุณหภูมิภายนอกอาคารที่คำนวณได้นี้ยังไม่สามารถนำไปใช้งานเพื่อคำนวณภาระทำความเย็นได้โดยตรง เนื่องจากการคำนวณภาระทำความเย็นจะเป็นการใช้อุณหภูมิเทียบเท่า ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่รวมการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตามสมการที่ 25และภาพที่ 14ซึ่งอุณหภูมิเทียบเท่าจะสามารถนำไปคำนวณหาภาระทำความเย็นได้ต่อไป

$$t_{e,\theta} = t_{o,\theta} + \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \quad (25)$$

โดยที่ $t_{e,\theta}$ คือ อุณหภูมิเทียบเท่า
$t_{o,\theta}$ คือ อุณหภูมิภายนอก
α คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผนัง
E_t คือความร้อนจากแสงอาทิตย์
h_o คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากภายนอก
ε คือ ค่าคงที่ Surface Emissivity
ΔR คือDifference between Long-Wave Radiation Incident on Surface from Sky and Surroundings and Radiation Emitted by Blackbody at Outdoor Air Temperature



ภาพที่ 14การคำนวณหาอุณหภูมิเทียบเท่า

จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี เริ่มจากการแบ่งปริมาณความร้อนที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์มาที่พื้นผิวภายนอกของอาคาร ตามประเภทของพื้นผิวภายนอก ได้แก่ การแผ่ความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านกระจก การดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านกระจก การนำความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านพื้นผิวอาคาร การนำความร้อนผ่านพื้นผิวความร้อนจากแสงสว่าง ความร้อนจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ และความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆ (วิรัตน์ และคณะ, 2550) โดยความร้อนแต่ละประเภทมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

1. การแผ่ความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านกระจก

คือ ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้าสู่อาคาร โดยตรงผ่านทางกระจกจากปริมาณแสงที่เข้าสู่อาคารจากการคำนวณในสมการที่ 20สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากสมการที่ 26และภาพที่ 15

$$q_{SHG,D} = E_{t,b} A_{sunlid} SHGC(\theta) \tag{26}$$

โดยที่ $q_{SHG,D}$ คือ ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง

$E_{t,b}$ คือBeam Component

$SHGC(\theta)$ คือ สัมประสิทธิ์ความร้อนที่รับจากรังสีตรง

A_{sunlid} คือพื้นที่หน้าต่างที่ถูกบังแสง

2. การดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านกระจก

คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นนี้แพร่เข้าสู่ผิวกระจกภายในอาคาร และปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องแสงตกกระทบพื้นและสะท้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางกระจกที่คำนวณได้จากสมการที่ 21 และ 23 สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนได้จากสมการที่ 27 และภาพที่ 15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$q_{SHG,d} = (E_{t,d} + E_{t,r})A \cdot SHGC_{diffuse} \quad (27)$$

โดยที่ $q_{SHG,d}$ คือ ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยการแพร่

$E_{t,d}$ คือDiffuse Component

$E_{t,r}$ คือ Ground-Reflected Component

$SHGC_{diffuse}$ คือ สัมประสิทธิ์ความร้อนที่รับจากรังสีกระจาย

A คือพื้นที่หน้าต่าง

3. การนำความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านผนังอาคาร

คือ ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบพื้นผิวภายนอกอาคาร และมีการนำความร้อนเข้าสู่พื้นผิวภายในอาคาร โดยใช้อุณหภูมิเทียบเท่า ซึ่งการนำความร้อนนี้มีค่าขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 28-29 และภาพที่ 16

$$q_{\theta} = \sum_{j=0}^{23} c_j UA(t_{e,\theta-j\delta} - t_{rc}) \quad (28)$$

$$q_{\theta} = c_0 UA(t_{e,\theta} - t_{rc}) + c_1 UA(t_{e,\theta-\delta} - t_{rc}) + \cdots + c_{23} UA(t_{e,\theta-23\delta} - t_{rc}) \quad (29)$$

โดยที่ q_{θ} คือ การนำความร้อนรายชั่วโมง

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม

A คือ พื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์

c_j คือ ตัวประกอบอนุกรมเวลาของการนำความร้อนรายชั่วโมง

$t_{e,\theta-j\delta}$ คือ อุณหภูมิเทียบเท่าj ชั่วโมงที่ผ่านมา

t_{rc} คือ อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. การนำความร้อนผ่านหลังคาอาคาร

คือ ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบพื้นผิวหลังคาของอาคาร และมีการนำความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารโดยใช้อุณหภูมิเทียบเท่า ซึ่งการนำความร้อนนี้มีค่าขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 30-31และภาพที่ 16

$$q_\theta = \sum_{j=0}^{23} c_j UA\left(t_{e,\theta-j\delta} - t_{rc}\right) \quad (30)$$

$$q_\theta = c_0 UA\left(t_{e,\theta} - t_{rc}\right) + c_1 UA\left(t_{e,\theta-\delta} - t_{rc}\right) + \cdots + c_{23} UA\left(t_{e,\theta-23\delta} - t_{rc}\right) \quad (31)$$

โดยที่ q_θ คือ การนำความร้อนรายชั่วโมง

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม

A คือ พื้นที่ผิวหลังคา

c_j คือ ตัวประกอบอนุกรมเวลาของการนำความร้อนรายชั่วโมง

$t_{e,\theta-j\delta}$ คือ อุณหภูมิเทียบเท่าj ชั่วโมงที่ผ่านมา

t_{rc} คือ อุณหภูมิห้อง

การนำความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านผนังอาคาร และการนำความร้อนผ่านหลังคาอาคารจะใช้วิธีอนุกรมเวลาของการนำความร้อน(Conduction Time Series)ซึ่งมีการคูณด้วยตัวประกอบอนุกรมเวลาของการนำความร้อนรายชั่วโมง (Conduction Time Series Factors) เพื่อให้ทราบปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารรายชั่วโมงตามสมการที่ 28-31

5. ความร้อนจากไฟส่องสว่าง

ไฟส่องสว่างจัดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีใช้ในอาคารทุกแห่ง ในแต่ละห้องของอาคารมีความต้องการแสงสว่างที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น ร้านอาหารค่ำมีความต้องการแสงสว่างน้อยกว่าห้องผ่าตัดในโรงพยาบาล เป็นต้น ดังนั้น ผู้คำนวณภาระทำความเย็นจะต้องเลือกปริมาณของแสงสว่างตามประเภทของห้อง หรืออาคารจากตารางภาคผนวก ก1-ก2 หรือจากหนังสือSpitler(2009)ซึ่งมีการกำหนดมาตรฐานความสว่างในห้องแต่ละประเภท

6. ความร้อนจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์จะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนนี้มีปริมาณแตกต่างกันตามกิจกรรมที่เกิดขึ้น เช่น ปริมาณความร้อนของมนุษย์ที่เกิดในห้องออกกำลังกายจะมีค่ามากกว่าการนั่งทำงานในสำนักงาน เป็นต้น ความร้อนเหล่านี้สามารถหาค่าจากตารางภาคผนวก ข หรือจากหนังสือSpitler(2009) โดยเลือกใช้ปริมาณความร้อนจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่เกิดจริงภายในอาคาร

7. ความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ให้ความร้อน

อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดความร้อนซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของอุปกรณ์โดยผู้คำนวณสามารถหาค่าจากตารางภาคผนวก ค1-ค7หรือจากหนังสือ Spitler(2009) โดยเลือกใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ให้ความร้อนตามประเภทของอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในอาคาร

เมื่อคำนวณหาปริมาณความร้อนรายชั่วโมงทั้งหมด จะสามารถแบ่งความร้อนที่คำนวณได้เป็นการพาความร้อน และการแผ่รังสีเข้าสู่อาคาร(Goldstein et al., 2002)ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารจากการพาความร้อน สามารถนำไปคำนวณหาภาระทำความเย็นได้โดยตรง แต่ปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสี จะต้องนำมาคิดตามวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีก่อนจึงจะสามารถนำไปรวมกับปริมาณความร้อนที่ได้จากการพาความร้อน ซึ่งจะเป็นภาระทำความเย็นที่ต้องการ (Spitler et al., 1997)

วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีคือวิธีที่ใช้อนุกรมของเวลาเทียบปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีออกมาทั้งจาก ผนัง หลังคา และกระจก โดยคำนวณจากปริมาณความร้อนที่สะสมในแต่ละพื้นผิวและแผ่รังสีออกมาในแต่ละชั่วโมง ซึ่งวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และแม่นยำ เป็นที่นิยมในการใช้งานในปัจจุบัน (Chen and Cui, 2010)การคำนวณในส่วนอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 32 และภาพที่ 15-16

$$Q_\theta = r_0 q_\theta + r_1 q_{\theta-\delta} + \cdots + r_{23} q_{\theta-23\delta} \quad (32)$$

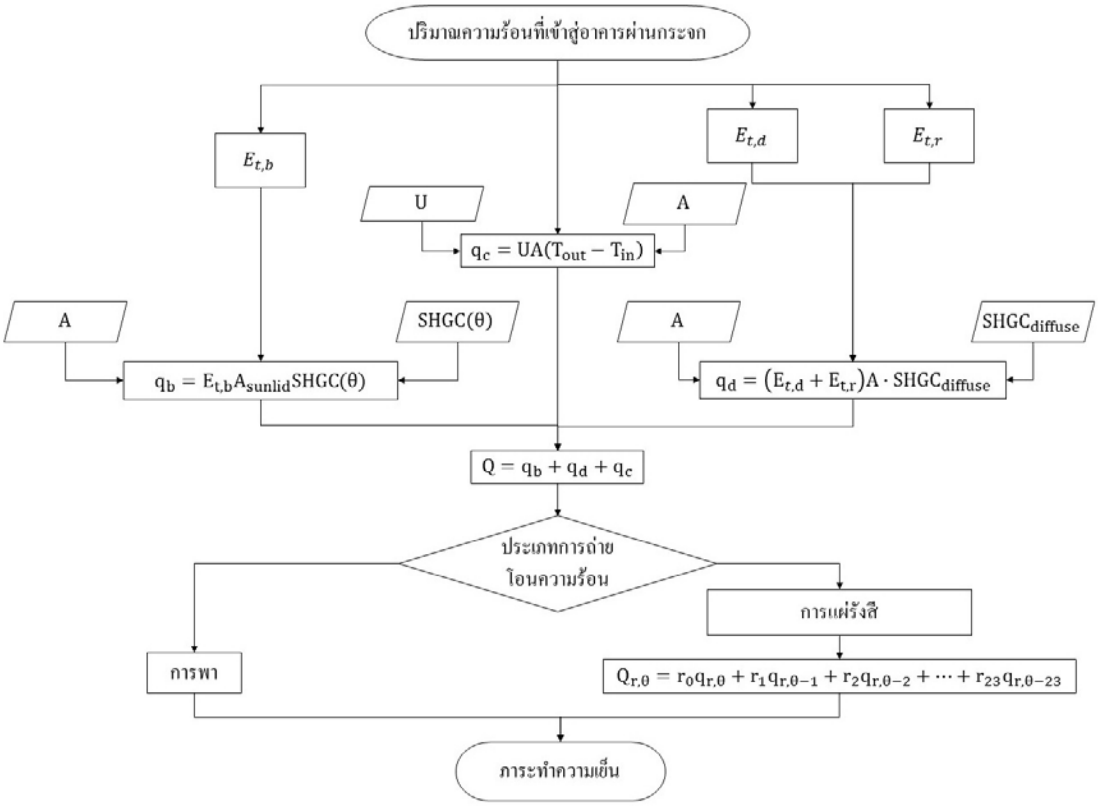
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ Q_θ คือ ภาระทำความเย็นรายชั่วโมง

q_θ คือ ความร้อนที่รับรายชั่วโมง

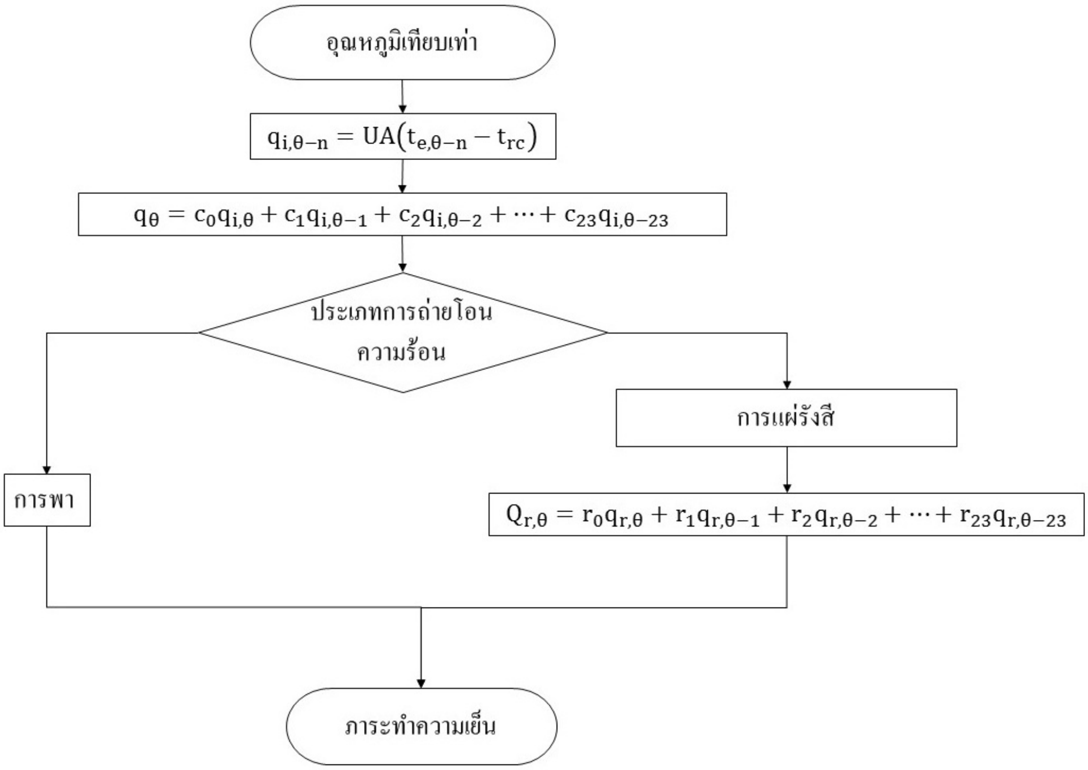
$q_{\theta-n\delta}$ คือความร้อนที่รับn ชั่วโมงที่ผ่านมา

$r_0, r_1, \ldots$ คือ ตัวประกอบอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีรายชั่วโมง



ภาพที่ 15การคำนวณภาระทำความเย็นจากความร้อนผ่านกระจก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16การคำนวณภาระทำความเย็นจากความร้อนผ่านผนังและหลังคา

จากการคำนวณภาระทำความเย็น พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณภาระทำความเย็นคือชนิดของวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากการคำนวณภาระทำความเย็นจะต้องใช้ค่าคุณสมบัติด้านความร้อนของวัสดุก่อสร้างเพื่อการคำนวณการถ่ายโอนความร้อนสู่ภายในอาคารค่าคุณสมบัติด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้สร้างอาคาร โดยทั่วไปจะมีข้อมูลของวัสดุสากลที่ได้รับความนิยมโดยทั่วไป แต่ในความเป็นจริงวัสดุก่อสร้าง จะถูกเลือกใช้งานตามแต่ละประเทศเนื่องจากความเหมาะสมด้านภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ต้นทุน ฯลฯ ซึ่งในแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกัน แต่ในประเทศที่อยู่ใกล้เคียงกันหรือในภูมิภาคเดียวกัน อาจได้รับอิทธิพลจากวัฒนธรรม และมีสภาพอากาศที่ใกล้เคียงกันทำให้มีการใช้วัสดุที่เหมือนกันเช่นหลังคามุมด้วยกระเบื้องว่าวมีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย ประเทศมาเลเซีย ประเทศสิงคโปร์ (Zulkarnian and Harun, 2013)จากการศึกษาพบว่ากระเบื้องว่าวที่นิยมใช้ในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียงสามารถลดอุณหภูมิได้ดีกว่ากระเบื้องโมเนีย และกระเบื้องลอนคู่เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอกที่ 29.1 องศาเซลเซียส (พิภพ, 2552)ซึ่งอาจได้ผลแตกต่างกันในประเทศเขตหนาว สำหรับผนังอาคารของประเทศไทยมักนิยมใช้ แผ่นยิปซัม อิฐมอญ ไม้แบบ (ไม้อัด) คอนกรีต ฯลฯ (จิรวัฒน์ และปิยนุช, 2554)นอกจากชนิดของวัสดุก่อสร้างแล้ว ยังมีปัจจัยด้านความหนาของวัสดุก่อสร้างที่ส่งผลโดยตรงต่อการถ่ายโอนความร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เข้าสู่อาคารด้วย ณัฐกานต์ (2543) ได้ทำการวิจัยผลของการนำความร้อนจากความหนาของผนัง พบว่าผนังที่มีความหนา 30 เซนติเมตร จะมีช่วงเวลาหน่วงความร้อนได้ดีกว่าผนังที่หนา 20 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ และผนังที่หนา 30 เซนติเมตร ยังสามารถลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารได้มากกว่าผนังที่หนา 20 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับอีกด้วยนอกจากความหนาของผนังแล้วการใช้ฉนวนความร้อนร่วมกับผนังอาคารได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นโดยตำแหน่งของฉนวนความร้อนมีผลโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารกล่าวคือการวางฉนวนความร้อนไว้ภายในอาคารจะได้ผลดีกว่าการวางฉนวนความร้อนไว้ภายนอกอาคารในช่วงเวลากลางวัน (Preecha et al.,2013)

จากการศึกษาพบว่า การถ่ายโอนความร้อนจะเกิดผ่านผนังอาคารประมาณ 50-60 %ของการถ่ายโอนความร้อนเข้าอาคารทั้งหมดซึ่งถือว่ามีสัดส่วนที่สูงดังนั้นผนังอาคารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในเลือกใช้เป็นวัสดุก่อสร้างเพื่อการประหยัดพลังงาน (อนุชา, 2542)

ในอาคารส่วนใหญ่มักมีการใช้วัสดุโปร่งแสงร่วมกับโครงสร้างทึบแสงเพื่อเพิ่มแสงสว่างตามธรรมชาติ โดยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ให้แสงสว่าง นับว่าเป็นพัฒนาการของการอนุรักษ์พลังงาน แต่สิ่งที่มาพร้อมกับแสงสว่างจากแสงอาทิตย์คือ ความร้อน ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่ให้แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านเข้ามาในอาคารแต่สามารถลดความร้อนได้จึงเป็นแนวคิดที่ดีในการอนุรักษ์พลังงาน (วิชุดา, 2547) โดยแนวคิดนี้มีการใช้งานจริง เช่น ห้องโถงใหญ่ ของมหาวิทยาลัยชินวัตร ใช้แนวคิดนี้ในการก่อสร้างโดยใช้วัสดุคือ Green Tinted Glass หนา 6 มิลลิเมตรPVB Film หนา 0.38 มิลลิเมตรLow-E Coated Glass หนา 4 มิลลิเมตรAir Space หนา 12 มิลลิเมตรClear Glass หนา 3 มิลลิเมตรPVB Film หนา 0.38 มิลลิเมตรClear Glass หนา 3มิลลิเมตร เพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารแต่แสงสามารถผ่านเข้ามาในอาคารได้ (Apichat and Supachart, 2008) นอกจากแสงที่ส่องเข้าสู่อาคารทำให้เกิดแสงสว่างแล้วยังทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในอาคารซึ่งอาจมีการติดตั้งระบบระบายอากาศด้วยความร้อนร่วมด้วย เพื่อใช้หมุนเวียนอากาศแทนพัดลมระบายอากาศ (สิทธิพรหม, 2547)

ตามอาคารชุดในเมืองขนาดใหญ่ที่มีความแออัดมักมีพื้นที่จำกัด การปลูกต้นไม้ หรือการจัดพื้นที่สีเขียวเพื่อการพักผ่อนและความสวยงาม นิยมจัดสรรพื้นที่บริเวณชั้นดาดฟ้าของอาคารชุด ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปลูกต้นไม้นั้นจะต้องมีการจัดเตรียมดินที่มีความหนาระดับหนึ่งไว้บริเวณดาดฟ้าอาคารเพื่อเป็นการใช้พื้นที่ที่มีราคาสูงให้เกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งพบว่าการจัดการลักษณะนี้มีผลต่อความร้อนที่ถูกถ่ายโอนเข้าสู่อาคารผ่านหลังคาเนื่องจากดินจัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง การเตรียมการปลูกต้นไม้บนดาดฟ้าอาคารโดยให้ดินมีความหนา 0.2 เมตร พบว่าสามารถลดการถ่ายโอนความร้อนผ่านหลังคาได้มากกว่าการปรับดินให้มีความหนา 0.1 เมตร และไม่มีการใช้ดิน ตามลำดับ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นการอนุรักษ์พลังงานอีกทางหนึ่ง และยังช่วยลดสภาวะโลกร้อนด้วยการปลูกต้นไม้อีกด้วย (Sittipong and Pichai, 2012)

การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้รับความนิยมมากขึ้น มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณภาระทำความเย็นเกิดขึ้นมาก ผู้พัฒนาได้ปรับปรุงความสามารถในการคำนวณ การใช้งานที่ง่าย และหลากหลาย โดยโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันได้แก่ DOE-2 BLAST IBLAST และ Energy Plus ซึ่งแต่ละโปรแกรมมีความแตกต่างกันแสดงในตารางที่ 1-3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1เปรียบเทียบความแตกต่างโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้านคุณสมบัติทั่วไป

General Feature	DOE-2	BLAST	IBLAST	Energy Plus
Integrated, simultaneous solution	No	No	Yes	Yes
Integrated loads/systems/plant				
Iterative solution				
Tight coupling				
Multiple time step approach	No	No	Yes	Yes
User-defined time step for interaction between zones and environment (15-min default)				
Variable time-step for interactions between zone air mass and HVAC system (1 min)				
Input functions	Yes	No	No	Yes
Users can modify code without recompiling				
Reporting mechanism				
Standard reports	Yes	Yes	Yes	Yes
User-definable reports	Yes	No	No	Yes
Visual surface output	No	No	No	Yes

ที่มา:Crawleyet al. (2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2เปรียบเทียบความแตกต่างโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้านภาระทำความเย็น

