การวิเคราะห์ระดับเอนทัลปี
เพื่อหาแนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศสำหรับภูมิภาคร้อนชื้น

นางสาว สฤกกา พงษ์สุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-3118-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20975570

AN ENTHALPY ANALYSIS FOR ARCHITECTURAL DESIGN SOLUTION FOR HOT HUMID REGIONS

Miss Sarigga Pongsuwan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University

Academic Year 2002
ISBN 974-17-3118-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ระดับเอนทัลปีเพื่อหาแนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศสำหรับภูมิภาคร้อนชื้น
โดย	นางสาว สฤกกา พงษ์สุวรรณ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาของหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สฤกกา พงษ์สุวรรณ : การวิเคราะห์ระดับเอนทัลปีเพื่อหาแนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศสำหรับภูมิภาคร้อนชื้น. (AN ENTHALPY ANALYSIS FOR ARCHITECTURAL DESIGN SOLUTION FOR HOT HUMID REGIONS.) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ, 244 หน้า. ISBN 974-17-3118-3.

ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น ผนวกกับการออกแบบอาคารอย่างไม่เหมาะสมจึงทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมหาศาลในอาคารปรับอากาศ หนึ่งในปัจจัยของความไม่เหมาะสม คือ ทางเข้าและช่องเปิดที่รับลมประจำซึ่งมีระดับเอนทัลปีสูง ผลที่ตามมาคือปริมาณการใช้พลังงานอย่างมหาศาล การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อระดับเอนทัลปีและศึกษาเอนทัลปีในแต่ละจังหวัดตัวแทนเพื่อหาทิศทางการทำช่องเปิดของทางเข้า-ออกที่เหมาะสม เป็นการลดอิทธิพลของภาระในการทำความเย็น อันเนื่องมาจากเอนทัลปีของลมในทิศทางนั้นๆ

ขั้นตอนการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยคัดเลือกจังหวัดตัวแทนของแต่ละภูมิภาคที่มีพื้นที่ครอบคลุมและข้อมูลต้นที่มีความสมบูรณ์เพียงพอ และใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ผสมผสานกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์พยากรณ์ข้อมูลเพิ่มเติมจากฐานข้อมูลเดิม การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สภาวะการปรับอากาศภายในอาคารทั่วไปที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์เอนทัลปี ซึ่งเป็นพลังงานที่ผสมระหว่างความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ความร้อนในอากาศ ความชื้นในอากาศ ความเร็วลม และทิศทางลม ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เอนทัลปีแบ่งตามช่วงเวลาการใช้งานอาคารจริงซึ่งนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบสำหรับการใช้อาคารแต่ละช่วงเวลา โดยเน้นทิศทางการทำช่องเปิดที่เหมาะสม

ผลการวิจัยพบว่า การสูญเสียพลังงานในอาคารจากการเปิดช่องเปิดในทิศทางที่ไม่เหมาะสมมาจากความร้อน ความชื้น และความเร็วลมในทิศนั้น ซึ่งหากไม่มีความเร็วลมจะสูญเสียพลังงานน้อย ประกอบกับทิศทางลมจะสามารถหาทิศทางการเปิดช่องเปิดที่เหมาะสมได้ โดยทิศทางที่มีพลังงานเฉลี่ยตลอดปีต่ำที่สุดจะเป็นทิศที่เหมาะสมในการทำช่องเปิด จากการศึกษาเอนทัลปีเป็นช่วงเวลาพบว่าแต่ละช่วงเวลามีปริมาณพลังงานต่างกัน ช่วงเวลาที่ใช้พลังงานมากที่สุด คือ 08.00-16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาการใช้อาคารของสำนักงานทั่วไป รองลงมาเป็นช่วงเวลา 17.00-23.00 น. และ 24.00-07.00 น. ตามลำดับ ทิศทางที่มีเอนทัลปีสูงของช่วงเวลา 08.00-16.00 น.ในกลุ่มเอนทัลปีภาคต่างๆ ดังนี้ ภาคกลาง คือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ภาคเหนือ คือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศใต้ ภาคใต้ คือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนช่วง 17.00-23.00 น.มีพลังงานประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์และช่วง 24.00-07.00 น.มีพลังงานประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของช่วง 08.00-16.00 น. การจะลดปริมาณการใช้พลังงานได้ต้องทำช่องเปิดในทิศทางที่เหมาะสมซึ่งมีระดับเอนทัลปีต่ำ ทิศที่มีเอนทัลปีต่ำของช่วงเวลา 08.00-16.00 น. ในกลุ่มเอนทัลปีภาคต่างๆ ดังนี้ ภาคกลาง คือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศเหนือ ภาคเหนือ คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศเหนือ และทิศตะวันออก ภาคใต้ คือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศเหนือ สรุปการออกแบบตำแหน่งช่องเปิดที่มีระดับเอนทัลปีต่ำสามารถลดภาระการปรับอากาศลงได้ เมื่อเทียบกับทิศที่มีระดับเอนทัลปีสูงจะมีปริมาณพลังงานต่ำกว่า 3-5 เท่าโดยประมาณ

ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา	2545	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4474225625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: ENTHALPY / DESIGN FOR ACTIVE BUILDING / COOLING LOAD / SENSIBLE HEAT / LATENT HEAT

SARIGGA PONGSUWAN : AN ENTHALPY ANALYSIS FOR ARCHITECTURAL DESIGN SOLUTION FOR HOT HUMID REGIONS.THESIS ADVISOR : PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 244 pp. ISBN 974-17-3118-3.

In conjunction with the fact that Thailand is in a tropical climate, building designs incompatible with this climate cause a massive use of energy in air-conditioned buildings. A factor that can lead to an improper design is the orientation of doors and windows to the prevailing wind direction. Improper placement so that they receive wind with a high enthalpy level results in a massive use of energy for cooling. This research, therefore, studied the influence of the factors varying the enthalpy level such as air heat, air humidity, wind speed, and wind direction, and obtained enthalpy data for each of the 14 sampled provinces in order to define the appropriate orientation of doors and windows. This research has the purpose of reducing the cooling load by understanding the enthalpy in the wind direction.

This research was accomplished using weather-data analysis from the Thai Meteorological Department by selecting samples from provinces in each region that had sufficient data and coverage. A combination of mathematics, statistics, and computer programs was used to interpolate more specific data. For the purposes of this analysis enthalpy is defined as the combination of Sensible heat and Latent heat. The analysis was based on data conditions at 25 degrees Celsius and 50% relative humidity Studied factors were air heat, air humidity, wind speed, and wind direction. The results of the enthalpy analysis were categorized into timeframes that represented actual usage hours of buildings, which would lead to guidelines for designing buildings for occupation during different hours of the day by emphasizing the appropriate orientation of doors and windows.

The research found that the energy loss in the buildings due to the opening of doors and windows was from heat, humidity, and wind speed in the same direction. Hypothetically if there were no wind speed, the energy loss could be minimal. That said, the combination of wind speed and wind direction can lead to the appropriate design for orientation of doors and windows. The direction that had the lowest average energy loss the entire year would be the most appropriate direction to orient doors and windows. Interpolating the data by hours found that different timeframes had different amounts of energy loss. The timeframe that had the highest energy loss was between 8:00am – 4:00pm. These hours the typical work hour in office buildings. The time that had the highest enthalpy from wind direction was between 8:00am – 4:00pm. The other timeframes were 5:00pm - 11:00pm and midnight to 7:00am. The following directions had the highest enthalpy for the Central region of Thailand: the South, the South-west, and the South-east, respectively. For the Northern region: the South, the South-west, and the South-east, respectively. For the North-eastern region: the South-west, the West, and the South, respectively. For the Southern region: the East, the North-east, and the South-east., respectively. Between the hours 5:00pm-11:00pm, the energy was approximately 80% of the usage during the peak hours of 8:00am – 4:00pm between 12:00am – 7:00am was only 30. In order to reduce the energy usage, the orientation of doors and windows will need to be in the appropriate direction—with low enthalpy. Directions that had low enthalpy between 8:00am – 4:00pm from smallest to largest by region are: Central: East, North-east, and North, respectively. North: North-west, North-east, and East. North-east: South-east, North, and East. South: South, North-west, North.