Loads Feature	DOE-2	BLAST	IBLAST	Energy Plus
Heat balance calculation	No	Yes	Yes	Yes
Simultaneous calculation of radiation and convection processes each time step				
Interior surface convection				
Dependent on temperature and air flow	No	Yes	Yes	Yes
Internal thermal mass	Yes	Yes	Yes	Yes
Moisture absorption/desorption	No	No	Yes	Yes
Combined heat and mass transfer in building envelopes				
Thermal comfort	No	Yes	Yes	Yes
Human comfort model based on activity, inside drybulb, humidity, and radiation				
Anisotropic sky model	Yes	No	No	Yes
Sky radiance depends on sun position for better calculation of diffuse solar on tilted surfaces				
Advanced fenestration calculations	Yes	No	No	Yes
Controllable window blinds				
Electrochromic glazing				

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2(ต่อ)

Loads Feature	DOE-2	BLAST	IBLAST	Energy Plus
WINDOW 5 calculations				
More than 200 window types - conventional, reflective, low-E, gas-fill, electrochromic	Yes	No	No	Yes
Layer-by-layer input for custom glazing	No	No	No	Yes
Daylighting illumination and controls	Yes	No	No	Yes
Interior illuminance from windows and skylights				
Step, dimming, on/off luminaire controls				
Glare simulation and control				
Effects of dimming on heating and cooling				

ที่มา:Crawleyet al. (2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3เปรียบเทียบความแตกต่างโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้านระบบและอุปกรณ์ HVAC

HVAC Systems and Equipment Feature	DOE-2	BLAST	IBLAST	Energy Plus
Fluid loops Connect primary equipment and coils Hot water loops, chilled water and condenser loops, refrigerant loops	No	No	No	Yes
Air loops Connect fans, coils, mixing boxes, zones	No	No	No	Yes
User-configurable HVAC Systems	No	No	No	Yes
High-temperature radiant heating Gas/electric heaters, wall radiators	No	Yes	Yes	Yes
Low-temperature radiant heating/cooling Heated floor/ceiling Cooled ceiling	No	No	Yes	Yes
Atmospheric pollution calculation CO2, SOx, x, CO, particulate matter and hydrocarbon production On-site and at power plant Calculate reductions in greenhouse gases	Yes	Yes	No	Yes

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3(ต่อ)

HVAC Systems and Equipment Feature	DOE-2	BLAST	IBLAST	Energy Plus
SPARK link	No	No	No	Yes
TRNSYS link	No	No	No	Yes

ที่มา:Crawleyetal. (2001)

จากตารางที่ 1-3พบว่า โปรแกรม Energy Plus สามารถรองรับคุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้มากที่สุด ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นโปรแกรมในการคำนวณภาระทำความเย็นมากที่สุดจากโปรแกรมที่เปรียบเทียบทั้งหมด

โปรแกรม Energy Plus ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1996 โดยกระทรวงพลังงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีต้นแบบคือโปรแกรม DOE-2 และโปรแกรม BLAST ทำให้มีข้อดีของโปรแกรมทั้งสอง และเพิ่มความขีดความสามารถในการคำนวณ สามารถใช้งานได้เฉพาะส่วน ซึ่งจะคำนวณรวดเร็วขึ้น และไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน

โปรแกรม Energy Plus แบ่งการคำนวณเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. Simulation Manager

   เป็นส่วนควบคุมการคำนวณหลักของโปรแกรม

2. Heat and Mass Balance Simulation

   เป็นส่วนการคำนวณการถ่ายโอนความร้อนและแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

3. Building Systems Simulation

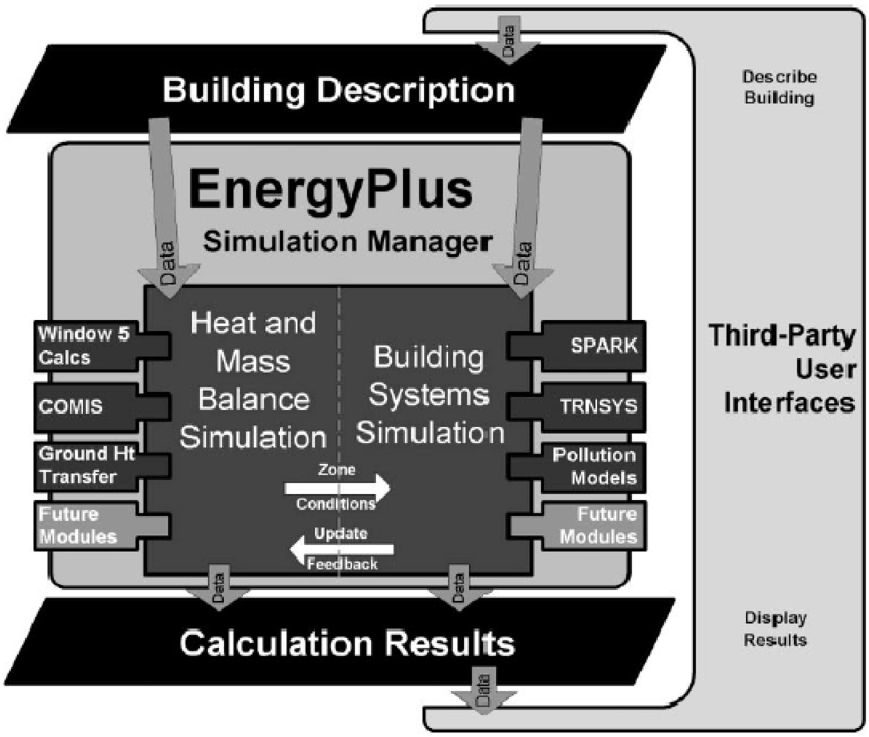
   เป็นส่วนคำนวณความร้อนภายในอาคาร

4. Weather Data

   เป็นส่วนการคำนวณสภาวะแวดล้อมจากข้อมูลสภาพอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม Energy Plus แสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม Energy Plus

ที่มา:Crawleyet al. (2001)

จากภาพที่ 17 การคำนวณเริ่มต้นจากการรับข้อมูลของอาคารเช่น ละติจูด ลองจิจูด วัสดุ แหล่งความร้อนต่างๆ ฯลฯ จากนั้นจะนำข้อมูลของอาคารคำนวณการถ่ายโอนความร้อนระหว่างภายใน และภายนอกอาคาร จากข้อมูลสภาพอากาศ และคำนวณความร้อนภายในอาคาร โดยคำนวณในลักษณะการแทนค่าแบบ Iteration เมื่อได้ผลการคำนวณจะแสดงผลการคำนวณในรูปแบบที่ผู้ใช้งานได้ตั้งค่าไว้ (ทสพล และคณะ, 2550); (Crawleyet al., 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	จำนวน 1 เครื่อง
2.โปรแกรมสำเร็จรูปMicrosoft Excel	จำนวน 1 ชุด
3.โปรแกรมสำเร็จรูปMicrosoft Word	จำนวน 1 ชุด
4. โปรแกรมสำเร็จรูป Energy Plus	จำนวน 1ชุด
5. โปรแกรมสำเร็จรูป Sketch Up	จำนวน 1 ชุด
6. โปรแกรมสำเร็จรูป Prf Rtf Generator	จำนวน 1 ชุด

วิธีการ

1.การตั้งสมมติฐานและการตรวจเอกสาร

1.1 ศึกษาการคำนวณภาระทำความเย็น

ศึกษาขั้นตอนการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น และสูตรการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณภาระทำความเย็นโดยการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และการสอบถามอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็น จากนั้นศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานต่อไป

1.2 จัดกลุ่มแหล่งความร้อนตามแหล่งกำเนิด

เมื่อรวบรวมข้อมูลแหล่งความร้อนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ เสร็จสิ้น จะแบ่งภาระทำความเย็นออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิด เพื่อสามารถคำนวณหาภาระทำความเย็นได้อย่างสะดวกและถูกต้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

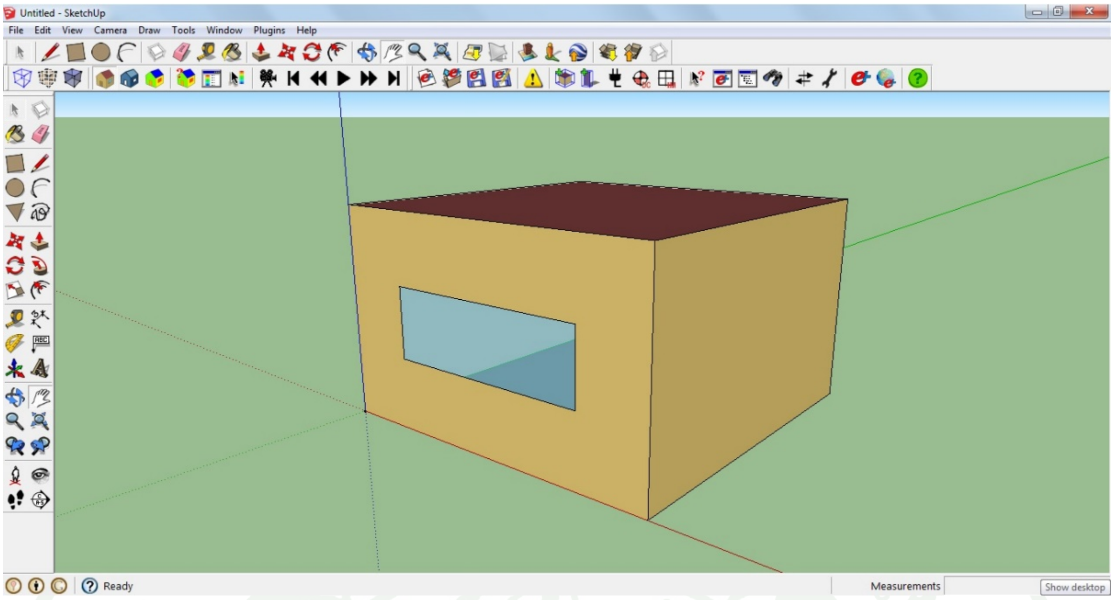
2.พัฒนาโปรแกรมการคำนวณ

นำข้อมูล และสูตรที่รวบรวมมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็น โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมหลักโดยแบ่งเป็นการคำนวณเพื่อหาสภาวะสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มจากการคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ มวลอากาศในแต่ละเวลาของแต่ละวันในรอบปี ปริมาณและมุมของแสงที่ส่องลงมายังโลก อุณหภูมิภายนอก และ การคำนวหาภาระทำความเย็นจากผนัง หลังคา กระจก ไฟส่องสว่าง กิจกรรมของมนุษย์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โดยอาศัยข้อมูลวัสดุก่อสร้างอาคาร และ สภาวะของสิ่งแวดล้อม

3. คำนวณค่าภาระทำความเย็นจากโปรแกรมที่พัฒนาเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีความแม่นยำ

หลังจากพัฒนาโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นจากโปรแกรม Microsoft Excel เรียบร้อย จะทำการตรวจสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยทำการคำนวณภาระทำควาเย็น ซึ่งมีการเทียบผลการคำนวณกับโปรแกรม Energy Plus ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่ได้รับความนิยมโดยใช้โปรแกรมSketch Upสร้างแบบจำลองเพื่อใช้งานคู่กับโปรแกรม Energy Plusมีการใช้สภาวะสิ่งแวดล้อมเดียวกัน สภาวะที่ทดสอบคือ ห้องขนาด กว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 3 เมตร วัสดุก่อผนังได้แก่ อิฐหนา 10 มิลลิเมตร คอนกรีตหนา 200 มิลลิเมตร ฉนวนความร้อน หนา 50 มิลลิเมตร ฉนวนอากาศ และแผ่นยิปซัมหนา 19 มิลลิเมตร วัสดุหลังคาได้แก่ คอนกรีตหนา 100 มิลลิเมตร ฉนวนอากาศ ฝ้าเก็บเสียง มีกระจกใสด้านทิศใต้ ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร เป็นกระจกหนา 3 มิลลิเมตร 2 ชั้น กึ่งกลางเป็นฉนวนอากาศหนา 13 มิลลิเมตร ตั้งอยู่ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ตำแหน่งละติจูด 13.73 องศา ด้านทิศเหนือ ลองจิจูด 100.57 องศา ด้านทิศตะวันออก เวลามาตรฐาน GMT +7 ที่ระดับความสูงจากน้ำทะเล 12 เมตรคำนวณ ณ วันที่ 21ของทุกเดือนตลอดปีซึ่งมีลักษณะตามภาพที่ 18

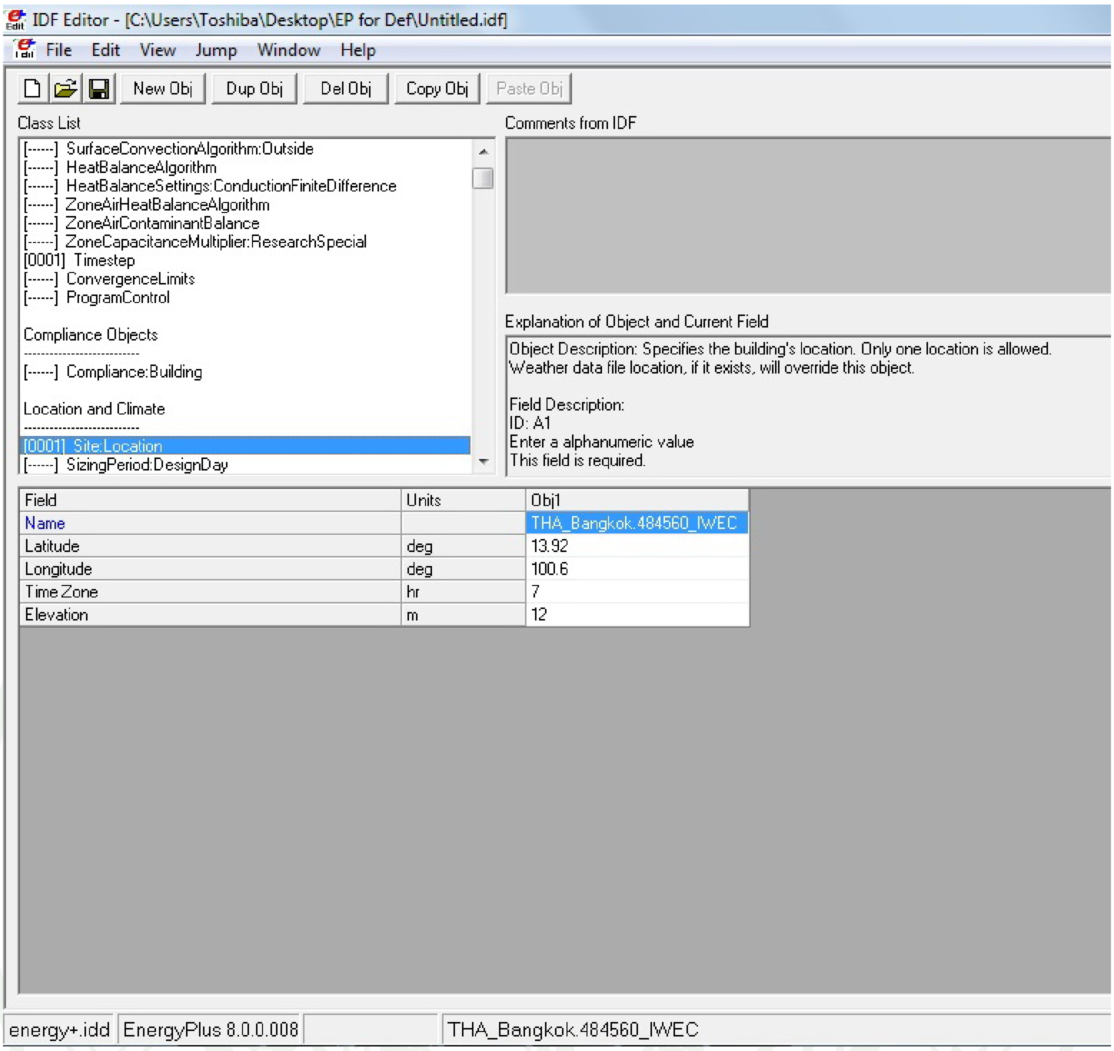
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 แบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรม Sketch Up

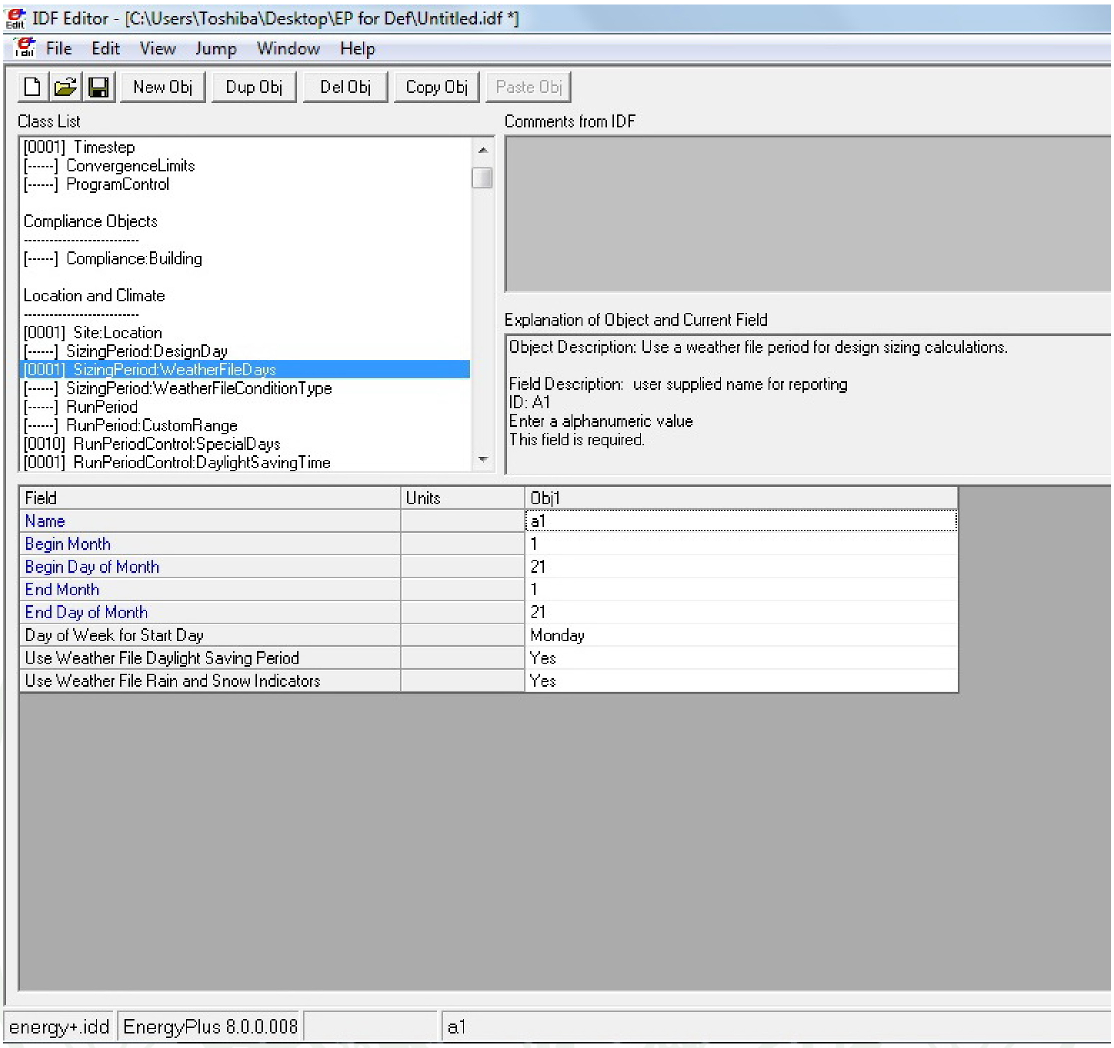
โดยลักษณะการใส่ข้อมูลลงโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแสดงไว้ที่ภาพผนวก ง1-ง9 และผลการคำนวณภาระทำความเย็นจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแสดงไว้ที่ภาพผนวก ง10สำหรับการใส่ข้อมูลในโปรแกรม Energy Plus มีการกำหนดค่าตามภาพที่19-25

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



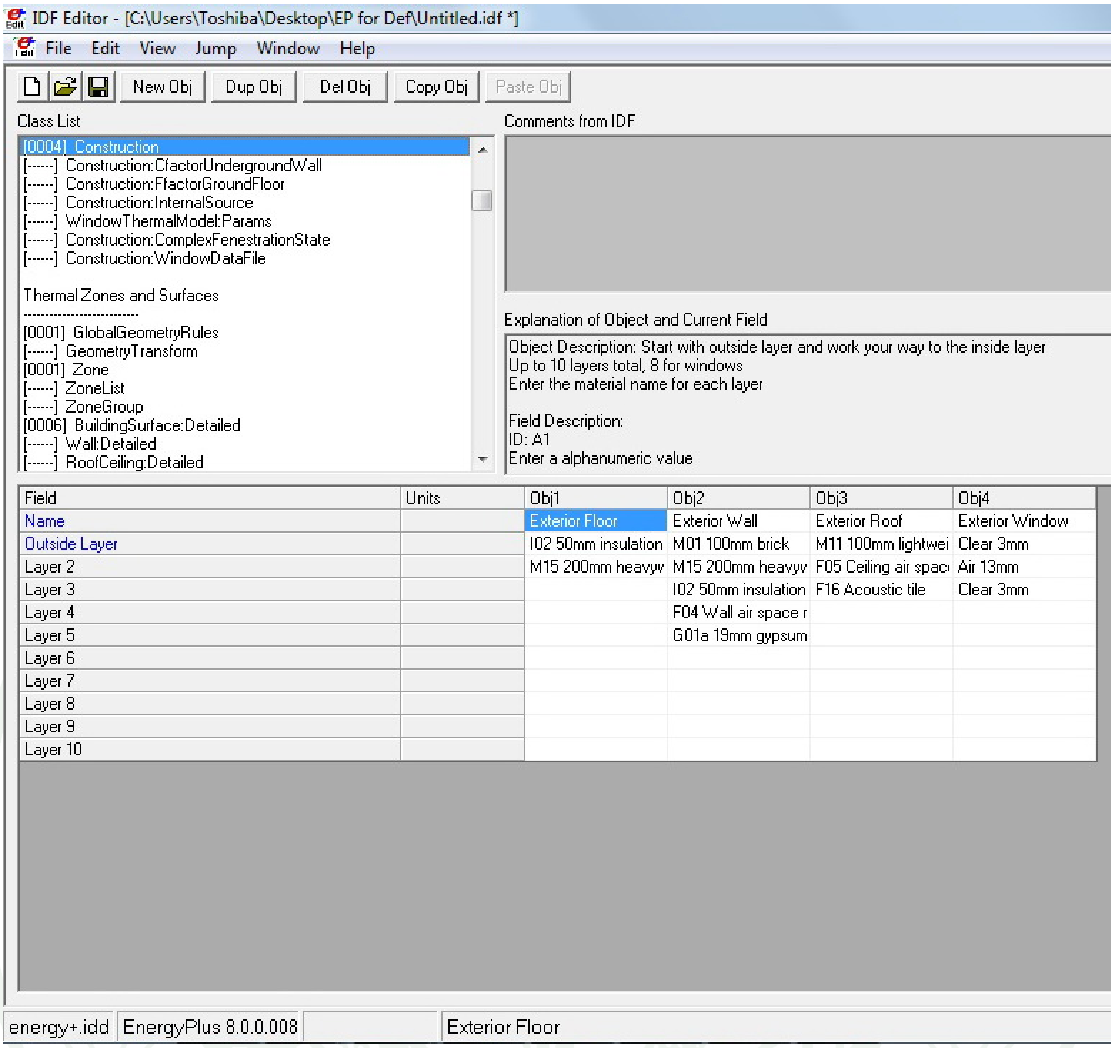
ภาพที่ 19 การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