Department	Architecture	Student's signature	ศริกา พงษ์สุวรรณ.
Field of study	Architecture	Advisor's signature	Soont Boonyat
Academic year	2002	Co-advisor's signature	.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้อนุเคราะห์ข้อมูลดิบในการทำวิจัยนี้ อีกทั้งท่านได้ทุ่มเท เสียสละเวลาส่วนตัวอย่างมากในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการวิจัยที่ถูกวิธีและมีประสิทธิภาพ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่งตลอดการวิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ ด้านคำปรึกษาการวิจัย รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์ ประธานกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ และท่านอาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณท่านที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ตลอดการวิจัย ดังนี้
คุณ เกษม สิริรัตน์ชูวงศ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีฯ ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลดิบในการวิจัยบางส่วน รวมทั้งให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมและเขียนโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลดิบ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กวีไกร ศรีหิรัญ สำหรับการช่วยเหลือและแนะนำด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์
นางสาว จุฑามาส ฉอเรืองวิวัฒน์ สำหรับการช่วยเหลือและแนะนำด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์
นาย สุรพร วรเดชวิญญู สำหรับการช่วยแปลบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

ท้ายนี้ผู้วิจัยได้ใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ซึ่งได้สนับสนุนด้านการเงิน ตลอดจนช่วยดูแลและให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

สารบัญแผนภูมิ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 5

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย..... 8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 11

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 14

2.1 กระบวนการทางไซโครเมตริกกับการปรับอากาศ..... 14

2.2 คุณสมบัติของอากาศ..... 35

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น..... 37

2.4 การรั่วซึมของอากาศ..... 48

2.5 แนวทางการออกแบบที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม..... 58

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 68

3 การดำเนินงานวิจัย..... 70

3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เอนทัลปีแตกต่าง..... 70

3.1.1 การเตรียมข้อมูลดิบสำหรับการวิเคราะห์..... 70

3.1.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ทำให้เอนทัลปีแตกต่างกัน..... 79

สารบัญ

บทที่ หน้า

3.2 การศึกษาเอนทัลปีของจังหวัดตัวแทนแต่ละภูมิภาค....86

3.3 ข้อสรุปและเสนอแนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศ.... 88

4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ระดับเอนทัลปีของแต่ละภูมิภาคร้อนชื้น.... 90

4.1 การศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลให้ระดับเอนทัลปีแตกต่าง..... 92

4.1.1 ศึกษาอิทธิพลของความชื้นในอากาศที่มีผลต่อระดับเอนทัลปี..... 92

4.1.2 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วลมที่มีผลต่อระดับเอนทัลปี..... 110

4.1.3 ศึกษาอิทธิพลของทิศทางลมที่มีผลต่อระดับเอนทัลปี.....124

4.2 ศึกษาเอนทัลปีจังหวัดตัวแทนแต่ละภูมิภาค..... 138

4.2.1 ศึกษาเอนทัลปีตามช่วงเวลาการใช้งานอาคาร.....138

4.2.2 คำนวณเอนทัลปีในแต่ละทิศทางอย่างแท้จริง.....159

5 บทสรุปแนวทางในการออกแบบอาคารระบบปรับอากาศของแต่ละภูมิภาค
และข้อเสนอแนะ.....164

5.1 บทสรุปปริมาณพลังงานของจังหวัดตัวแทน.. 167

5.2 การแบ่งเขตภูมิภาคด้วยระดับและทิศทางของเอนทัลปี.. 184

5.3 เสนอแนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศ ของจังหวัดตัวแทน
แต่ละภูมิภาค..... 189