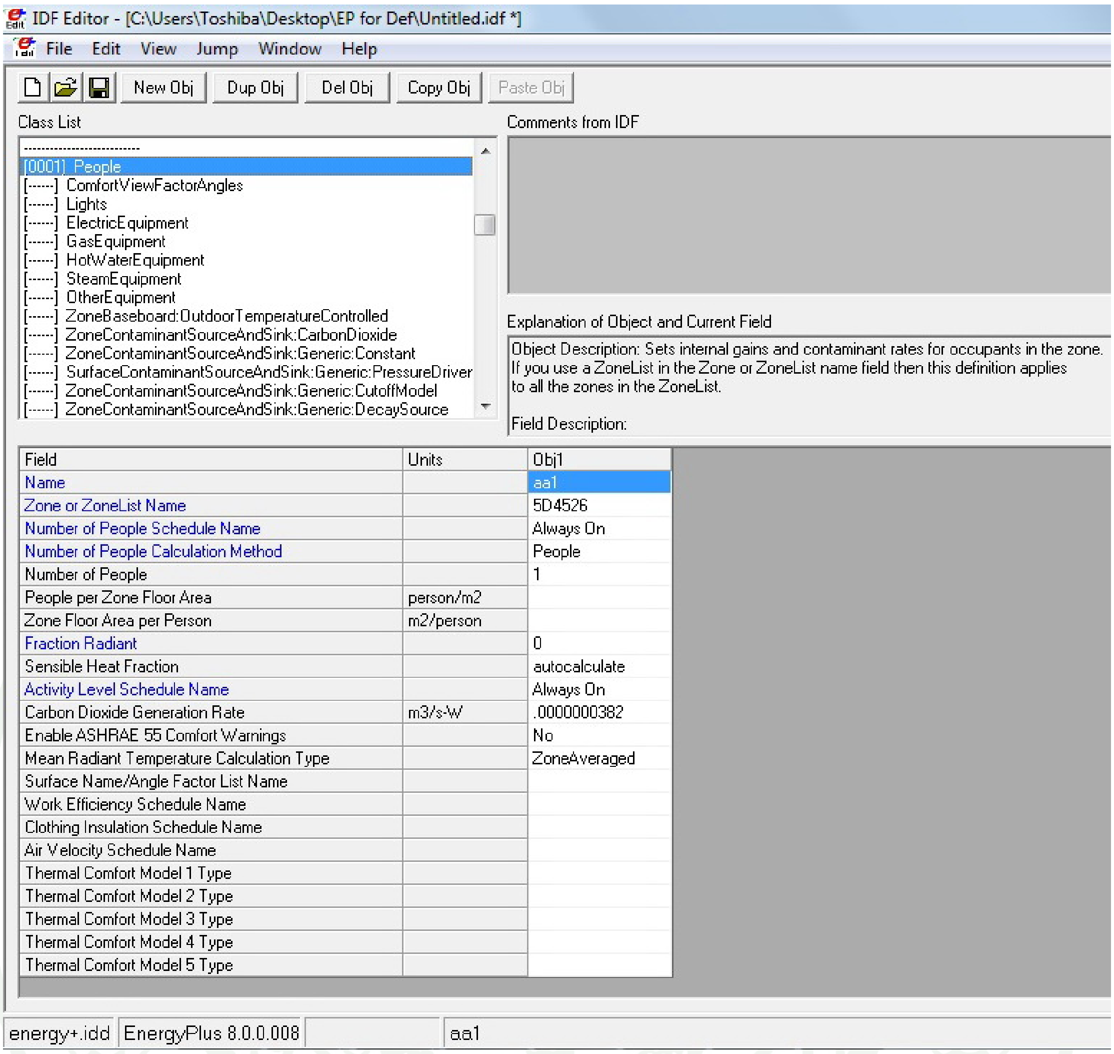
ภาพที่ 20 การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



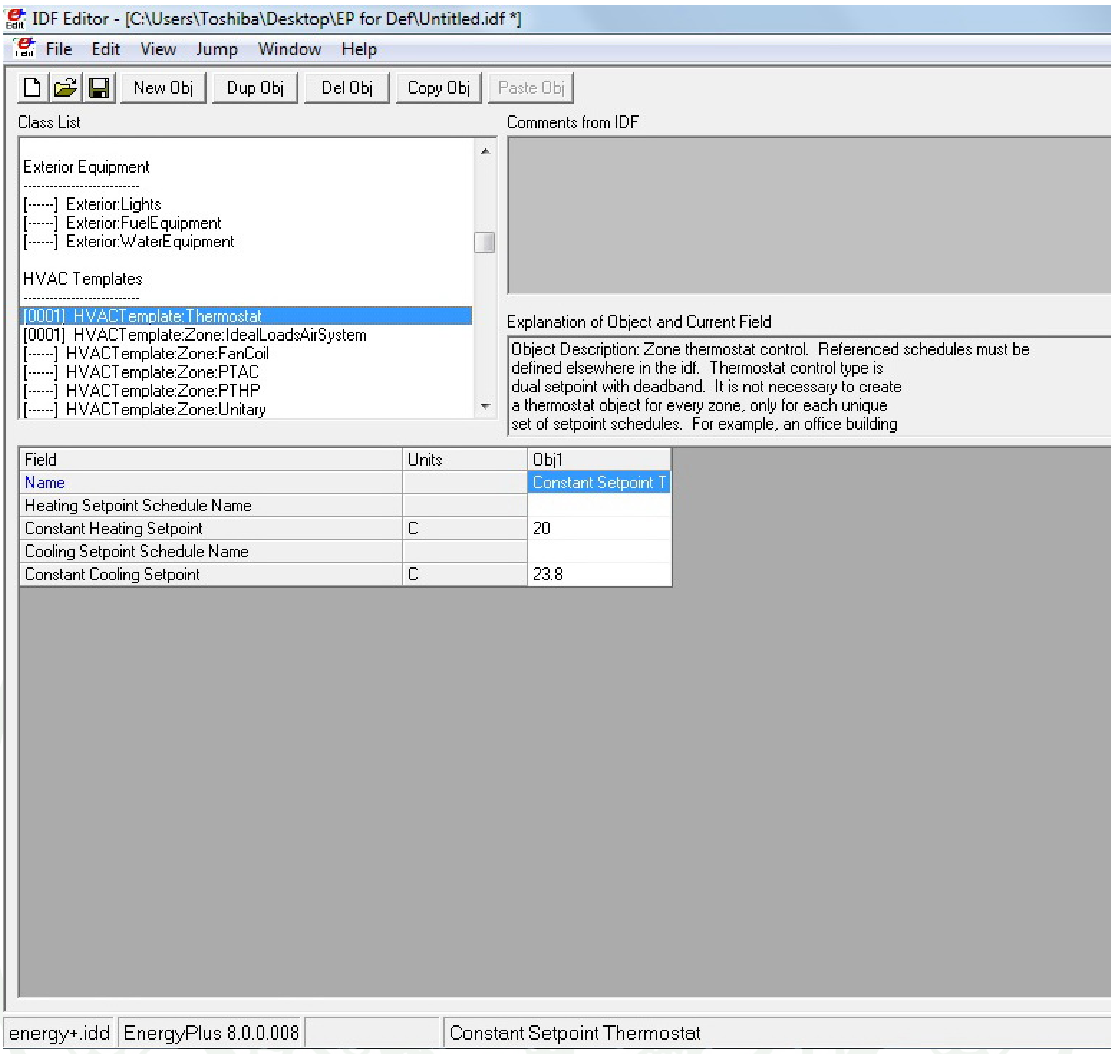
ภาพที่ 21 การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



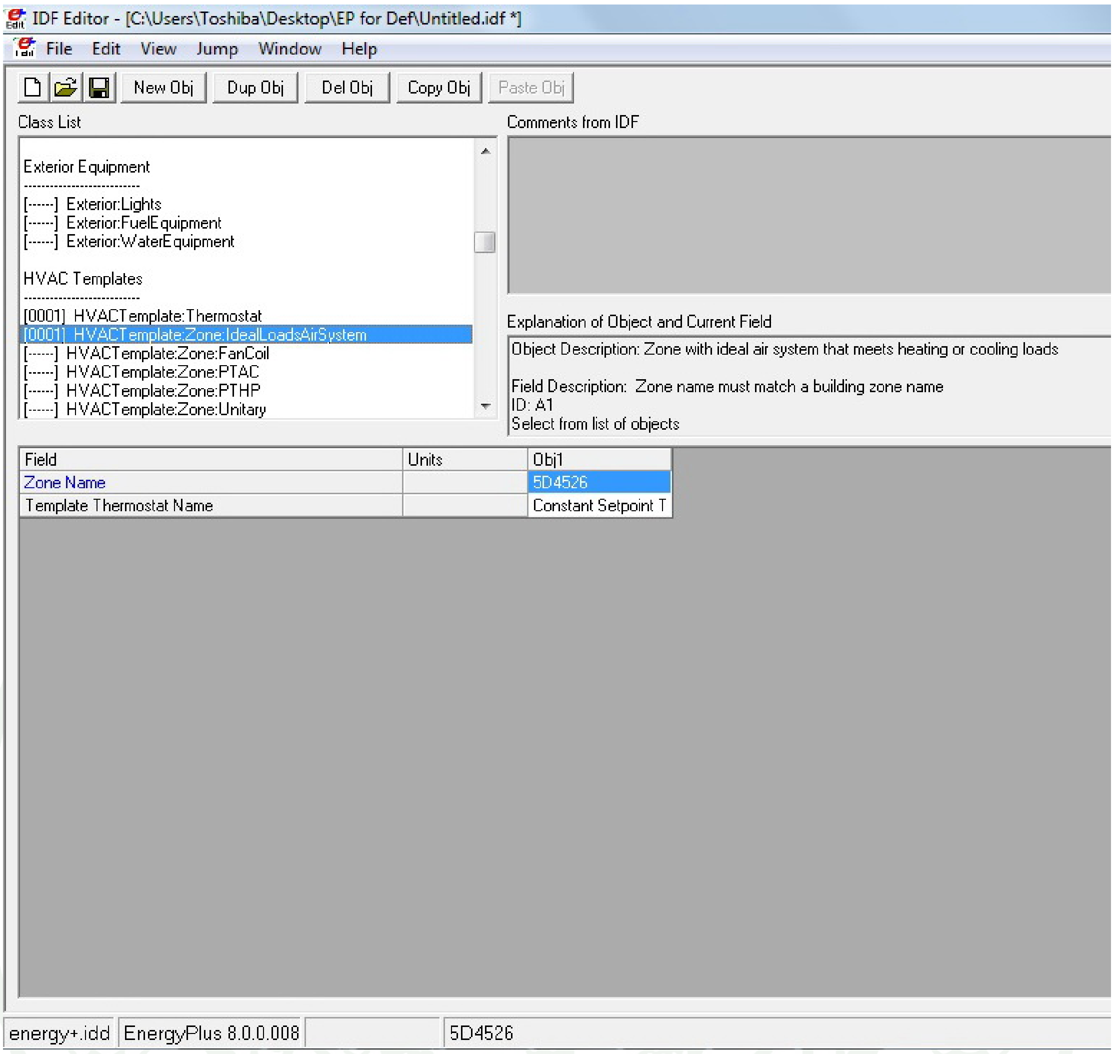
ภาพที่ 22 การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



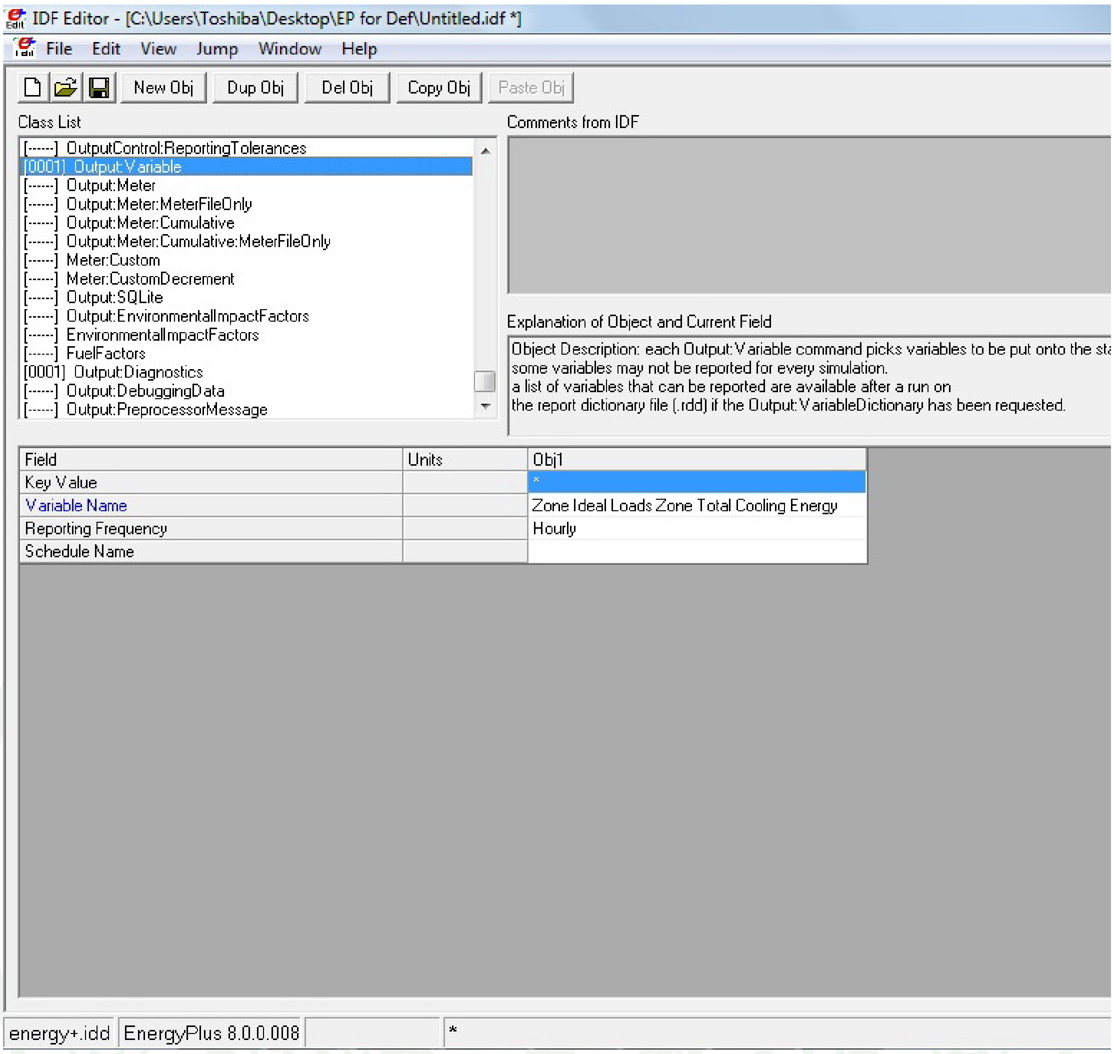
ภาพที่ 23 การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 24 การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 25 การตั้งค่าโปรแกรม Energy Plus 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.นำเสนอผลการทดลอง

รวบรวมภาระทำความเย็นที่คำนวณได้จากโปรแกรมที่พัฒนา และโปรแกรม Energy Plus เพื่อนำเสนอในรูปแบบกราฟและตารางเปรียบเทียบผลการคำนวณภาระทำความเย็นจากทั้ง 2 โปรแกรม

5. สรุปผลการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณภาระทำความเย็นจากโปรแกรมทั้งสอง เพื่อสรุปผลการทดลองดังปรากฏในบทถัดไป

6. สถานที่ทำการทดลอง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

7. ระยะเวลาทำการวิจัย

1 มิถุนายน2556 ถึง 30 เมษายน2557 โดยรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัย เป็นไปตามตารางที่ 4

8. แหล่งทุนสนับสนุน

ทุนส่วนตัว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่4 ตารางดำเนินงานวิจัย

<table>
<tr><td colspan="12">ชื่อโครงงาน : โปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสำหรับประเทศไทย
(The radiant time series cooling load calculation program for Thailand)</td></tr>
<tr><td colspan="8">อาจารย์ที่ปรึกษา :ผศ.ดร.พลกฤต กฤชไมตรี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ</td><td colspan="4">ผู้จัดทำ : นายอัครพล ภู่มหภิญโญ</td></tr>
<tr><td colspan="6">สถานที่ดำเนินโครงการ :
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)</td><td colspan="6">เริ่มโครงการ : 1 มิถุนายน2556
สิ้นสุดโครงการ : 30 เมษายน2557</td></tr>
<tr><th>ขั้นตอนการดำเนินงาน</th><th>มิ.ย.</th><th>ก.ค.</th><th>ส.ค.</th><th>ก.ย.</th><th>ต.ค.</th><th>พ.ย.</th><th>ธ.ค.</th><th>ม.ค.</th><th>ก.พ.</th><th>มี.ค.</th><th>เม.ย.</th></tr>
<tr><td>1.ศึกษาข้อมูลและตรวจสอบเอกสาร</td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2.พัฒนาโปรแกรมการคำนวณภาระการทำความเย็น</td><td></td><td></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3.คำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากโปรแกรมเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีความแม่นยำ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td><td style="background:#c0c0c0"></td></tr>
</table>

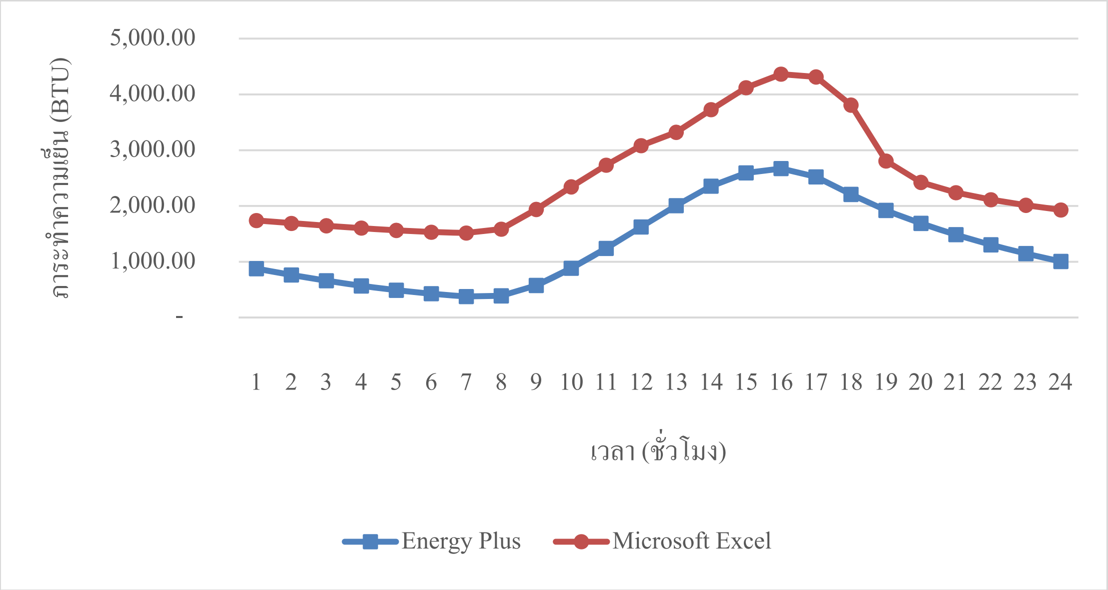
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเทียบกับโปรแกรม Energy Plus ที่สภาวะทดสอบเดียวกัน คือ ห้องขนาด กว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 3 เมตร วัสดุก่อผนังได้แก่ อิฐหนา 10 มิลลิเมตร คอนกรีตหนา 200 มิลลิเมตร ฉนวนความร้อนหนา 50 มิลลิเมตร ฉนวนอากาศ และแผ่นยิปซัมหนา 19 มิลลิเมตร วัสดุหลังคาได้แก่ คอนกรีตหนา 100 มิลลิเมตร ฉนวนอากาศ ฝ้าเก็บเสียง มีกระจกใสด้านทิศใต้ ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร เป็นหระจกหนา 3 มิลลิเมตร 2 ชั้น กึ่งกลางเป็นฉนวนอากาศหนา 13 มิลลิเมตร ตั้งอยู่ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ตำแหน่งละติจูด 13.73 องศา ด้านทิศเหนือ ลองจิจูด 100.57 องศา ด้านทิศตะวันออก เวลามาตรฐาน GMT +7 ที่ระดับความสูงจากน้ำทะเล 12 เมตรคำนวณ ณ วันที่ 21ของทุกเดือนตลอดปีโดยเรียงลำดับตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมในแต่ละวันจะมีการคำนวณทุกชั่วโมงโดยเริ่มต้นจากเวลา 1:00 นาฬิกาถึง 0:00 นาฬิกา

ภาระทำความเย็นจะมีแนวโน้มในแต่ละวันจะคล้ายกันทั้งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และโปรแกรม Energy Plus โดยที่ภาระทำความเย็นจะลดลงด้วยอัตราที่ต่ำในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นกระทั่งช่วงเวลาเที่ยงภาระทำความเย็นที่คำนวณได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีค่าสูงสุด แต่ภาระทำความเย็นจากโปรแกรม Energy Plus จะมีภาระทำความเย็นสูงสุดที่ในช่วงเวลาบ่าย จากนั้นภาระทำความเย็นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาบ่ายถึงเย็นกระทั่งพระอาทิตย์ตก ภาระทำความเย็นจะลดลงด้วยอัตราที่ต่ำลง ได้ผลการคำนวณตามภาพที่ 26-37และตารางที่ 5-16

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มกราคม

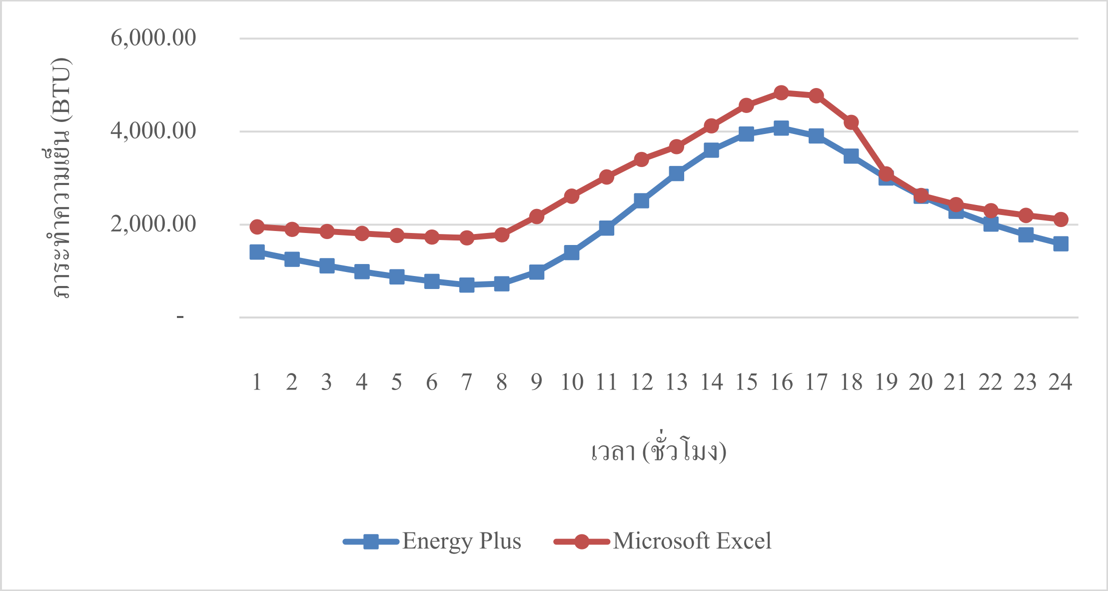
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนมกราคมมีค่าแสดงตามตารางที่ 5มีแนวโน้มตามภาพที่ 26มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มกราคม

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	877.81	1,739.24	98.13
2:00	765.03	1,688.87	120.76
3:00	661.11	1,646.21	149.01
4:00	568.78	1,604.64	182.12
5:00	491.61	1,563.01	217.94
6:00	429.33	1,530.46	256.48
7:00	378.48	1,516.59	300.70
8:00	390.35	1,584.94	306.03
9:00	577.51	1,938.46	235.66
10:00	885.43	2,342.32	164.54
11:00	1,240.41	2,731.02	120.17
12:00	1,624.54	3,081.67	89.69
13:00	2,006.41	3,319.64	65.45
14:00	2,355.18	3,725.29	58.17
15:00	2,593.30	4,118.95	58.83
16:00	2,670.26	4,361.25	63.33
17:00	2,521.21	4,311.69	71.02
18:00	2,208.25	3,807.66	72.43
19:00	1,920.90	2,806.02	46.08
20:00	1,688.81	2,423.15	43.48
21:00	1,486.50	2,238.03	50.56
22:00	1,305.51	2,112.48	61.81
23:00	1,147.08	2,013.79	75.56
0:00	1,007.15	1,928.92	91.52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กุมภาพันธ์

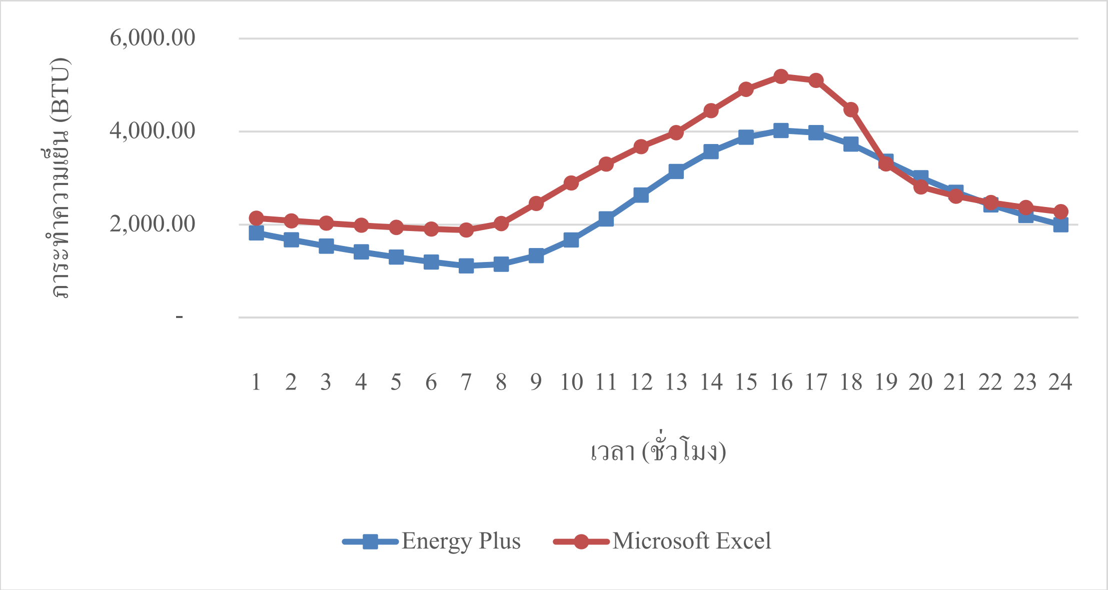
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนกุมภาพันธ์มีค่าแสดงตามตารางที่ 6มีแนวโน้มตามภาพที่ 27มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กุมภาพันธ์

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,411.21	1,952.38	38.35
2:00	1,255.52	1,899.40	51.28
3:00	1,116.00	1,854.27	66.15
4:00	989.81	1,811.20	82.98
5:00	878.36	1,768.34	101.32
6:00	779.35	1,733.80	122.47
7:00	701.60	1,716.84	144.70
8:00	729.70	1,781.94	144.20
9:00	979.61	2,175.13	122.04
10:00	1,399.52	2,612.70	86.68
11:00	1,924.87	3,024.94	57.15
12:00	2,513.34	3,402.48	35.38
13:00	3,098.98	3,677.50	18.67
14:00	3,602.30	4,125.23	14.52
15:00	3,948.55	4,564.33	15.60
16:00	4,076.02	4,836.40	18.65
17:00	3,907.89	4,773.48	22.15
18:00	3,475.16	4,199.36	20.84
19:00	3,004.52	3,091.05	2.88
20:00	2,611.61	2,628.66	0.65
21:00	2,286.72	2,432.59	6.38
22:00	2,011.48	2,301.57	14.42
23:00	1,781.01	2,199.77	23.51
0:00	1,588.21	2,112.76	33.03

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มีนาคม

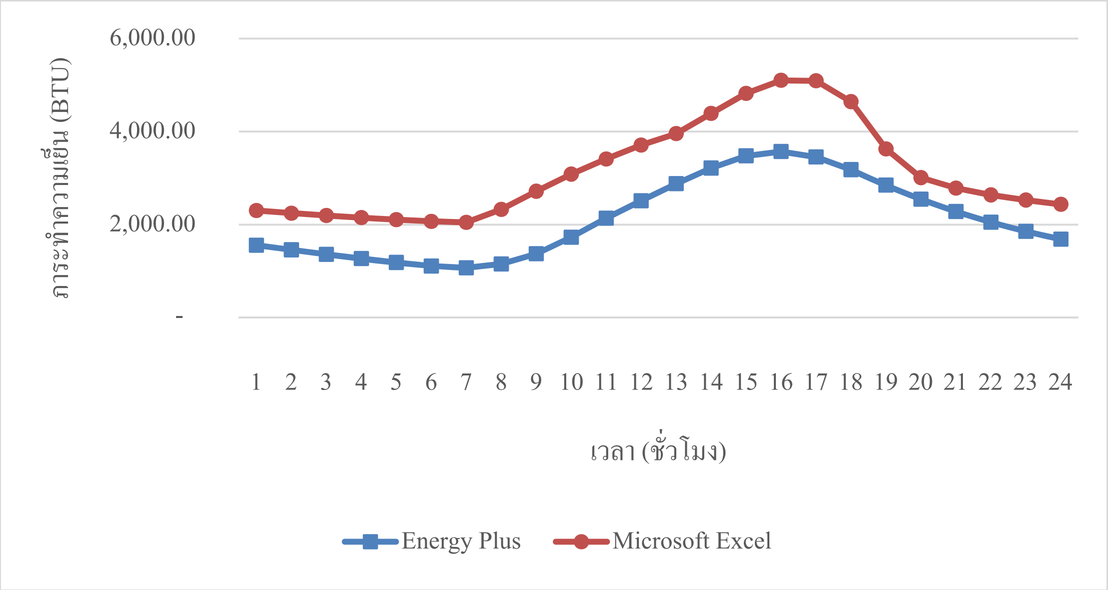
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนมีนาคมมีค่าแสดงตามตารางที่ 7มีแนวโน้มตามภาพที่ 28มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มีนาคม

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,821.86	2,137.42	17.32
2:00	1,672.46	2,081.01	24.43
3:00	1,537.95	2,032.58	32.16
4:00	1,414.20	1,986.60	40.48
5:00	1,301.15	1,940.98	49.17
6:00	1,194.96	1,903.78	59.32
7:00	1,113.19	1,884.34	69.27
8:00	1,148.46	2,023.04	76.15
9:00	1,333.31	2,456.01	84.20
10:00	1,669.07	2,895.56	73.48
11:00	2,122.06	3,300.62	55.54
12:00	2,634.89	3,676.70	39.54
13:00	3,143.09	3,977.62	26.55
14:00	3,568.54	4,450.54	24.72
15:00	3,878.77	4,909.82	26.58
16:00	4,023.03	5,186.11	28.91
17:00	3,976.62	5,099.73	28.24
18:00	3,731.61	4,472.36	19.85
19:00	3,363.38	3,303.86	-1.77
20:00	3,007.83	2,809.99	-6.58
21:00	2,695.15	2,608.93	-3.20
22:00	2,425.12	2,473.26	1.98
23:00	2,196.52	2,367.56	7.79
0:00	1,997.70	2,277.30	14.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 29 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21เมษายน

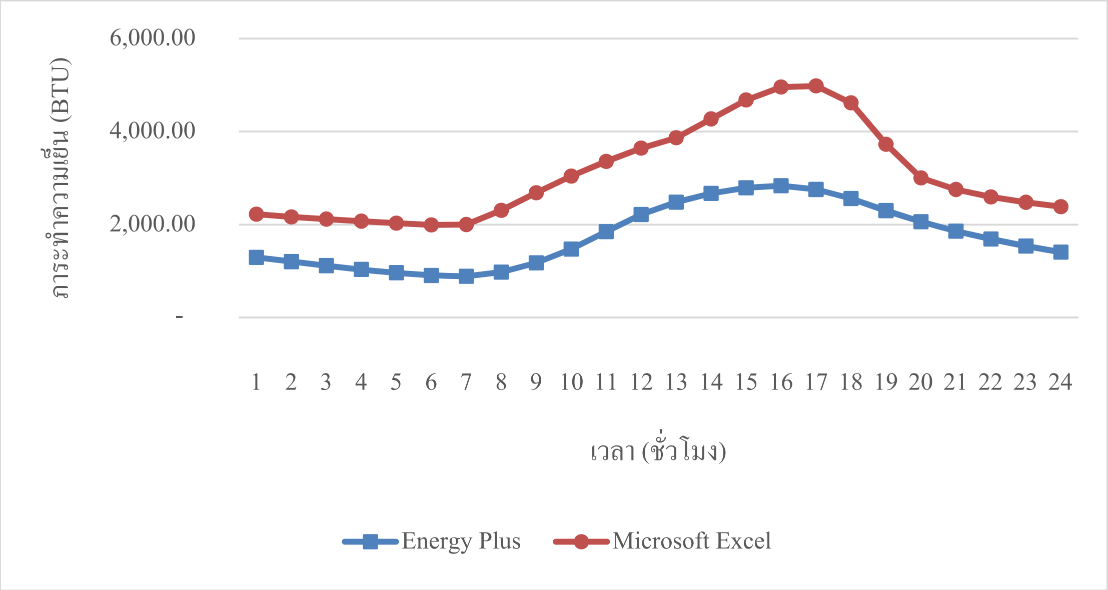
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนเมษายนมีค่าแสดงตามตารางที่ 8มีแนวโน้มตามภาพที่ 29มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21เมษายน

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,556.01	2,300.71	47.86
2:00	1,456.40	2,243.53	54.05
3:00	1,358.83	2,195.84	61.60
4:00	1,268.70	2,150.12	69.47
5:00	1,185.29	2,104.97	77.59
6:00	1,107.68	2,067.21	86.62
7:00	1,070.33	2,047.58	91.30
8:00	1,152.36	2,325.16	101.77
9:00	1,371.54	2,716.36	98.05
10:00	1,726.67	3,083.98	78.61
11:00	2,136.43	3,409.88	59.61
12:00	2,511.64	3,708.86	47.67
13:00	2,879.56	3,955.30	37.36
14:00	3,214.61	4,390.05	36.57
15:00	3,478.97	4,820.95	38.57
16:00	3,570.50	5,101.50	42.88
17:00	3,454.50	5,092.28	47.41
18:00	3,180.15	4,642.89	46.00
19:00	2,847.62	3,626.91	27.37
20:00	2,545.86	3,008.20	18.16
21:00	2,281.07	2,784.37	22.06
22:00	2,051.35	2,637.01	28.55
23:00	1,854.76	2,526.39	36.21
0:00	1,686.66	2,434.62	44.35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤษภาคม

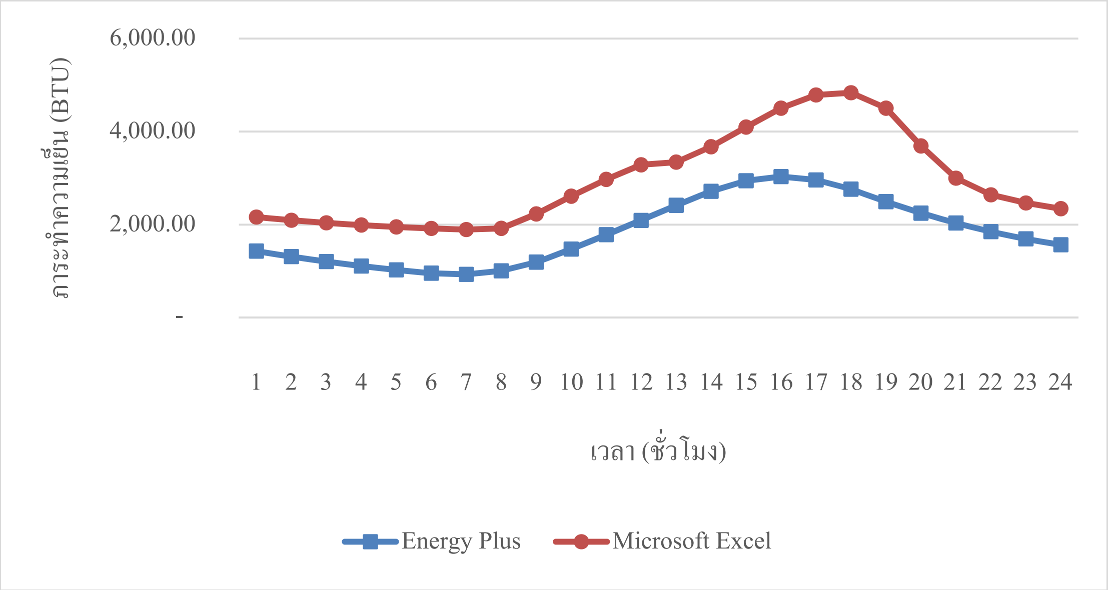
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนพฤษภาคมมีค่าแสดงตามตารางที่ 9มีแนวโน้มตามภาพที่ 30มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 6:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 17:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤษภาคม

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,294.71	2,223.90	71.77
2:00	1,202.78	2,165.98	80.08
3:00	1,116.06	2,118.85	89.85
4:00	1,036.64	2,074.28	100.10
5:00	965.08	2,030.79	110.43
6:00	903.66	1,994.48	120.71
7:00	888.15	2,002.14	125.43
8:00	977.49	2,306.88	136.00
9:00	1,177.43	2,685.16	128.05
10:00	1,472.42	3,042.47	106.63
11:00	1,847.85	3,359.46	81.80
12:00	2,216.51	3,643.98	64.40
13:00	2,480.40	3,867.66	55.93
14:00	2,671.22	4,271.54	59.91
15:00	2,790.97	4,678.77	67.64
16:00	2,835.39	4,957.84	74.86
17:00	2,755.31	4,981.43	80.79
18:00	2,561.63	4,617.19	80.24
19:00	2,300.55	3,727.27	62.02
20:00	2,061.65	3,005.21	45.77
21:00	1,859.01	2,755.07	48.20
22:00	1,688.95	2,595.67	53.68
23:00	1,539.42	2,480.11	61.11
0:00	1,406.27	2,385.85	69.66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 31 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มิถุนายน

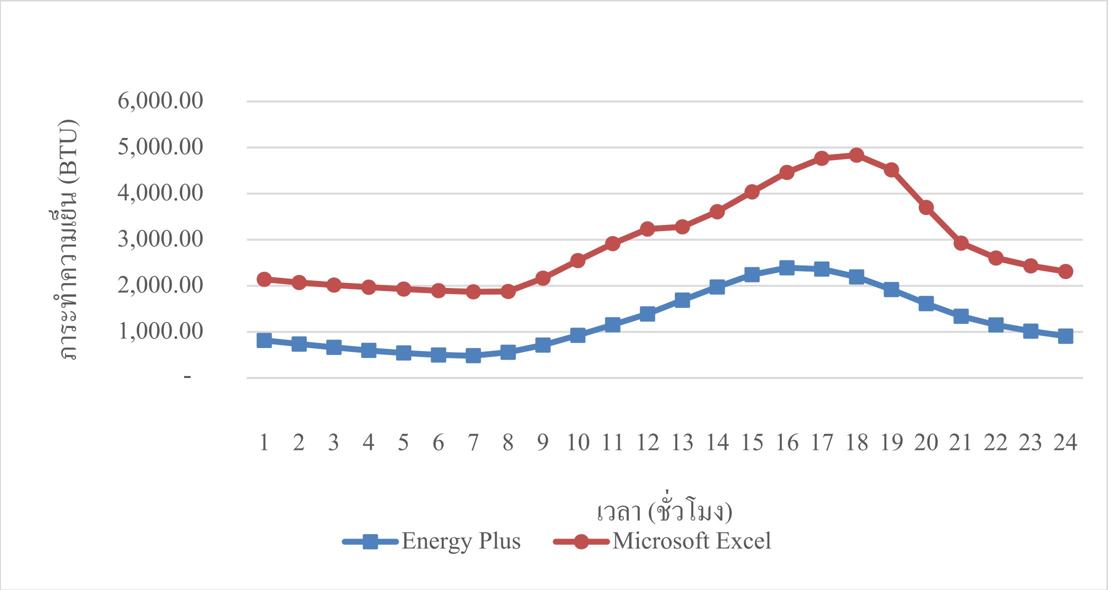
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนมิถุนายนมีค่าแสดงตามตารางที่ 10มีแนวโน้มตามภาพที่ 31มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 18:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21มิถุนายน

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,430.88	2,162.64	51.14
2:00	1,311.83	2,093.87	59.61
3:00	1,206.22	2,038.45	69.00
4:00	1,109.65	1,992.37	79.55
5:00	1,026.32	1,951.26	90.12
6:00	956.95	1,917.06	100.33
7:00	931.23	1,894.68	103.46
8:00	1,005.37	1,920.26	91.00
9:00	1,194.17	2,229.51	86.70
10:00	1,474.87	2,610.79	77.02
11:00	1,783.98	2,971.95	66.59
12:00	2,091.13	3,285.90	57.14
13:00	2,414.63	3,343.80	38.48
14:00	2,715.34	3,674.47	35.32
15:00	2,944.43	4,096.76	39.14
16:00	3,032.18	4,503.25	48.52
17:00	2,959.53	4,787.32	61.76
18:00	2,762.52	4,834.25	74.99
19:00	2,494.08	4,502.51	80.53
20:00	2,246.84	3,691.10	64.28
21:00	2,034.12	2,997.79	47.38
22:00	1,849.93	2,639.53	42.68
23:00	1,695.39	2,465.62	45.43
0:00	1,567.18	2,342.41	49.47

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 32 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กรกฎาคม

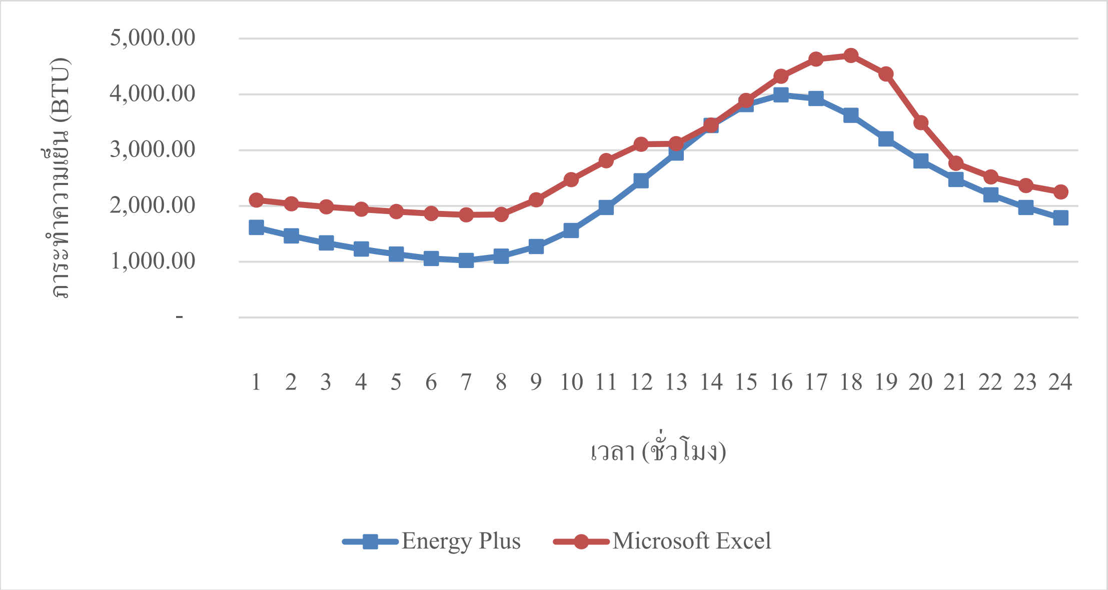
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21ของเดือนกรกฎาคมมีค่าแสดงตามตารางที่ 11มีแนวโน้มตามภาพที่ 32มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 18:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กรกฎาคม