5.4 สรุปแนวทางการออกแบบอาคาร.. 203

5.5 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย.. 211

รายการอ้างอิง 212

ภาคผนวก.....215

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....244

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตาราง 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย 12
ตาราง 2.1 แสดงการคำนวณหาค่าเอนทัลปีจากค่าอุณหภูมิและความชื้นจำเพาะ 36
ตาราง 2.2 แสดงการรั่วซึมของอากาศผ่านหน้าต่างและประตู
(ใช้ พื้นที่ เป็นหลักในการคำนวณ) 54
ตาราง 2.3 แสดงการรั่วซึมของอากาศผ่านหน้าต่างและประตู
(ใช้ รอยรั่ว เป็นหลักในการคำนวณ) 56
ตาราง 2.4 แสดงสัดส่วนของขนาดช่องเปิดทางเข้ากับทางออกที่สัมพันธ์
กับการไหลของกระแสลม 64
ตาราง 2.5 แสดงการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมผ่านหน้าต่างชนิดต่าง ๆ 69
ตาราง 3.1 ตัวอย่างข้อมูลเดิมที่มีการเก็บข้อมูลทุก 3 ชั่วโมง 78
ตาราง 3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้มีการคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยพยากรณ์
ข้อมูลให้เป็นรายชั่วโมง 78
ตาราง 4.1 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการ
ลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของกรุงเทพมหานคร 94
ตาราง 4.2 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการ
ลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของ จ.เชียงใหม่ 98
ตาราง 4.3 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการ
ลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของ จ.นครราชสีมา 102
ตาราง 4.4 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการ
ลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของ จ.สงขลา 106
ตาราง 4.5 สรุปทิศทางที่มีระดับเอนทัลปีสูงในแต่ละเดือนของกรุงเทพมหานคร 125
ตาราง 4.6 สรุปทิศทางที่มีระดับเอนทัลปีสูงในแต่ละเดือนของ จ.เชียงใหม่ 128
ตาราง 4.7 สรุปทิศทางที่มีระดับเอนทัลปีสูงในแต่ละเดือนของ จ.นครราชสีมา 131
ตาราง 4.8 สรุปทิศทางที่มีระดับเอนทัลปีสูงในแต่ละเดือนของ จ.สงขลา 134
ตาราง 4.9 สรุปเอนทัลปี ตลอดปีในแต่ละทิศทาง โดยแยกเป็นช่วงเวลา : กรุงเทพฯ 143
ตาราง 4.10 สรุปเอนทัลปี ตลอดปีในแต่ละทิศทาง โดยแยกเป็นช่วงเวลา : จ.เชียงใหม่ 148
ตาราง 4.11 สรุปเอนทัลปี ตลอดปีในแต่ละทิศทาง โดยแยกเป็นช่วงเวลา : จ.นครราชสีมา 153

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตาราง 4.12 สรุปเอนทัลปี ตลอดปีในแต่ละทิศทาง โดยแยกเป็นช่วงเวลา : จ.สงขลา 158
ตาราง 4.13 เปรียบเทียบเอนทัลปีที่คำนวณแรงจากทิศข้างเคียงในแต่ละช่วงเวลา แต่ละทิศ : กรุงเทพฯ 160
ตาราง 4.14 เปรียบเทียบเอนทัลปีที่คำนวณแรงจากทิศข้างเคียงในแต่ละช่วงเวลา แต่ละทิศ: จ.เชียงใหม่ 161
ตาราง 4.15 เปรียบเทียบเอนทัลปีที่คำนวณแรงจากทิศข้างเคียงในแต่ละช่วงเวลา แต่ละทิศ : จ.นครราชสีมา 162
ตาราง 4.16 เปรียบเทียบเอนทัลปีที่คำนวณแรงจากทิศข้างเคียงในแต่ละช่วงเวลา แต่ละทิศ : จ.สงขลา 163
ตาราง 5.1 เปรียบเทียบระดับพลังงานแต่ละทิศทาง แต่ละช่วงเวลา ตลอดปีของกรุงเทพฯ 168
ตาราง 5.2 เปรียบเทียบระดับพลังงานแต่ละทิศทาง แต่ละช่วงเวลา ตลอดปีของ จ.เชียงใหม่ 172
ตาราง 5.3 เปรียบเทียบระดับพลังงานแต่ละทิศทาง แต่ละช่วงเวลา ตลอดปีของ จ.นครราชสีมา 176
ตาราง 5.4 เปรียบเทียบระดับพลังงานแต่ละทิศทาง แต่ละช่วงเวลา ตลอดปีของ จ.สงขลา 180
ตาราง 5.5 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของแต่ละจังหวัดตัวแทนในแต่ละทิศทาง ระหว่างเวลา 24.00-07.00 น. 184
ตาราง 5.6 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของแต่ละจังหวัดตัวแทนในแต่ละทิศ ระหว่างเวลา 08.00-16.00 น. 185
ตาราง 5.7 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของแต่ละจังหวัดตัวแทนในแต่ละทิศทาง ระหว่างเวลา 17.00-23.00 น. 186