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	813.56	2,138.98	162.92
2:00	734.65	2,069.99	181.77
3:00	663.19	2,013.89	203.67
4:00	598.51	1,967.58	228.75
5:00	543.16	1,926.05	254.60
6:00	495.99	1,891.62	281.38
7:00	483.37	1,868.58	286.58
8:00	557.21	1,875.61	236.61
9:00	713.48	2,162.74	203.12
10:00	924.76	2,546.31	175.35
11:00	1,152.53	2,912.98	152.75
12:00	1,388.48	3,231.60	132.74
13:00	1,687.32	3,277.50	94.24
14:00	1,972.80	3,607.05	82.84
15:00	2,241.05	4,037.47	80.16
16:00	2,390.52	4,460.42	86.59
17:00	2,363.69	4,766.07	101.64
18:00	2,192.38	4,834.37	120.51
19:00	1,918.47	4,515.47	135.37
20:00	1,613.84	3,699.64	129.24
21:00	1,336.65	2,923.72	118.73
22:00	1,150.87	2,601.97	126.09
23:00	1,014.01	2,431.06	139.75
0:00	905.54	2,309.25	155.01

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 33 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21สิงหาคม

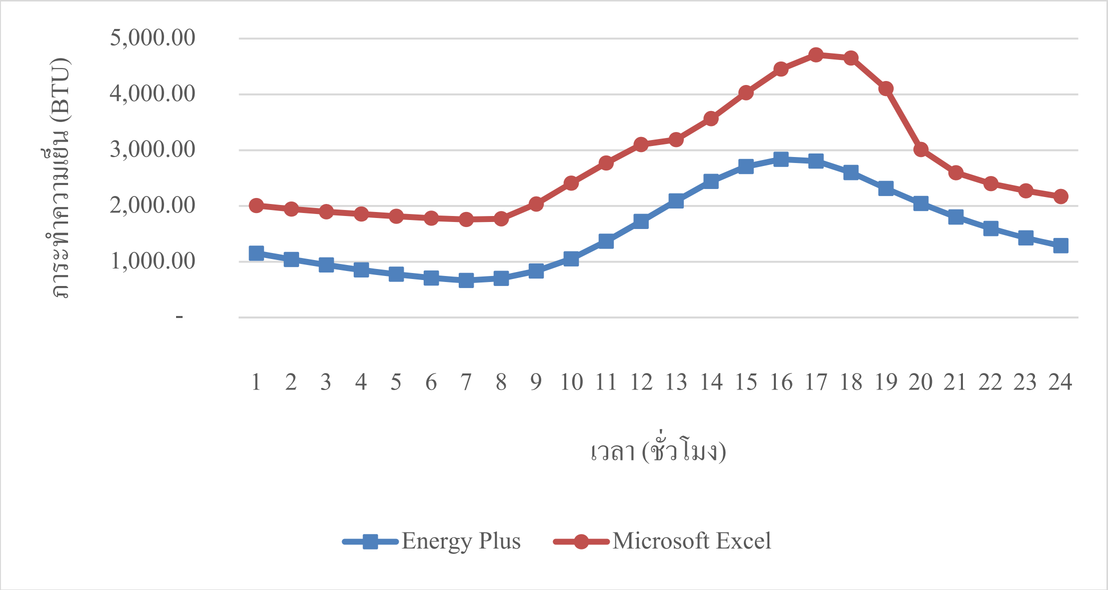
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนสิงหาคมมีค่าแสดงตามตารางที่ 12มีแนวโน้มตามภาพที่ 33มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 18:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21สิงหาคม

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,615.46	2,106.08	30.37
2:00	1,463.69	2,039.62	39.35
3:00	1,337.68	1,986.11	48.47
4:00	1,228.63	1,941.93	58.06
5:00	1,136.42	1,901.29	67.31
6:00	1,058.64	1,866.94	76.35
7:00	1,024.00	1,843.07	79.99
8:00	1,099.88	1,849.88	68.19
9:00	1,272.13	2,112.13	66.03
10:00	1,560.32	2,473.57	58.53
11:00	1,971.78	2,812.95	42.66
12:00	2,451.16	3,106.30	26.73
13:00	2,948.98	3,117.31	5.71
14:00	3,441.83	3,448.27	0.19
15:00	3,815.58	3,891.14	1.98
16:00	3,990.63	4,323.11	8.33
17:00	3,924.59	4,629.69	17.97
18:00	3,623.83	4,695.78	29.58
19:00	3,201.18	4,364.91	36.35
20:00	2,807.49	3,493.07	24.42
21:00	2,474.81	2,766.31	11.78
22:00	2,199.18	2,521.30	14.65
23:00	1,973.39	2,366.46	19.92
0:00	1,787.54	2,252.47	26.01

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 34 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กันยายน

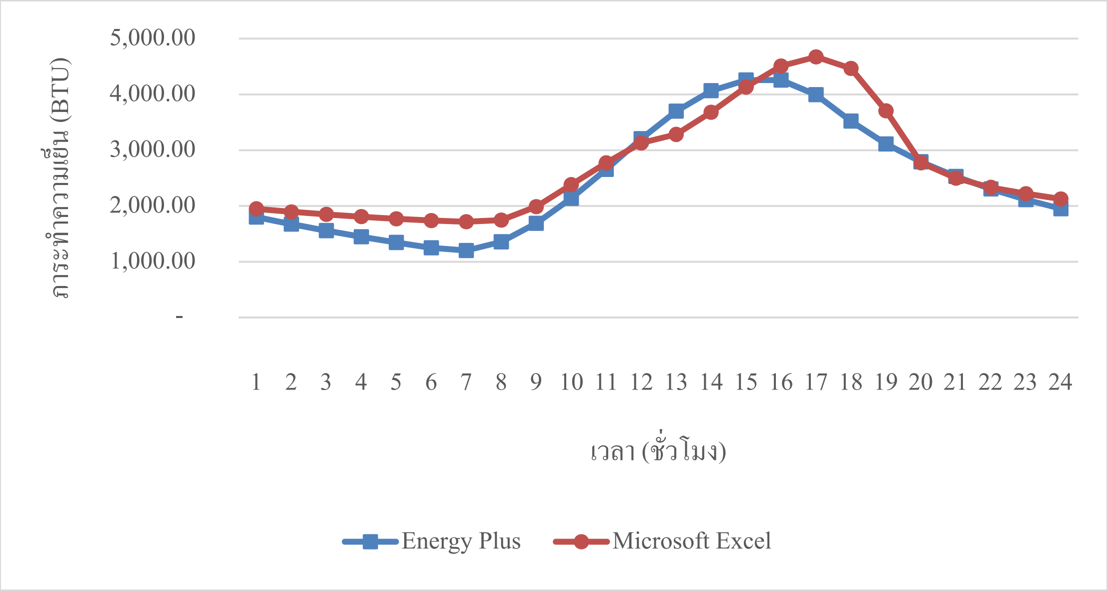
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนกันยายนมีค่าแสดงตามตารางที่ 13มีแนวโน้มตามภาพที่ 34มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 17:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21กันยายน

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,154.55	2,008.40	73.95
2:00	1,042.20	1,946.03	86.72
3:00	945.41	1,897.99	100.76
4:00	857.08	1,856.31	116.58
5:00	778.59	1,816.54	133.31
6:00	710.20	1,782.21	150.95
7:00	667.50	1,759.79	163.64
8:00	705.17	1,772.11	151.30
9:00	835.75	2,036.29	143.65
10:00	1,054.66	2,410.66	128.57
11:00	1,369.75	2,771.72	102.35
12:00	1,723.88	3,101.33	79.90
13:00	2,090.89	3,188.50	52.49
14:00	2,441.22	3,565.58	46.06
15:00	2,708.05	4,030.01	48.82
16:00	2,836.27	4,453.75	57.03
17:00	2,804.34	4,707.56	67.87
18:00	2,600.78	4,650.50	78.81
19:00	2,314.58	4,102.66	77.25
20:00	2,045.30	3,012.92	47.31
21:00	1,803.01	2,595.28	43.94
22:00	1,597.41	2,401.88	50.36
23:00	1,429.18	2,272.48	59.01
0:00	1,289.95	2,170.08	68.23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ตุลาคม

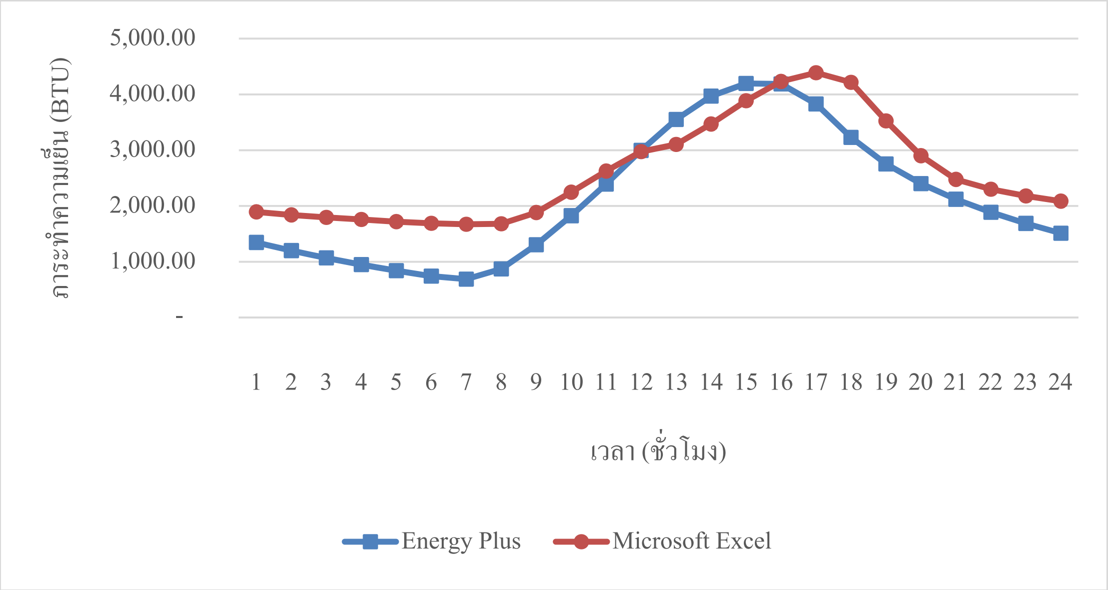
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนตุลาคมมีค่าแสดงตามตารางที่ 14มีแนวโน้มตามภาพที่ 35มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 17:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 15:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ตุลาคม

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,802.43	1,949.13	8.14
2:00	1,674.03	1,892.87	13.07
3:00	1,558.06	1,848.93	18.67
4:00	1,448.95	1,808.81	24.84
5:00	1,346.68	1,770.33	31.46
6:00	1,251.15	1,737.64	38.88
7:00	1,201.99	1,718.44	42.97
8:00	1,357.57	1,746.13	28.62
9:00	1,688.98	1,987.26	17.66
10:00	2,136.23	2,382.08	11.51
11:00	2,656.84	2,772.25	4.34
12:00	3,205.08	3,128.88	-2.38
13:00	3,697.77	3,282.42	-11.23
14:00	4,065.91	3,678.58	-9.53
15:00	4,257.30	4,131.07	-2.97
16:00	4,256.48	4,508.13	5.91
17:00	3,994.18	4,671.20	16.95
18:00	3,521.09	4,465.43	26.82
19:00	3,111.87	3,705.52	19.08
20:00	2,791.48	2,774.71	-0.60
21:00	2,528.70	2,497.79	-1.22
22:00	2,304.83	2,333.21	1.23
23:00	2,115.09	2,218.90	4.91
0:00	1,951.15	2,125.74	8.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 36 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤศจิกายน

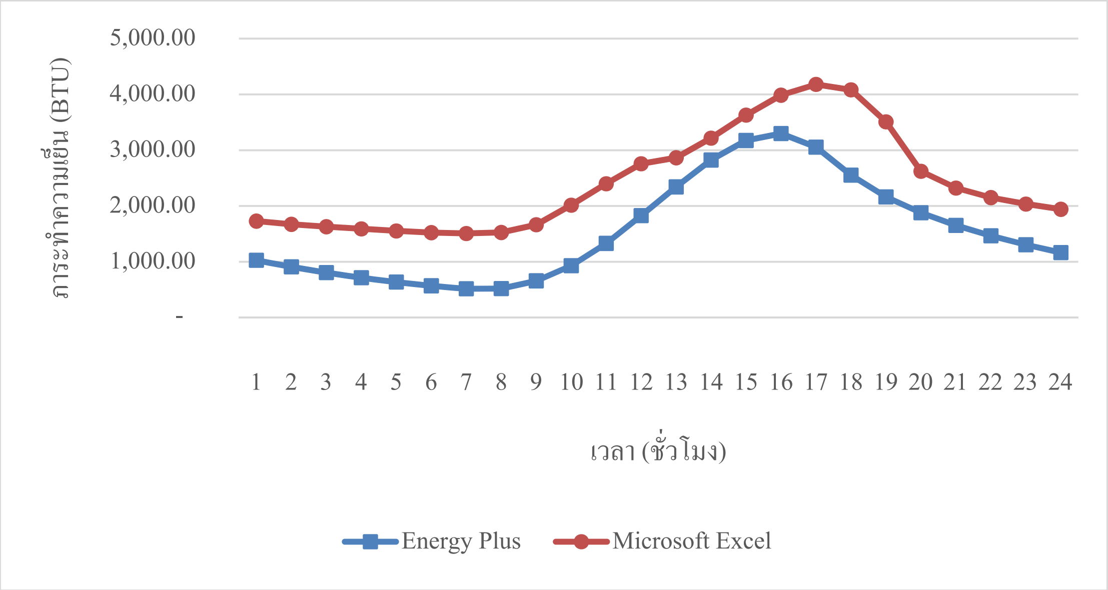
ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนพฤศจิกายนมีค่าแสดงตามตารางที่ 15มีแนวโน้มตามภาพที่ 36มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 17:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 15:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21พฤศจิกายน

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,347.43	1,895.50	40.67
2:00	1,200.97	1,840.75	53.27
3:00	1,069.77	1,797.42	68.02
4:00	949.62	1,758.70	85.20
5:00	841.12	1,720.84	104.59
6:00	743.49	1,690.30	127.35
7:00	689.71	1,673.74	142.67
8:00	871.97	1,682.44	92.95
9:00	1,304.86	1,883.88	44.37
10:00	1,826.20	2,247.88	23.09
11:00	2,394.48	2,626.62	9.69
12:00	2,996.17	2,973.86	-0.74
13:00	3,550.82	3,103.49	-12.60
14:00	3,969.33	3,469.36	-12.60
15:00	4,195.99	3,885.74	-7.39
16:00	4,187.39	4,231.99	1.07
17:00	3,829.48	4,387.65	14.58
18:00	3,230.77	4,215.36	30.48
19:00	2,753.22	3,525.44	28.05
20:00	2,401.94	2,901.21	20.79
21:00	2,121.40	2,477.25	16.77
22:00	1,887.53	2,300.64	21.89
23:00	1,688.48	2,180.65	29.15
0:00	1,512.79	2,087.03	37.96

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ธันวาคม

ภาระทำความเย็นในวันที่ 21 ของเดือนธันวาคมมีค่าแสดงตามตารางที่ 16มีแนวโน้มตามภาพที่ 37มีภาระทำความเย็นต่ำสุดที่เวลา 7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา7:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus มีภาระทำความเย็นสูงสุดที่เวลา 17:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และเวลา 16:00 นาฬิกา สำหรับโปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ผลการคำนวณภาระทำความเย็นของวันที่ 21ธันวาคม

เวลา	โปรแกรม Energy Plus (BTU)	โปรแกรม Microsoft EXCEL (BTU)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1:00	1,027.70	1,729.42	68.28
2:00	910.25	1,672.84	83.78
3:00	806.66	1,629.42	102.00
4:00	714.56	1,590.48	122.58
5:00	636.78	1,553.21	143.92
6:00	570.11	1,523.13	167.16
7:00	517.44	1,508.16	191.47
8:00	519.24	1,526.02	193.89
9:00	658.68	1,664.43	152.69
10:00	929.13	2,014.94	116.86
11:00	1,329.23	2,399.86	80.54
12:00	1,827.52	2,757.40	50.88
13:00	2,342.10	2,865.31	22.34
14:00	2,823.03	3,217.03	13.96
15:00	3,172.90	3,628.29	14.35
16:00	3,297.23	3,985.94	20.89
17:00	3,054.08	4,179.01	36.83
18:00	2,552.05	4,081.40	59.93
19:00	2,161.93	3,507.81	62.25
20:00	1,877.78	2,622.10	39.64
21:00	1,652.35	2,322.11	40.53
22:00	1,464.91	2,151.54	46.87
23:00	1,305.21	2,035.68	55.97
0:00	1,165.12	1,941.53	66.64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การคำนวณภาระทำความเย็นจากโปรแกรมที่พัฒนาเทียบกับโปรแกรม Energy Plus พบว่าโดยรวมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีความคลาดเคลื่อนสูงซึ่งการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีภาระทำความเย็นที่สูงกว่าการคำนวณจากโปรแกรม Energy Plus

โปรแกรมการคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้คำนวณหาภาระการทำความเย็นได้ ซึ่งผลการทดสอบมีแนวโน้มเหมือนกับโปรแกรม Energy Plus แต่มีความสะดวกต่อการใช้งานมากกว่า เนื่องจากมีการจัดรูปแบบให้ง่ายต่อการใช้งานโดยผู้ใช้ป้อนข้อมูลที่จำเป็นโปรแกรมจะสามารถคำนวณได้ทันทีมีข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการคำนวณครบถ้วนและโปรแกรม Microsoft Excel มีผู้ใช้งานอย่างกว้างขวางทำให้ง่ายต่อการใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้วยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสำหรับประเทศไทยโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ได้อย่างสมบูรณ์แต่ยังขาดความสวยงามในส่วนต่อประสานผู้ใช้งาน (User Interface) เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรพัฒนาโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นด้วยโปรแกรมอื่นที่มีส่วนต่อประสานผู้ใช้งานมีความสวยงามมากขึ้นและยังสามารถเพิ่มชนิดของผนัง หลังคา และกระจกได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คมสัน ธุรี. ม.ป.ป. **ทรงกลมท้องฟ้าและระบบพิกัดท้องฟ้า.** เอกสารประกอบการบรรยาย. สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), เชียงใหม่.

จิรวัฒน์ ทั่งทอง และ ปิยนุช เวทย์วิวรณ์. 2554. การศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบไทยของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารและระบบผนังในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย. **วิศวกรรมสาร มก.**77: 12-23.

ณัฐกานต์ เกษประทุม. 2543. **พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทสพลเขตเจนการ,พงษ์ศิริจรุยนนท์,วิชุดาเมตตานันท,พงษ์นรินทร์ชมชื่นและภาณุวัตรเกษรทอง. 2550. การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์,น. 927-932. *ใน***การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21**. จังหวัดชลบุรี.

เทพฤทธิ์ทองชุบและ เอกพลเตี่ยชั้ว. 2553. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีสำหรับกรุงเทพมหานคร,น. ETM 16.1-16.8 . *ใน***การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24**.จังหวัดอุบลราชธานี.

พิภพ สุนทรสมัย. 2552. การศึกษาเปรียบเทียบการเลือกใช้วัสดุมุงหลังคาต่างชนิดกับการก่อสร้างอาคาร. **พัฒนาเทคนิคศึกษา**22: 44-52.

วิชุดา เมตงตานันท. 2547. **มาตรการอนุรักษ์พลังงานและการเพิ่มสมรรถนะเชิงอุณหภาพของหลังคาอาคาร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิรัตน์ตั้งคุณาพันธุ์, สมนึกธีระกุลพิศุทธิ์และฉัตรชัยเบญจปิยะพร. 2550. การศึกษาวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นจากค่า OTTV และ RTTV, น.94.1-94.9. *ใน***การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3**. โรงแรมใบหยกสกาย, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิทธิพรหม กาญจนรัตน์. 2547. **การศึกษาสมรรถนะการระบายความร้อนของหลังคาแบบสกายไลท์ในประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อนุชา สิทธิโรจน์. 2542. **การศึกษาความหนาและชนิดของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับผนังอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Apichat, P. and S. Chungpaibulpatana. 2008. Performance analysis of the building envelope: A case study of the Main Hall, Shinawatra University. **Energy and Buildings** 40: 1737-1746.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 1997. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Tullie Circle NE Atlanta, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2001. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Tullie Circle NE Atlanta, Atlanta. pp. 29.1-29.40. *Cited* American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 1967.**ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Tullie Circle NE Atlanta, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2009. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Tullie Circle NE Atlanta, Atlanta.

Bhatia, A. n.d.**Cooling Load Calculation and Principle.** Continuing Education and Development, Inc., NY.

Chen,T. and M.Cui. 2010. A RTS-based method for direct and consistent calculating intermittent peak cooling loads. **Energy Conversion and Manage.** 51: 1170–1178.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chen,T. and Z.Yu. 2009. A statistical method for selection of sequences of coincident weather parameters for design cooling load calculations.**Energy Conversion and Manage**. 50: 813–821.

Christian G. 2013. Causality issue in the heat balance method for calculating the design heating and cooling load.**Energy** 50 :292-301.

Crawley, D.B., L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl,Y.J. Huang, C.O. Pedersen, R.K. Strand, R.J. Liesen, D.E. Fisher, M.J. Witte and J.Glazer. 2001. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings** 33: 319-331.

Francesco, C., S.P. Corgnati, M. Filippi and B.W. Olesen. 2010. Solar radiation and cooling load calculation for radiant systems: Definition and evaluation of the Direct Solar Load. **Energy and Buildings** 42: 305-314.

Goldstein, R.J. , E.R.G. Eckert, W.E. Ibele, S.V. Patankar, T.W. Simon,T.H. Kuehn, P.J. Strykowski, K.K. Tamma, A. Bar-Cohen, J.V.R. Heberlein,J.H. Davidson, J. Bischof, F.A. Kulacki, U. Kortshagen and S. Garrick. 2002. Heat transfer – a review of 2000 literature. **Int. J. of Heat and Mass Transfer** 45: 2853–2957.