สารบัญภาพ

รูปภาพ หน้า

รูปภาพ 2.1 เป็นสภาพที่เกิดการระเหย แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ เพิ่มความร้อนแฝงให้กับอากาศ 22
รูปภาพ 2.2 เป็นสภาพที่เกิดการกลั่นตัว แต่ไม่เปลี่ยนอุณหภูมิอากาศถ่ายเทความร้อนแฝง 22
รูปภาพ 2.3 เมื่อเพิ่มปริมาณความร้อนสัมผัส อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น แต่ไม่มีการ เปลี่ยนแปลงจำนวนไอน้ำในอากาศ 23
รูปภาพ 2.4 เมื่อลดปริมาณความร้อนสัมผัสออกจากอากาศ อุณหภูมิของอากาศจะลดลง แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนไอน้ำในอากาศ 23
รูปภาพ 2.5 แสดงว่าอะไรเกิดขึ้นกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างความร้อนสัมผัสหรือกระบวนการทำความเย็น 24
รูปภาพ 2.6 แสดงว่าอะไรเกิดขึ้นกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างความร้อนสัมผัสหรือกระบวนการทำความเย็น 24
รูปภาพ 2.7 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเพิ่มปริมาณความร้อนสัมผัส ในอากาศ 24
รูปภาพ 2.8 แสดงเมื่อมีการทำความเย็น 24
รูปภาพ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด A 42
รูปภาพ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด B 42
รูปภาพ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด C 42
รูปภาพ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด D 43
รูปภาพ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด E 44
รูปภาพ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของขวด F 44
รูปภาพ 2.15 แสดงอาคาร 2 ชั้น ที่มีการใช้ Forced Ventilation Infiltration และ Exfiltration 49
รูปภาพ 2.16 แสดงการวิเคราะห์สภาพอากาศในเรื่องต่างๆ 58
รูปภาพ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบรูปทรงของอาคารในแต่ละเขตอากาศ 59
รูปภาพ 2.18 แสดงการเปรียบเทียบการวางแนวอาคารในแต่ละเขตอากาศ 61
รูปภาพ 2.19 แสดงความเร็วลมเฉลี่ย ภายในห้องที่มีช่องเปิดตรงกัน แต่ช่องเปิดขนาดไม่เท่ากัน 62

สารบัญภาพ

หน้า

รูปภาพ

รูปภาพ 3.1 แสดงการเก็บข้อมูลของทิศลมที่ใช้ในการตรวจอากาศผิวพื้นทุก 10 องศา 73
รูปภาพ 3.2 แสดงการแบ่งเขตภูมิภาคของกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อพิจารณารูปแบบ
สภาพภูมิอากาศ 76
รูปภาพ 3.3 แสดงการพิจารณาปริมาณพลังงานในแต่ละทิศทาง โดยพิจารณาทิศทาง
ข้างเคียงประกอบด้วย 87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ หน้า