Haberl J.S. and J.C. Baltazar. 2013. **Literature Review on The History of Building Peak Load and Annual Energy Use Calculation Methods in The US.** (Report). Texus Engineering Experiment Sttation, Energy Systers Laboratory, The Texus A&M University. (ESL-TR-12-12-02)

Kamali, G.A., I. Moradi and A. Khalili. 2006. Estimating solar radiation on tilted surfaces with various orientations: a study case in Karaj (Iran).**Theoretical and Applied Climatology** 84: 235-241.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Karan, B., S. Chowdhury and M.R. Gopal. 2008.Development of CLTD values for buildings located in Kolkata, India.**Applied Thermal Eng.** 28: 1127-1137.

Mui, K.W. and L.T.Wong.2007. Cooling load calculations in subtropical climate. **Building and Environment** 42: 2498–2504.

Omar M.A.A.R. and K.M.A. Johani. 1997. Utilizing transfer function method for hourly cooling load calculations.**Energy Conversion and Manage.** 38: 319-332.

Preecha, T., S. Chirarattananon, V.D. Hien, P. Chaiwiwatworakul and P. Rakkwamsuk.2013. Thermal performance of insulated walls enclosing residential spaces in Thailand.**Energy and Buildings** 61: 323-332

Qian Li,X., Y.Chen, J.D.Spitler and D.Fisher. 2009. Applicability of calculation methods for conduction transfer function of building constructions. **Int.J. of Thermal Sci.** 48: 1441–1451.

Richard, K. and S. Darula. 2013. Determination of time and sun position system. **Solar Energy** 93: 72-79.

Sittipong, P. and P. Namprakai. 2012. The energy consumption performance of roof lawn gardens in Thailand.**Renewable Energy** 40: 98-103.

Shariah, A., B. Tashtoush and A. Rousan. 1997. Cooling and heating loads in residential buildings in Jordan. **Energy and Buildings** 26: 137-143.

Shengwei W. and Y. Chen. 2001. A novel and simple building load calculation model for building and system dynamic simulation. **Applied Thermal Eng.** 21: 683-702.

Spitler, J.D. 2009.**Load Calculation Applications Manual.** ASHRAE, USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Spitler, J.D. and D.E.Fisher. 1999.Development of periodic response factors for use with the radiant time series method. **ASHRAE Transactions** 105: 491-509

Spitler, J.D., D.E.Fisher and C.O.Pedersen. 1997. The radiant time series cooling load calculation procedure**. ASHRAE Transactions** 103: 503-515.

Zulkarnian, H. and S.N. Harun. 2013.Preservation of Malay Singgora Roof.**Procedia Environmental Sci.** 17: 729-738.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวกก

แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากไฟส่องสว่างตามประเภทการใช้งาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ก1แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากไฟส่องสว่างตามประเภทการใช้งาน

Common Space Types	**LPD,** W/ft^2	**Building-Specific Space Types**	**LPD,** W/ft^2
Office—enclosed	1.1	Gymnasium/exercise center	
Office—open plan	1.1	Playing Area	1.4
Conference/meeting/multipurpose	1.3	Exercise Area	0.9
Classroom/lecture/training	1.4	Courthouse/police station/penitentiary	
For penitentiary	1.3	Courtroom	1.9
Lobby	1.3	Confinement cells	0.9
For hotel	1.1	Judges' chambers	1.3
For performing arts theater	3.3	Fire Stations	
For motion picture theater	1.1	Engine room	0.8
Audience/seating Area	0.9	Sleeping quarters	0.3
For gymnasium	0.4	Post office—sorting area	1.2
For exercise center	0.3	Convention center—exhibit space	1.3
For convention center	0.7	Library	
For penitentiary	0.7	Card file and cataloging	1.1
For religious buildings	1.7	Stacks	1.7
For sports arena	0.4	Reading area	1.2
For performing arts theater	2.6	Hospital	
For motion picture theater	1.2	Emergency	2.7
For transportation	0.5	Recovery	0.8
Atrium—first three floors	0.6	Nurses' station	1
Atrium—each additional floor	0.2	Exam/treatment	1.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Common Space Types	LPD, W/ft^2	Building-Specific Space Types	LPD, W/ft^2
Lounge/recreation	1.2	Pharmacy	1.2
For hotel	1.3	Medical supply	1.4
For motel	1.2	Physical therapy	0.9
For bar lounge/leisure dining	1.4	Radiology	0.4
For family dining	2.1	Laundry—washing	0.6
Food preparation	1.2	Automotive—service/repair	0.7
Laboratory	1.4	Manufacturing	
Restrooms	0.9	Low bay (<25 ft floor to ceiling height)	1.2
Dressing/locker/fitting room	0.6	High bay (≥25 ft7.6 m floor to ceiling height)	1.7
Corridor/transition	0.5	Detailed manufacturing	2.1
For hospital	1	Equipment room	1.2
For manufacturing facility	0.5	Control room	0.5
Stairs—active	0.6	Hotel/motel guest rooms	1.1
Active storage	0.8	Dormitory—living quarters	1.1
For hospital	0.9	Museum	
Inactive storage	0.3	General exhibition	1.0
For museum	0.8	Restoration	1.7
Electrical/mechanical	1.5	Bank/office—banking activity area	1.5
Workshop	1.9	Religious buildings	
Sales area	1.7	Worship pulpit, choir	2.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Common Space Types	LPD, W/ft^2	Building-Specific Space Types	LPD, W/ft^2
		Fellowship hall	0.9
		Retail	
		Sales area for accent lighting, see Section 9.6.3(C) of ASHRAE *Standard* 90.1]	1.7
		Mall concourse	1.7
		Sports arena	
		Ring sports area	2.7
		Court sports area	2.3
		Indoor playing field area	1.4
		Warehouse	
		Fine material storage	1.4
		Medium/bulky material storage	0.9
		Parking garage—garage area	0.2
		Transportation	
		Airport—concourse	0.6
		Air/train/bus—baggage area	1.0
		Terminal—ticket counter	1.5

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 อัตราส่วนการพาความร้อนและการแผ่รังสีจากไฟส่องสว่างตามประเภทแหล่งกำเนิด

Luminaire Category	Space Fraction	Radiative Fraction
Recessed fluorescent luminaire without lens	0.64 to 0.74	0.48 to 0.68
Recessed fluorescent luminaire with lens	0.40 to 0.50	0.61 to 0.73
Downlight compact fluorescent luminaire	0.12 to 0.24	0.95 to 1.0
Downlight incandescent luminaire	0.70 to 0.80	0.95 to 1.0
Non-in-ceiling fluorescent luminaire	1.0	0.5 to 0.57

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

Degree of Activity	Location	Total Heat, Btu/h		Sensible Heat,Btu/h	Latent Heat,Btu/h	% Sensible Heat that is Radiant	
		AdultMale	Adjusted,M/F			Low *V*	High *V*
Seated at theater	Theater, matinee	390	330	225	105		
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	105	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	550	450	250	200	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	250		
Sedentary work	Restaurant	490	550	275	275		
Light bench work	Factory	800	750	275	475		
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545	49	35
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625		
Bowling	Bowling alley	15000	1450	580	870		
Heavy work	Factory	15000	1450	580	870	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข (ต่อ)

Degree of Activity	**Location**	**Total Heat, Btu/h**		**Sensible Heat,Btu/h**	**Latent Heat,Btu/h**	**% Sensible Heat that is Radiant**	
		AdultMale	**Adjusted,M/F**			**Low *V***	**High *V***
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090		

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทไม่ใช้เครื่องดูดควัน

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h				Usage Factor *Fu*	Radiation Factor *Fr*
	Rated	Standby	Sensible Radiant	Sensible Convective	Latent	Total		
Cabinet: hot serving (large), insulated*	6800	1200	400	800	0	1200	0.18	0.33
Cabinet: hot serving (large), uninsulated	6800	3500	700	2800	0	3500	0.51	0.2
Cabinet: proofing (large)*	17400	1400	1200	0	200	1499	0.08	0.86
Cabinet: proofing (small-15 shelf)	14300	3900	0	900	3000	3900	0.27	0
Coffee brewing urn	13000	1200	200	300	700	1200	0.09	0.17
Drawer warmers, 2-drawer (moist holding)*	4100	500	0	0	200	200	0.12	0
Egg cooker	10900	700	300	400	0	700	0.06	0.43
Espresso machine*	8200	1200	400	800	0	1200	0.15	0.33
Food warmer: steam table (2-well-type)	5100	3500	300	600	2600	3500	0.69	0.09
Freezer (small)	2700	1100	500	600	0	1100	0.41	0.45
Hot dog roller*	3400	2400	900	1500	0	2400	0.71	0.38
Hot plate: single burner, high speed	3800	3000	900	2100	0	3000	0.79	0.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h				Usage Factor *Fu*	Radiation Factor *Fr*
	Rated	Standby	Sensible Radiant	Sensible Convective	Latent	Total		
Hot-food case (dry holding)*	31100	2500	900	1600	0	2500	0.08	0.36
Hot-food case (moist holding)*	31100	3300	900	1800	600	3300	0.11	0.27
Microwave oven: commercial (heavy duty)	10900	0	0	0	0	0	0	0
Oven: countertop conveyorized bake/finishing*	20500	12600	2200	10400	0	12600	0.61	0.17
Panini*	5800	3200	1200	2000	0	3200	0.55	0.38
Popcorn popper*	2000	200	100	100	0	200	0.1	0.5
Rapid-cook oven (quartz-halogen)*	41000	0	0	0	0	0	0	0
Rapid-cook oven (microwave/convection)*	24900	4100	1000	3100	0	1000	0.16	0.24
Reach-in refrigerator*	4800	1200	300	900	0	1200	0.25	0.25
Refrigerated prep table*	2000	900	600	300	0	900	0.45	0.67
Steamer (bun)	5100	700	600	100	0	700	0.14	0.86
Toaster: 4-slice pop up (large): cooking	6100	3000	200	1400	1000	2600	0.49	0.07

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h				Usage Factor *Fu*	Radiation Factor *Fr*
	Rated	Standby	Sensible Radiant	Sensible Convective	Latent	Total		
Toaster: contact (vertical)	11300	5300	2700	2600	0	5300	0.47	0.51
Toaster: conveyor (large)	32800	10300	3000	7300	0	10300	0.31	0.29
Toaster: small conveyor	5900	3700	400	3300	0	3700	0.64	0.11
Waffle iron	3100	1200	800	400	0	1200	0.39	0.67

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค2 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทใช้เครื่องดูดควัน

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h	Usage Factor *Fu*	Radiation Factor *Fr*
	Rated	Standby	Sensible Radiant		
Broiler: underfired 3 ft	36900	30900	10800	0.84	0.35
Cheesemelter*	12300	11900	4600	0.97	0.39
Fryer: kettle	99000	1800	500	0.02	0.28
Fryer: open deep-fat, 1-vat	47800	2800	1000	0.06	0.36
Fryer: pressure	46100	2700	500	0.06	0.19
Griddle: double sided 3 ft (clamshell down)*	72400	6900	1400	0.1	0.2
Griddle: double sided 3 ft (clamshell up)*	72400	11500	3600	0.16	0.31
Griddle: flat 3 ft	58400	11500	4500	0.2	0.39
Griddle-small 3 ft*	30700	6100	2700	0.2	0.44
Induction cooktop*	71700	0	0	0	0
Induction wok*	11900	0	0	0	0
Oven: combi: combi-mode*	56000	5500	800	0.1	0.15
Oven: combi: convection mode	56000	5500	1400	0.1	0.25
Oven: convection full-size	41300	6700	1500	0.16	0.22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h	Usage Factor *Fu*	Radiation Factor *Fr*
	Rated	**Standby**	**Sensible Radiant**		
Oven: convection half-size*	18800	3700	500	0.2	0.14
Pasta cooker*	75100	8500	0	0.11	0
Range top: top off/oven on*	16600	4000	1000	0.24	0.25
Range top: 3 elements on/oven off	51200	15400	6300	0.3	0.41
Range top: 6 elements on/oven off	51200	33200	13900	0.65	0.42
Range top: 6 elements on/oven on	67800	36400	14500	0.54	0.4
Range: hot-top	54000	51300	11800	0.95	0.23
Rotisserie*	37900	13800	4500	0.36	0.33
Salamander*	23900	23300	7000	0.97	0.3
Steam kettle: large (60 gal) simmer lid down*	110600	2600	100	0.02	0.04
Steam kettle: small (40 gal) simmer lid down*	73700	1800	300	0.02	0.17
Steamer: compartment: atmospheric*	33400	15300	200	0.46	0.01
Tilting skillet/braising pan	32900	5300	0	0.16	0

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค3 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทใช้ก๊าซ และเครื่องดูดควัน

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h	Usage Factor	Radiation Factor
	Rated	Standby	Sensible Radiant	*Fu*	*Fr*
Broiler: batch*	95000	96200	8100	0.73	0.12
Broiler: chain (conveyor)	132000	96700	13200	0.73	0.14
Broiler: overfired (upright)*	100000	87900	2500	0.88	0.03
Broiler: underfired 3 ft	96000	73900	9000	0.77	0.12
Fryer: doughnut	44000	12400	2900	0.28	0.23
Fryer: open deep-fat, 1 vat	80000	4700	1100	0.06	0.23
Fryer: pressure	80000	9000	800	0.11	0.09
Griddle: double sided 3 ft (clamshell down)*	108200	8000	1800	0.07	0.23
Griddle: double sided 3 ft (clamshell up)*	108200	14700	4900	0.14	0.33
Griddle: flat 3 ft	90000	20400	3700	0.23	0.18
Oven: combi: combi-mode*	75700	6000	400	0.08	0.07
Oven: combi: convection mode	75700	5800	1000	0.08	0.17
Oven: convection full-size	44000	11900	1000	0.27	0.08
Oven: conveyor (pizza)	170000	68300	7800	0.4	0.11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h	Usage Factor	Radiation Factor
	Rated	**Standby**	**Sensible Radiant**	***Fu***	***Fr***
Oven: deck	105000	20500	3500	0.2	0.17
Oven: rack mini-rotating*	56300	4500	1100	0.08	0.24
Pasta cooker*	80000	23700	0	0.3	0
Range top: top off/oven on*	25000	7400	2000	0.3	0.27
Range top: 3 burners on/oven off	120000	60100	7100	0.5	0.12
Range top: 6 burners on/oven off	120000	120800	11500	1.01	0.1
Range top: 6 burners on/oven on	145000	122900	13600	0.85	0.11
Range: wok*	99000	87400	5200	0.88	0.06
Rethermalizer*	90000	23300	11500	0.26	0.49
Rice cooker*	35000	500	300	0.01	0.6
Salamander*	35000	33300	5300	0.95	0.16
Steam kettle: large (60 gal) simmer lid down*	145000	5400	0	0.04	0
Steam kettle: small (10 gal) simmer lid down*	52000	3300	300	0.06	0.09
Steam kettle: small (40 gal) simmer lid down	100000	4300	0	0.04	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h	Usage Factor	Radiation Factor
	Rated	**Standby**	**Sensible Radiant**	***Fu***	***Fr***
Oven: deck	105000	20500	3500	0.2	0.17
Steamer: compartment: atmospheric *	26000	8300	0	0.32	0
Tilting skillet/braising pan	104000	10400	400	0.1	0.04

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค4 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทใช้เชื้อเพลิงแข็ง และเครื่องดูดควัน

Appliance	Energy Rate, Btu/h	Rate of Heat Gain ,Btu/h		Usage Factor	Radiation Factor
	Rated	Standby	Sensible	*Fu*	*Fr*
Broiler: solid fuel: charcoal	40 lb	42000	6200	N/A	0.15
Broiler: solid fuel: wood(mesquite)*	40 lb	49600	7000	N/A	0.14

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค5 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในครัว ประเภทอุปกรณ์ซักล้าง

Appliance	Energy Rate, Btu/h		Rate of Heat Gain, Btu/h					Usage Factor *Fu*	Radiation Factor *Fr*
			Unhooded				Hooded		
	Rated	Standby/ Washing	Sensible Radiant	Sensible Convective	Latent	Total	Sensible Radiant		
Dishwasher (conveyor type, chemicalsanitizing)	46800	5700/43,600	0	4450	13490	17940	0	0.36	0
Dishwasher (conveyor type, hot-watersanitizing) standby	46800	5700/N/A	0	4750	16970	21720	0	N/A	0
Dishwasher (door-type, chemicalsanitizing) washing	18400	1200/13,300	0	1980	2790	4770	0	0.26	0
Dishwasher (door-type, hot-watersanitizing) washing	18400	1200/13,300	0	1980	2790	4770	0	0.26	0
Dishwasher* (under-counter type,chemical sanitizing) standby	26600	1200/18,700	0	2280	4170	6450	0	0.35	0
Dishwasher* (under-counter type, hotwatersanitizing) standby	26600	1700/19,700	800	1040	3010	4850	800	0.27	0.34
Booster heater*	130000	0	500	0	0	0	500	0	N/A

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค6 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนทางการแพทย์

Equipment	Nameplate, W	Peak, W	Average, W
Anesthesia system	250	177	166
Blanket warmer	500	504	221
Blood pressure meter	180	33	29
Blood warmer	360	204	114
ECG/RESP	1440	54	50
Electrosurgery	1000	147	109
Endoscope	1688	605	596
Harmonical scalpel	230	60	59
Hysteroscopic pump	180	35	34
Laser sonics	1200	256	229
Optical microscope	330	65	63
Pulse oximeter	72	21	20
Stress treadmill	N/A	198	173
Ultrasound system	1800	1063	1050
Vacuum suction	612	337	302
X-ray system	968	-	82
	1725	534	480
	2070	-	18

ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค7 แสดงข้อมูลภาระทำความเย็นจากอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในห้องปฏิบัติการ

Equipment	Nameplate, W	Peak, W	Average, W
Analytical balance	7	7	7
Centrifuge	138	89	87
	288	136	132
	5500	1176	730
Electrochemical analyzer	50	45	44
	100	85	84
Flame photometer	180	107	105
Fluorescent microscope	150	144	143
	200	205	178
Function generator	58	29	29
Incubato	515	461	451
	600	479	264
	3125	1335	1222
Orbital shaker	100	16	16
Oscilloscope	72	38	38
	345	99	97
Rotary evaporator	75	74	73
	94	29	28
Spectronics	36	31	31
Spectrophotometer	575	106	104
	200	122	121
	N/A	127	125
Spectro fluorometer	340	405	395
Thermocycler	1840	965	641
	N/A	233	198
Tissue culture	475	132	46

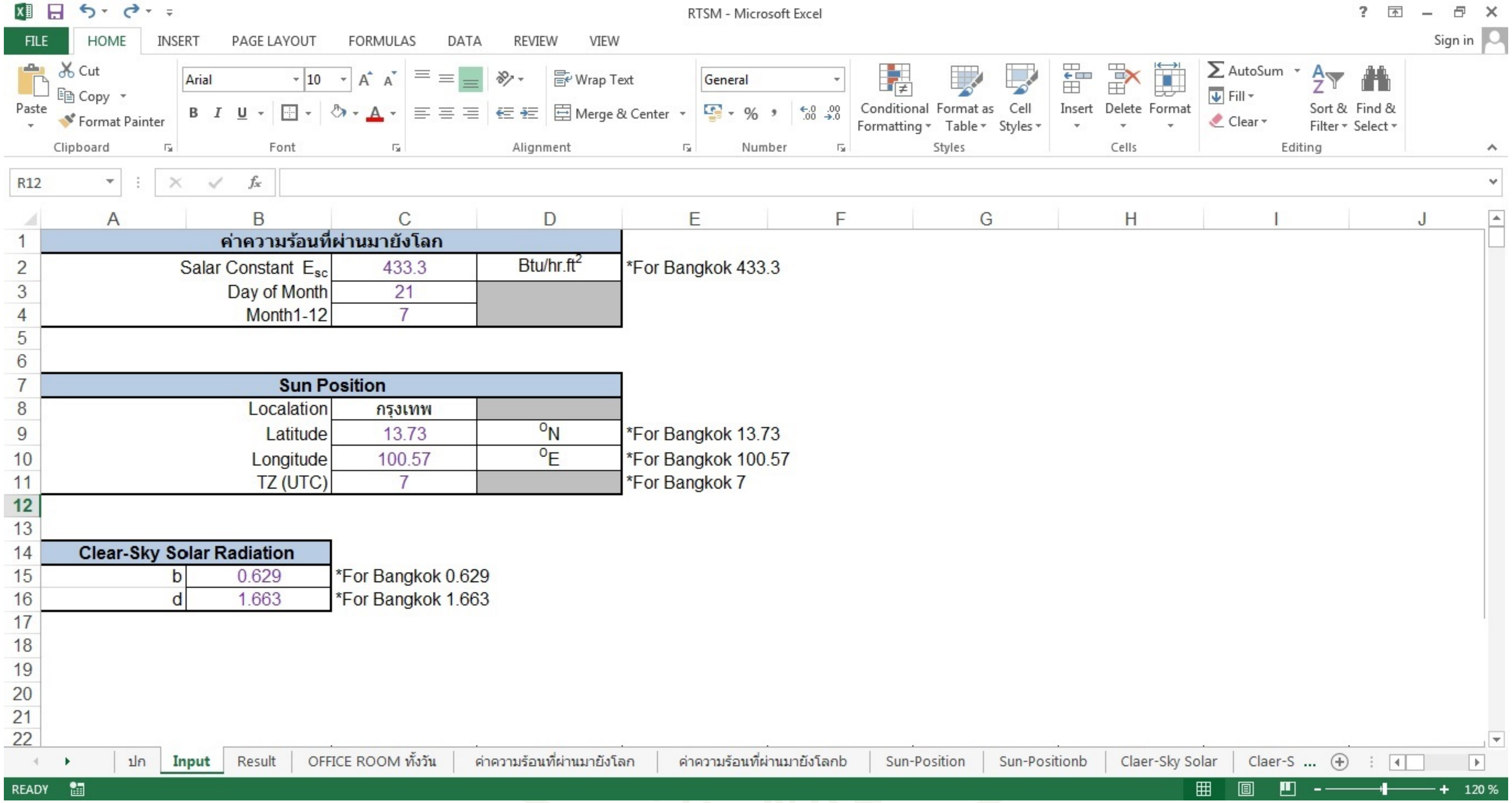
ที่มา: Spitler(2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ง

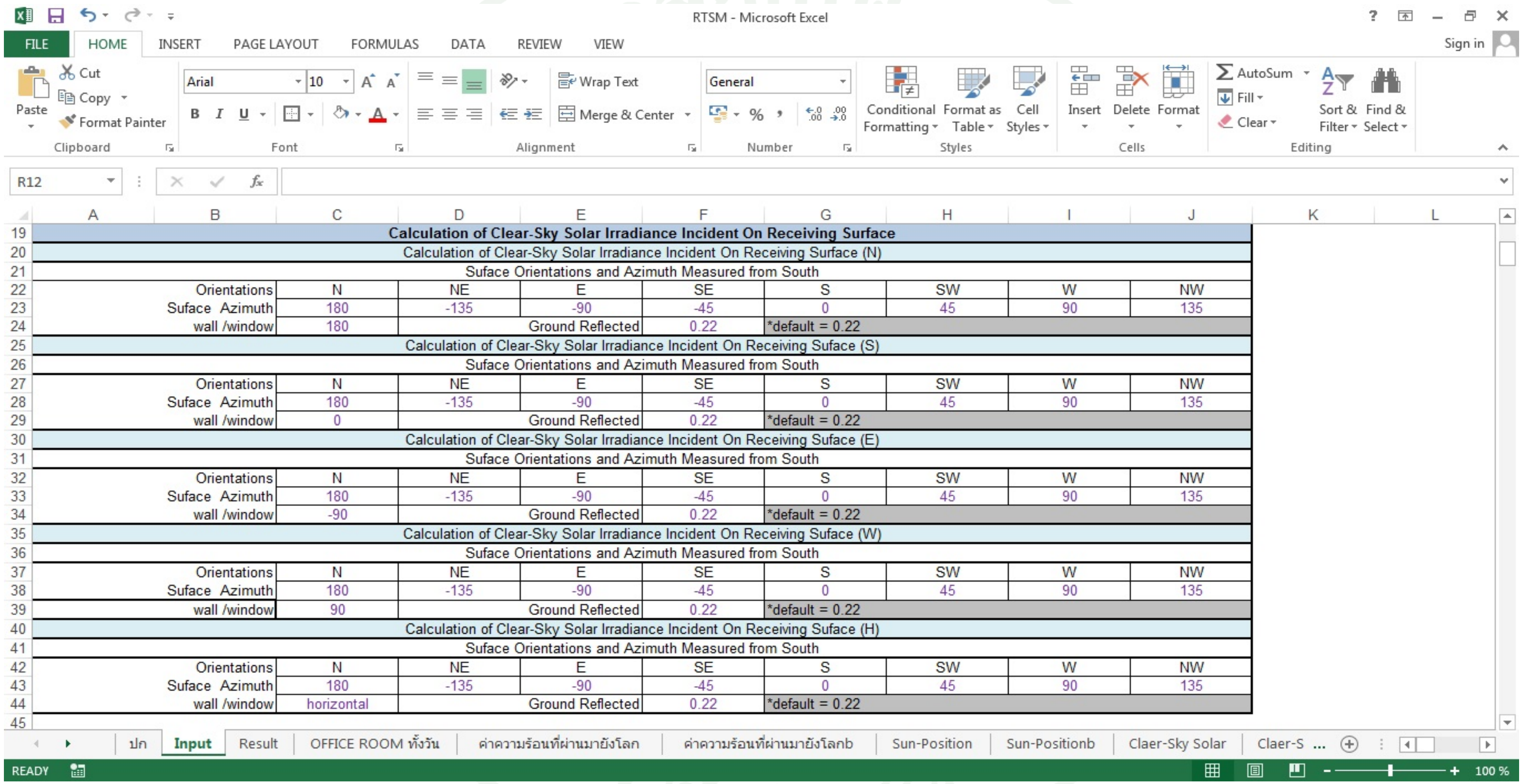
แสดงการใส่ข้อมูลและผลการคำนวณภาระทำความเย็นจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง1 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 1

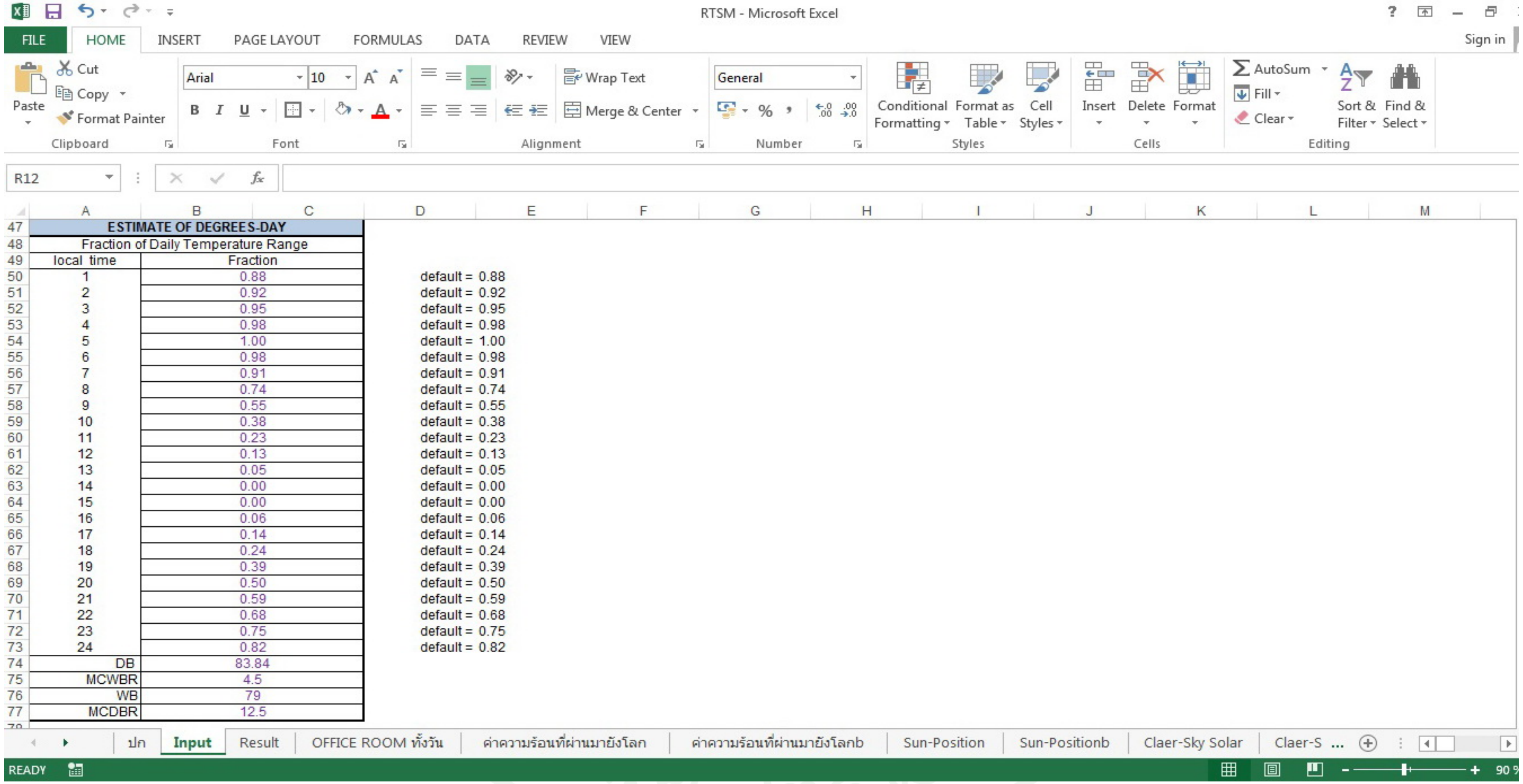
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



Calculation of Clear-Sky Solar Irradiance Incident On Receiving Surface								
Calculation of Clear-Sky Solar Irradiance Incident On Receiving Suface (N)								
Suface Orientations and Azimuth Measured from South								
Orientations	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Suface Azimuth	180	-135	-90	-45	0	45	90	135
wall /window	180		Ground Reflected	0.22	*default = 0.22			
Calculation of Clear-Sky Solar Irradiance Incident On Receiving Suface (S)								
Suface Orientations and Azimuth Measured from South								
Orientations	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Suface Azimuth	180	-135	-90	-45	0	45	90	135
wall /window	0		Ground Reflected	0.22	*default = 0.22			
Calculation of Clear-Sky Solar Irradiance Incident On Receiving Suface (E)								
Suface Orientations and Azimuth Measured from South								
Orientations	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Suface Azimuth	180	-135	-90	-45	0	45	90	135
wall /window	-90		Ground Reflected	0.22	*default = 0.22			
Calculation of Clear-Sky Solar Irradiance Incident On Receiving Suface (W)								
Suface Orientations and Azimuth Measured from South								
Orientations	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Suface Azimuth	180	-135	-90	-45	0	45	90	135
wall /window	90		Ground Reflected	0.22	*default = 0.22			
Calculation of Clear-Sky Solar Irradiance Incident On Receiving Suface (H)								
Suface Orientations and Azimuth Measured from South								
Orientations	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Suface Azimuth	180	-135	-90	-45	0	45	90	135
wall /window	horizontal		Ground Reflected	0.22	*default = 0.22			

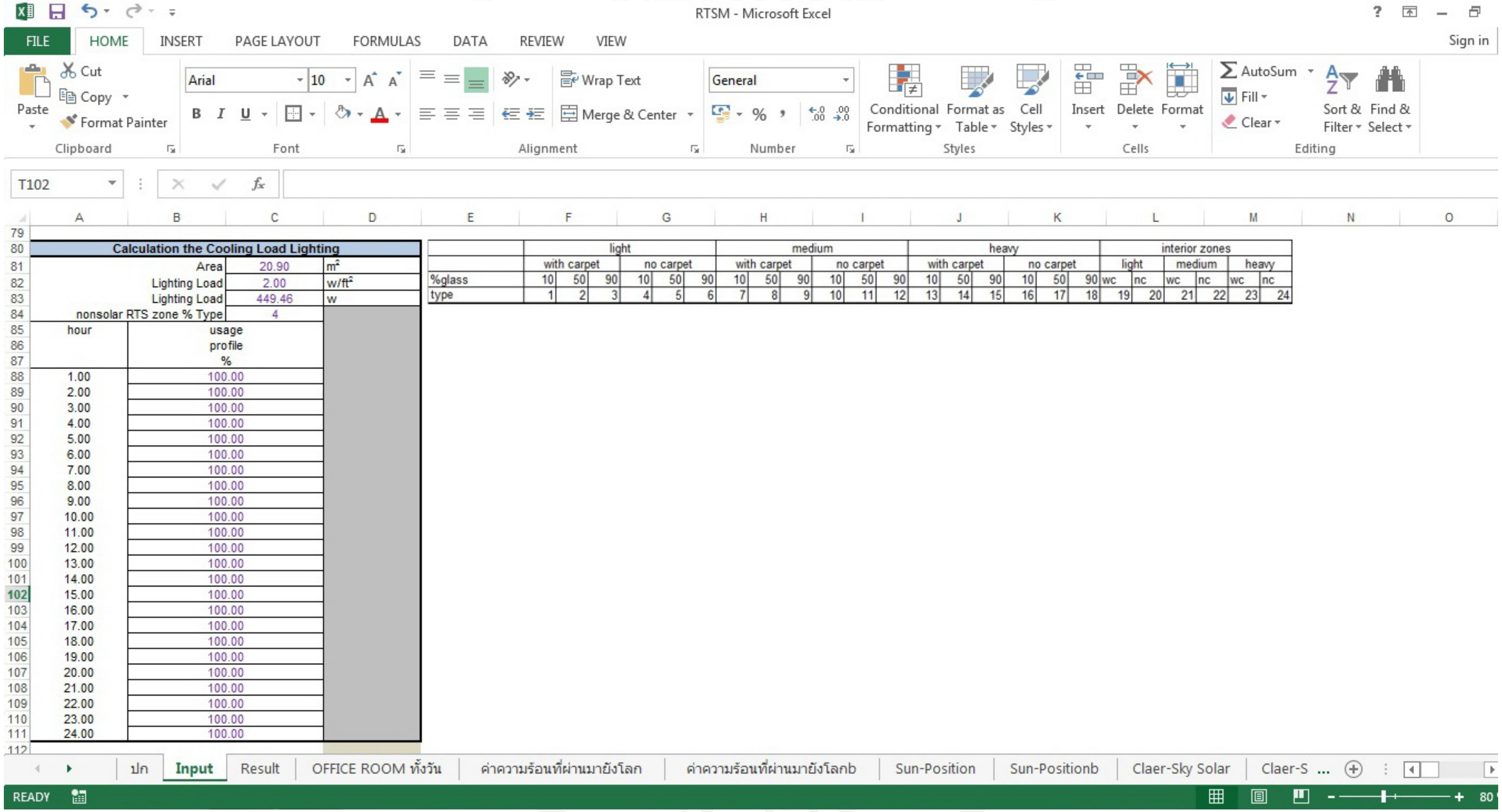
ภาพผนวกที่ ง2 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



	ESTIMATE OF DEGREES-DAY	
	Fraction of Daily Temperature Range	
local time	Fraction	
1	0.88	default = 0.88
2	0.92	default = 0.92
3	0.95	default = 0.95
4	0.98	default = 0.98
5	1.00	default = 1.00
6	0.98	default = 0.98
7	0.91	default = 0.91
8	0.74	default = 0.74
9	0.55	default = 0.55
10	0.38	default = 0.38
11	0.23	default = 0.23
12	0.13	default = 0.13
13	0.05	default = 0.05
14	0.00	default = 0.00
15	0.00	default = 0.00
16	0.06	default = 0.06
17	0.14	default = 0.14
18	0.24	default = 0.24
19	0.39	default = 0.39
20	0.50	default = 0.50
21	0.59	default = 0.59
22	0.68	default = 0.68
23	0.75	default = 0.75
24	0.82	default = 0.82
DB	83.84	
MCWBR	4.5	
WB	79	
MCDBR	12.5	

ภาพผนวกที่ ง3 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 3

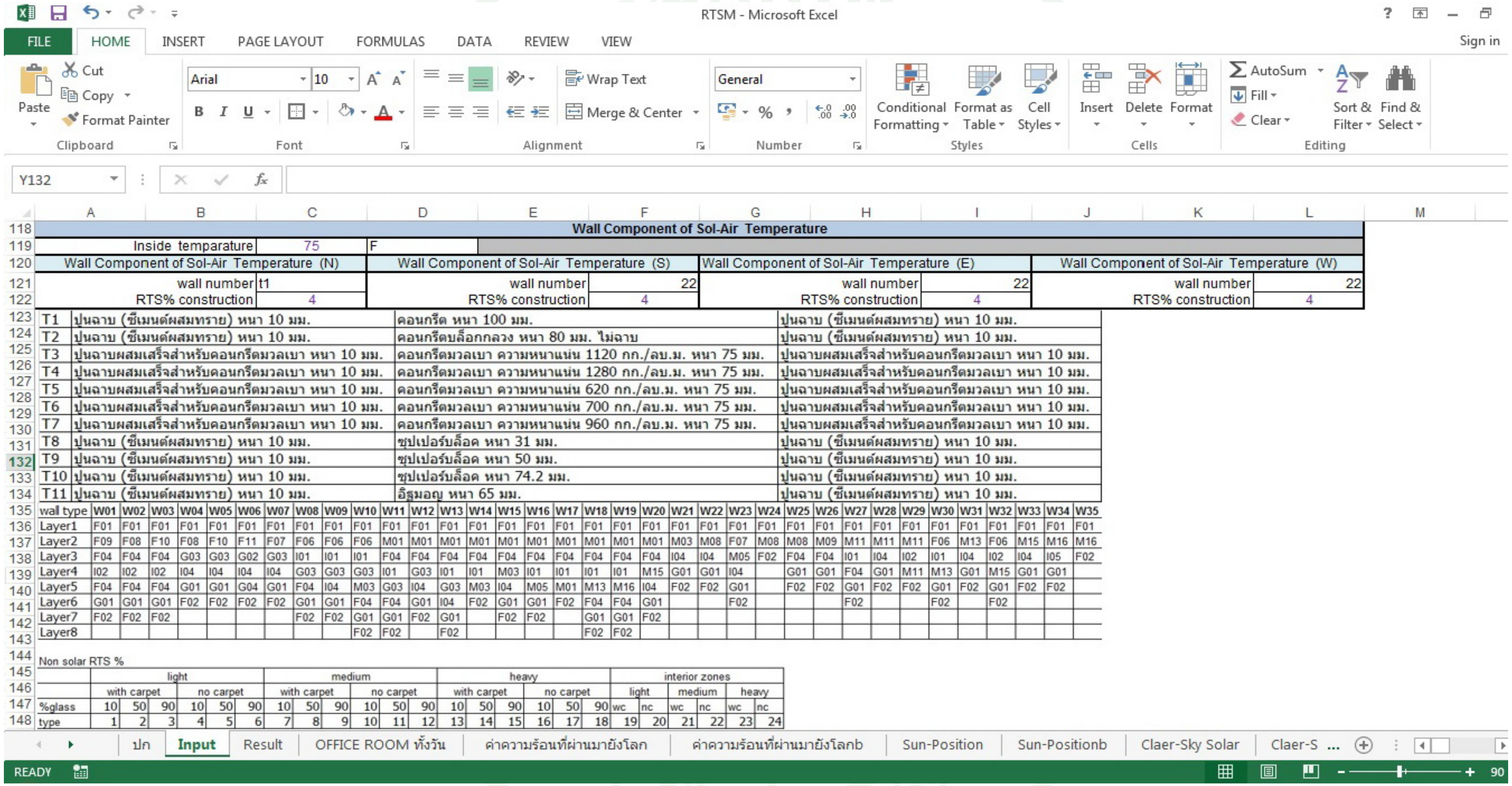


Calculation the Cooling Load Lighting		
Area	20.90	m²
Lighting Load	2.00	w/ft²
Lighting Load	449.46	w
nonsolar RTS zone % Type	4	
hour	usage profile %	
1.00	100.00	
2.00	100.00	
3.00	100.00	
4.00	100.00	
5.00	100.00	
6.00	100.00	
7.00	100.00	
8.00	100.00	
9.00	100.00	
10.00	100.00	
11.00	100.00	
12.00	100.00	
13.00	100.00	
14.00	100.00	
15.00	100.00	
16.00	100.00	
17.00	100.00	
18.00	100.00	
19.00	100.00	
20.00	100.00	
21.00	100.00	
22.00	100.00	
23.00	100.00	
24.00	100.00	

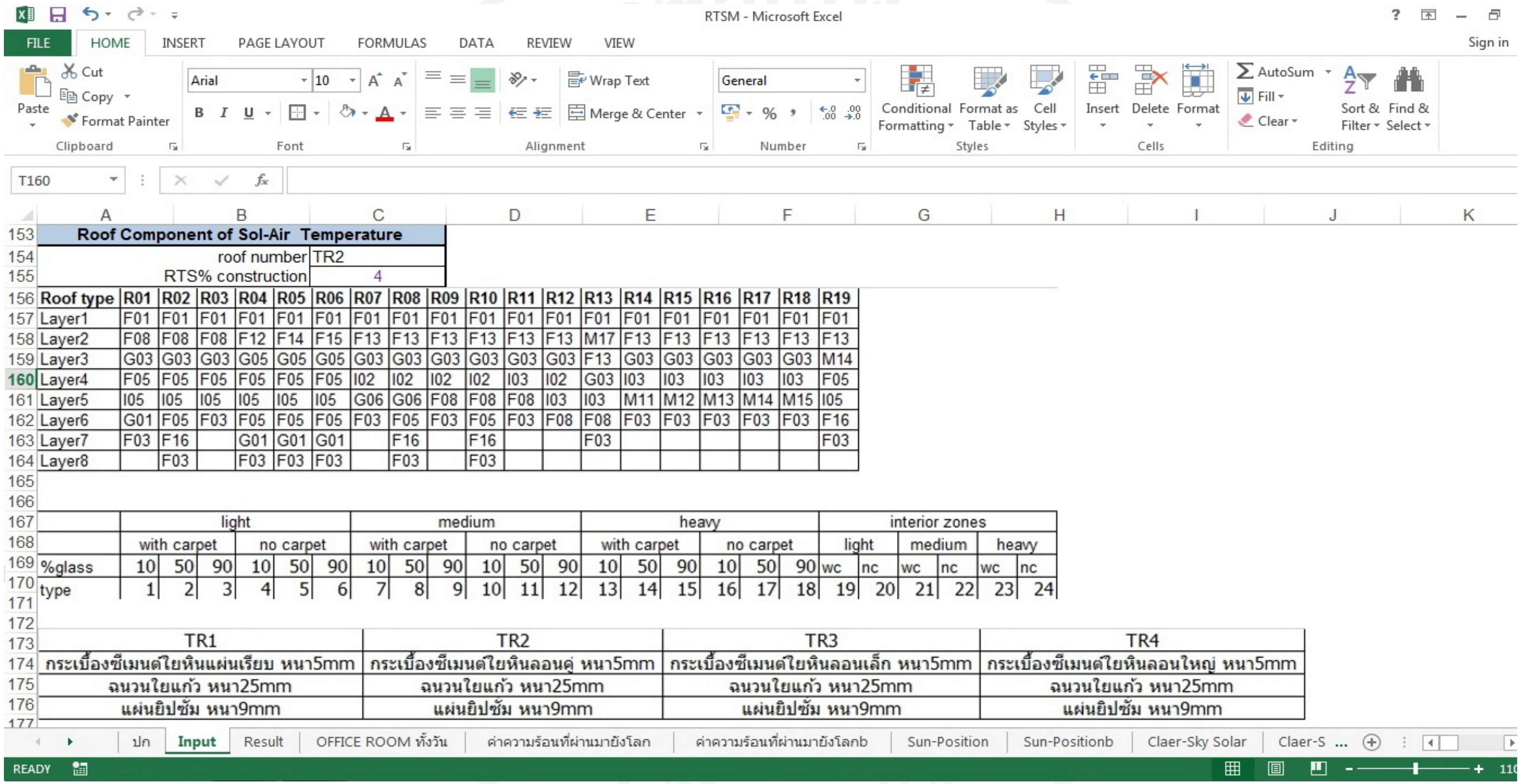
	light						medium						heavy						interior zones					
	with carpet			no carpet			with carpet			no carpet			with carpet			no carpet			light		medium		heavy	
%glass	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	wc	nc	wc	nc	wc	nc
type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

ภาพผนวกที่ ง4 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง5 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 5