แผนภูมิ 1.1 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้เครื่องปรับอากาศเป็นบางเวลา 3
แผนภูมิ 1.2 เปรียบเทียบเอนทัลปีภายในและภายนอกบ้าน 3
แผนภูมิ 2.1 แสดงการคำนวณความร้อนสัมผัส 17
แผนภูมิ 2.2 แสดงการคำนวณความร้อนแฝง 18
แผนภูมิ 2.3 แสดงการคำนวณเอนทัลปีที่ผสมผสานระหว่างความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง 18
แผนภูมิ 2.4 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ใน การลดความชื้นและลด อุณหภูมิให้กับอากาศ 20
แผนภูมิ 2.5 แสดงกระบวนการปรับสภาวะอากาศของไซโครเมตริก 25
แผนภูมิ 2.6 แสดงเทอมต่าง ๆ ในแผนภูมิไซโครเมตริก 26
แผนภูมิ 2.7 แสดงการทำงานของเครื่องปรับอากาศในการลดอุณหภูมิและรีดความชื้น 28
แผนภูมิ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของการถ่ายเทความร้อน 31
แผนภูมิ 3.1 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลด อุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2529 74
แผนภูมิ 3.2 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลด อุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2533 74
แผนภูมิ 3.3 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลด อุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2535 75
แผนภูมิ 3.4 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลด อุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ.2538 75
แผนภูมิ 3.5 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงระดับเอนทัลปีเฉลี่ยใน 1 วันของเดือนหนึ่ง ซึ่งได้ คำนวณความร้อนและความชื้นในอากาศเพื่อทราบถึงระดับเอนทัลปีภายนอก 84
แผนภูมิ 3.6 ตัวอย่างแผนภูมิ แสดงระดับเอนทัลปีเฉลี่ยใน 1 วันของเดือนหนึ่ง ซึ่งได้ คำนวณความเร็วลมเพิ่มของเดือนหนึ่ง 85
แผนภูมิ 3.7 ตัวอย่างแผนภูมิ แสดงระดับเอนทัลปีโดยแสดงเอนทัลปีทุกชั่วโมงของเดือน ซึ่งได้คำนวณความเร็วลมเพิ่มของเดือนหนึ่ง 85

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ หน้า

แผนภูมิ 4.1 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของกรุงเทพมหานคร 95
แผนภูมิ 4.2 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของ จ.เชียงใหม่ 98
แผนภูมิ 4.3 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของ จ.นครราชสีมา 103
แผนภูมิ 4.4 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศของ จ.สงขลา 107
แผนภูมิ 4.5 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ (เมื่อพิจารณาความเร็วลม) ของแต่ละเดือน กรุงเทพมหานคร 112
แผนภูมิ 4.6 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ (เมื่อพิจารณาความเร็วลม) ของแต่ละเดือน จ.เชียงใหม่ 115
แผนภูมิ 4.7 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ (เมื่อพิจารณาความเร็วลม) ของแต่ละเดือน จ.นครราชสีมา 118
แผนภูมิ 4.8 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ (เมื่อพิจารณาความเร็วลม) ของแต่ละเดือน จ.สงขลา 121
แผนภูมิ 4.9 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ โดยแยกแต่ละทิศทางของแต่ละเดือน กรุงเทพมหานคร 126
แผนภูมิ 4.10 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ โดยแยกแต่ละทิศทางของแต่ละเดือน จ.เชียงใหม่ 129
แผนภูมิ 4.11 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ โดยแยกแต่ละทิศทางของแต่ละเดือน จ.นครราชสีมา 132
แผนภูมิ 4.12 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ โดยแยกแต่ละทิศทางของแต่ละเดือน จ.สงขลา 135
แผนภูมิ 4.13 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับอากาศ โดยแยกเป็นช่วงเวลา แต่ละทิศทางของแต่ละเดือน กรุงเทพมหานคร 140

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ หน้า

แผนภูมิ 4.14 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี กรุงเทพฯ 142
แผนภูมิ 4.15 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับ
อากาศโดยแยกเป็นช่วงเวลา แต่ละทิศทางของแต่ละเดือน จ.เชียงใหม่ 145
แผนภูมิ 4.16 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี จ.เชียงใหม่ 147
แผนภูมิ 4.17 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับ
อากาศ โดยแยกเป็นช่วงเวลา แต่ละทิศทางของแต่ละเดือน จ.นครราชสีมา 150
แผนภูมิ 4.18 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี จ.นครราชสีมา 152
แผนภูมิ 4.19 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นให้กับ
อากาศ โดยแยกเป็นช่วงเวลา แต่ละทิศทางของแต่ละเดือน จ.สงขลา 155
แผนภูมิ 4.20 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี จ.สงขลา 157
แผนภูมิ 5.1 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี กรุงเทพฯ 170
แผนภูมิ 5.2 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี จ.เชียงใหม่ 174
แผนภูมิ 5.3 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี จ.นครราชสีมา 178
แผนภูมิ 5.4 แสดงระดับพลังงานแต่ละทิศทาง
เปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลาตลอดปี จ.สงขลา 182