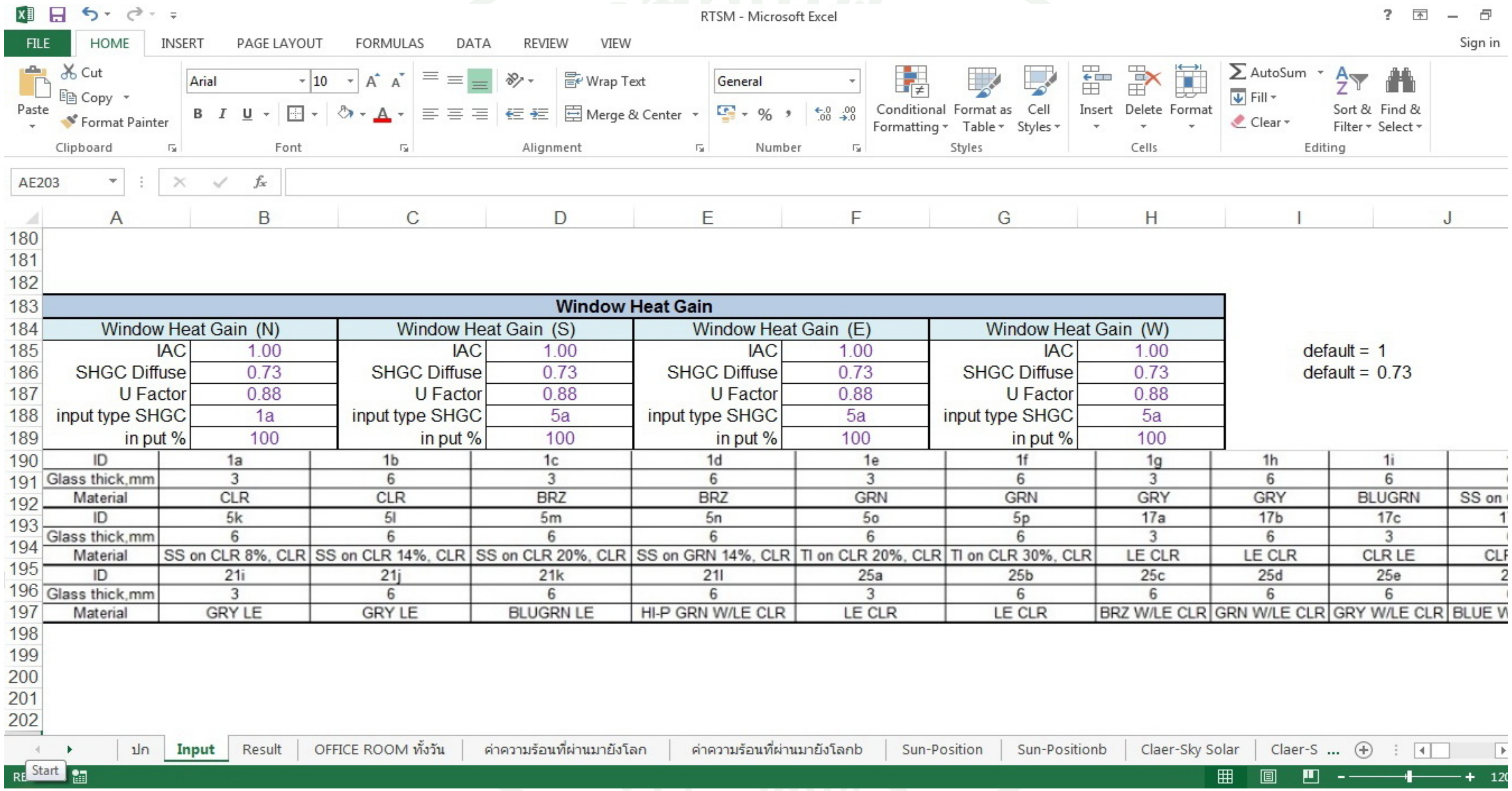
Roof Component of Sol-Air Temperature			
	roof number	TR2	
	RTS% construction	4	

Roof type	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19
Layer1	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01
Layer2	F08	F08	F08	F12	F14	F15	F13	F13	F13	F13	F13	F13	M17	F13	F13	F13	F13	F13	F13
Layer3	G03	G03	G03	G05	G05	G05	G03	G03	G03	G03	G03	G03	F13	G03	G03	G03	G03	G03	M14
Layer4	F05	F05	F05	F05	F05	F05	I02	I02	I02	I02	I03	I02	G03	I03	I03	I03	I03	I03	F05
Layer5	I05	I05	I05	I05	I05	I05	G06	G06	F08	F08	F08	I03	I03	M11	M12	M13	M14	M15	I05
Layer6	G01	F05	F03	F05	F05	F05	F03	F05	F03	F05	F03	F08	F08	F03	F03	F03	F03	F03	F16
Layer7	F03	F16		G01	G01	G01		F16		F16			F03						F03
Layer8		F03		F03	F03	F03		F03		F03									

	light						medium						heavy						interior zones					
	with carpet			no carpet			with carpet			no carpet			with carpet			no carpet			light		medium		heavy	
%glass	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	wc	nc	wc	nc	wc	nc
type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

TR1	TR2	TR3	TR4
กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ หนา5mm	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่ หนา5mm	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนเล็ก หนา5mm	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่ หนา5mm
ฉนวนใยแก้ว หนา25mm	ฉนวนใยแก้ว หนา25mm	ฉนวนใยแก้ว หนา25mm	ฉนวนใยแก้ว หนา25mm
แผ่นยิปซัม หนา9mm	แผ่นยิปซัม หนา9mm	แผ่นยิปซัม หนา9mm	แผ่นยิปซัม หนา9mm

ภาพผนวกที่ ง6 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 6

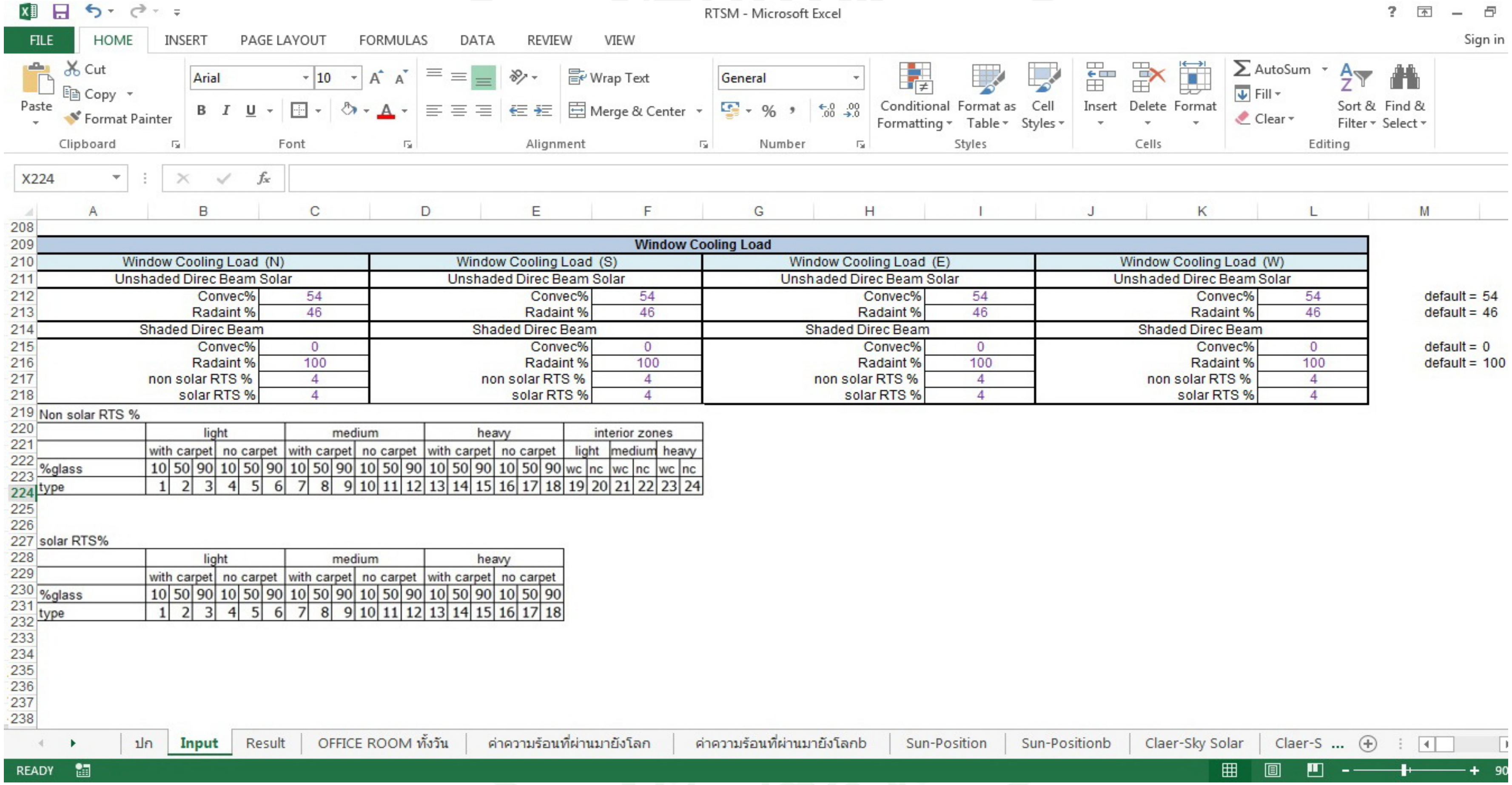


Window Heat Gain							
Window Heat Gain (N)		Window Heat Gain (S)		Window Heat Gain (E)		Window Heat Gain (W)	
IAC	1.00	IAC	1.00	IAC	1.00	IAC	1.00
SHGC Diffuse	0.73	SHGC Diffuse	0.73	SHGC Diffuse	0.73	SHGC Diffuse	0.73
U Factor	0.88	U Factor	0.88	U Factor	0.88	U Factor	0.88
input type SHGC	1a	input type SHGC	5a	input type SHGC	5a	input type SHGC	5a
in put %	100	in put %	100	in put %	100	in put %	100

default = 1
default = 0.73

ID	1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	1h	1i	[illegible]
Glass thick,mm	3	6	3	6	3	6	3	6	6	[illegible]
Material	CLR	CLR	BRZ	BRZ	GRN	GRN	GRY	GRY	BLUGRN	SS on
ID	5k	5l	5m	5n	5o	5p	17a	17b	17c	1
Glass thick,mm	6	6	6	6	6	6	3	6	3	[illegible]
Material	SS on CLR 8%, CLR	SS on CLR 14%, CLR	SS on CLR 20%, CLR	SS on GRN 14%, CLR	TI on CLR 20%, CLR	TI on CLR 30%, CLR	LE CLR	LE CLR	CLR LE	CLF
ID	21i	21j	21k	21l	25a	25b	25c	25d	25e	2
Glass thick,mm	3	6	6	6	3	6	6	6	6	[illegible]
Material	GRY LE	GRY LE	BLUGRN LE	HI-P GRN W/LE CLR	LE CLR	LE CLR	BRZ W/LE CLR	GRN W/LE CLR	GRY W/LE CLR	BLUE W

ภาพผนวกที่ ง7 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 7



Window Cooling Load								
Window Cooling Load (N)		Window Cooling Load (S)		Window Cooling Load (E)		Window Cooling Load (W)		
Unshaded Direc Beam Solar		Unshaded Direc Beam Solar		Unshaded Direc Beam Solar		Unshaded Direc Beam Solar		
Convec%	54	Convec%	54	Convec%	54	Convec%	54	default = 54
Radaint %	46	Radaint %	46	Radaint %	46	Radaint %	46	default = 46
Shaded Direc Beam		Shaded Direc Beam		Shaded Direc Beam		Shaded Direc Beam		
Convec%	0	Convec%	0	Convec%	0	Convec%	0	default = 0
Radaint %	100	Radaint %	100	Radaint %	100	Radaint %	100	default = 100
non solar RTS %	4	non solar RTS %	4	non solar RTS %	4	non solar RTS %	4	
solar RTS %	4	solar RTS %	4	solar RTS %	4	solar RTS %	4	

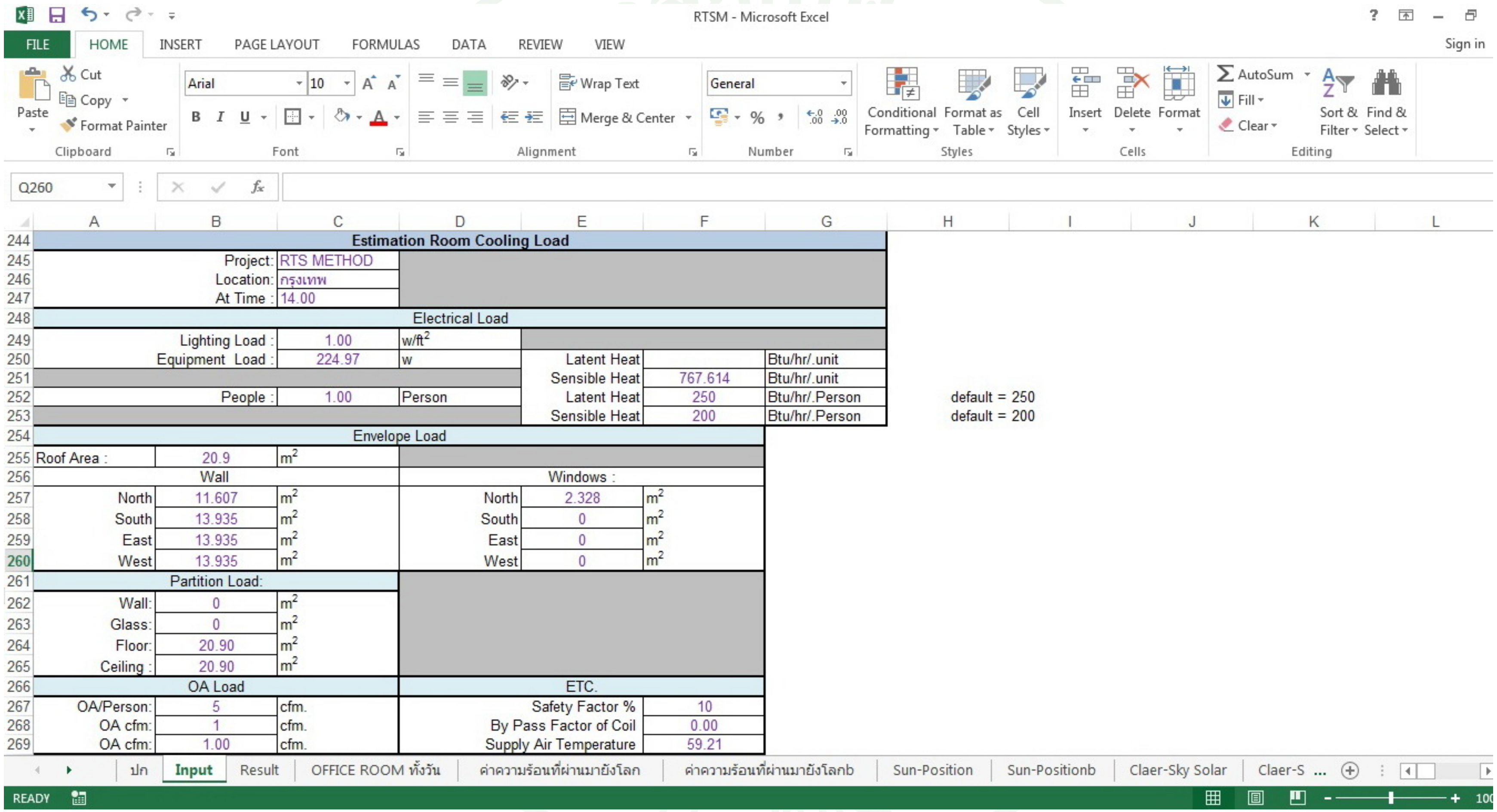
Non solar RTS %

	light						medium						heavy						interior zones					
	with carpet			no carpet			with carpet			no carpet			with carpet			no carpet			light		medium		heavy	
%glass	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	wc	nc	wc	nc	wc	nc
type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

solar RTS%

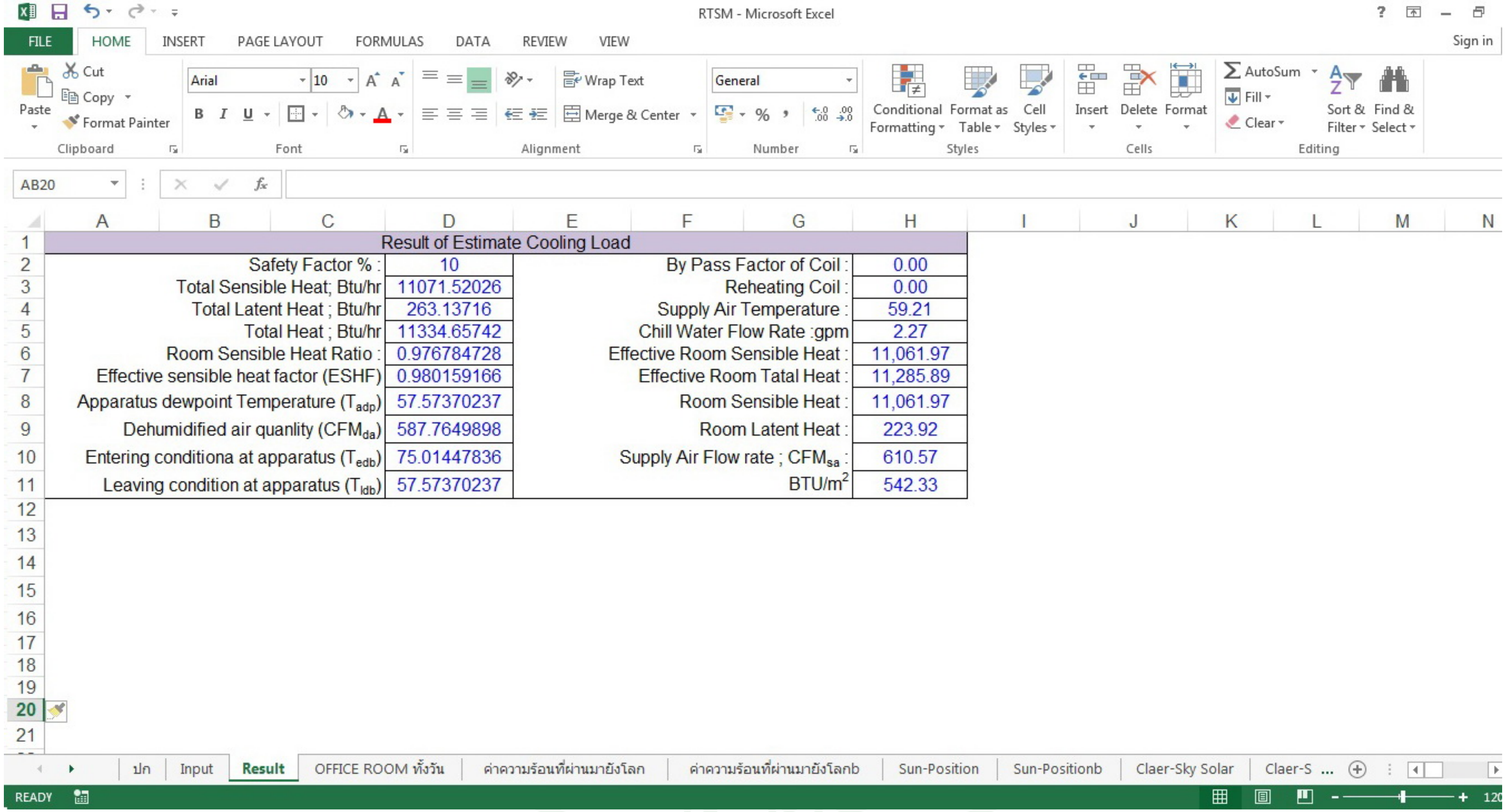
	light						medium						heavy					
	with carpet			no carpet			with carpet			no carpet			with carpet			no carpet		
%glass	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90
type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

ภาพผนวกที่ ง8 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 8



Estimation Room Cooling Load						
Project:	RTS METHOD					
Location:	กรุงเทพ					
At Time :	14.00					
Electrical Load						
Lighting Load :	1.00	w/ft^2				
Equipment Load :	224.97	w	Latent Heat		Btu/hr/.unit	
			Sensible Heat	767.614	Btu/hr/.unit	
People :	1.00	Person	Latent Heat	250	Btu/hr/.Person	default = 250
			Sensible Heat	200	Btu/hr/.Person	default = 200
Envelope Load						
Roof Area :	20.9	m^2				
Wall			Windows :			
North	11.607	m^2	North	2.328	m^2	
South	13.935	m^2	South	0	m^2	
East	13.935	m^2	East	0	m^2	
West	13.935	m^2	West	0	m^2	
Partition Load:						
Wall:	0	m^2				
Glass:	0	m^2				
Floor:	20.90	m^2				
Ceiling :	20.90	m^2				
OA Load			ETC.			
OA/Person:	5	cfm.	Safety Factor %	10		
OA cfm:	1	cfm.	By Pass Factor of Coil	0.00		
OA cfm:	1.00	cfm.	Supply Air Temperature	59.21		

ภาพผนวกที่ ง9 การใส่ข้อมูลโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น 9



Result of Estimate Cooling Load			
Safety Factor % :	10	By Pass Factor of Coil :	0.00
Total Sensible Heat; Btu/hr	11071.52026	Reheating Coil :	0.00
Total Latent Heat ; Btu/hr	263.13716	Supply Air Temperature :	59.21
Total Heat ; Btu/hr	11334.65742	Chill Water Flow Rate :gpm	2.27
Room Sensible Heat Ratio :	0.976784728	Effective Room Sensible Heat :	11,061.97
Effective sensible heat factor (ESHF)	0.980159166	Effective Room Tatal Heat :	11,285.89
Apparatus dewpoint Temperature (T_{adp})	57.57370237	Room Sensible Heat :	11,061.97
Dehumidified air quanlity (CFM_{da})	587.7649898	Room Latent Heat :	223.92
Entering conditiona at apparatus (T_{edb})	75.01447836	Supply Air Flow rate ; CFM_{sa} :	610.57
Leaving condition at apparatus (T_{ldb})	57.57370237	BTU/m^2	542.33

ภาพผนวกที่ ง10 ผลการคำนวณโปรแกรมคำนวณภาระทำความเย็นที่พัฒนาขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายอัครพล ภู่มหิญโญ
เกิดวันที่	12 สิงหาคม พ.ศ. 2530
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิศวกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2552)
ตำแหน่งปัจจุบัน	–
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	–
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	–
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	–

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์