สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลองกรุง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทย โดยวิธีการประมาณค่าและการพยากรณ์

EDUCATION FOR TEMPERATURE TRANSFORMING OF THAILAND BY INTERPOLATING AND FORECASTING

ณัฐพล อัครอมรธรรม
ธนากร เกียรติมงคลชัย
สินีนาถ เพ็ญจำรัส

ปม.
ณ63421
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83329
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2551

b 11969763
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDUCATION FOR TEMPERATURE TRANSFORMING OF THAILAND BY INTERPOLATING AND FORECASTING

NATTAPON ARKKARAAMORNTHUM

TANAKORN KIETTIMONGKOLCHAI

SINEENAT PENJUMRAS

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทยโดยวิธีการประมาณค่าและการพยากรณ์

EDUCATION FOR TEMPERATURE TRANSFORMING OF THAILAND BY INTERPOLATING AND FORECASTING

ชื่อนักศึกษา นายณัฐพล อัครอมรธรรม 47050011

นายธนากร เกียรติมงคลชัย 47050014

นางสาวสินีนาถ เพ็ญจำรัส 47050037

ภาควิชา คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

สาขาวิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ภัคคินี ชิตสกุล

ดร.ใจปอง วงษ์สวัสดิ์

อาจารย์ศิริกุล บัณฑิตเสาวภาคย์

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2550

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐไชย์ ลีนาวงศ์ ประธานกรรมการ	
ดร.พรรณทิพย์ ภัทรอินทากร กรรมการ	
รองศาสตราจารย์ภัคคินี ชิตสกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.ใจปอง วงษ์สวัสดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
อาจารย์ศิริกุล บัณฑิตเสาวภาคย์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

(รองศาสตราจารย์ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์)

หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แด่คุณพ่อและคุณแม่ ซึ่งให้กำลังใจเสมอมา

ณัฐพล

แด่คุณแม่และคุณพ่อผู้เป็นที่ให้ความรักและความห่วงใยลูกเสมอมา

ธนากร

แด่คุณพ่อและคุณแม่ผู้เป็นที่รักและหวังดีเสมอ ขอขอบคุณสำหรับความรักที่มอบให้ลูก

สินีนาถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทยโดยวิธีการประมาณค่าและการพยากรณ์
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐพล อัครอมรธรรม 47050011
	นายธนากร เกียรติมงคลชัย 47050014
	นางสาวสินีนาถ เพ็ญจำรัส 47050037
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา	คณิตศาสตร์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ภัคคินี ชิตสกุล
	ดร.ใจปอง วงษ์สวัสดิ์
	อาจารย์ศิริกุล บัณฑิตเสาวภาคย์

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละภาคของประเทศไทยโดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป EasyFEM ซึ่งจะพิจารณาโดยแบ่งความละเอียดของบริเวณที่พิจารณาในแต่ละวิธีออกเป็น 3 แบบ และนำอุณหภูมิที่ประมาณค่าได้จากสองวิธีดังกล่าวมาทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิจริงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาวิธีการพยากรณ์อุณหภูมิของประเทศไทยในอนาคตโดยการใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ForecastX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	EDUCATION FOR TEMPERATURE TRANSFORMING OF THAILAND BY INTERPOLATING AND FORECASTING	
Students	Mr.Nattapon Arkkaraamornthum	47050011
	Mr.Thanakorn Kiettimongkolchai	47050014
	Ms.Sineenat Penjumras	47050037
Degree	Bachelor of Science	
Department	Mathematics and Computer Science, Faculty of Science	
Programme	Applied Mathematics	
Academic Year	2007	
Advisor	Associate Professor Pakkinee Chitsakul	
	Dr.Jaipong Wangsawasdi	
	Ms.Sirikul Bunditsaovapak	

ABSTRACT

This research is concerned with the difference of the temperature in each part of Thailand by using a Finite Difference Method and a Finite Element Method with EasyFEM software. Both methods are considered in three types of domains. The approximated temperatures computed from the both methods are compared with the real temperatures received from the Department of Meteorology. A number of forecasting methods are also taken into account in order to predict the temperatures of Thailand in the future through the use of ForecastX software.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทยโดยวิธีการประมาณค่าและการพยากรณ์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ภัคคินี ชิตสกุล ดร.ใจปอง วงษ์สวัสดิ์ และอาจารย์ศิริกุล บัณฑิตเสาวภาคย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบปัญหาพิเศษฉบับนี้ที่กรุณาให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาในการแก้ปัญหาต่าง ๆ รวมทั้งเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของปัญหาพิเศษฉบับนี้

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์และกำลังใจจนการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จด้วยดี รวมทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับปัญหาพิเศษไว้ ณ ที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....i

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ii

กิตติกรรมประกาศ.....iii

สารบัญ.....iv

สารบัญรูป.....vi

สารบัญตาราง.....viii

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปัญหาพิเศษ.....2

1.3 ข้อจำกัดและขอบเขตของปัญหาพิเศษ.....2

1.4 ขั้นตอนและกรอบเวลาของปัญหาพิเศษของการวิจัย.....3

1.5 ประโยชน์ต่อกลุ่มวิจัยที่เกี่ยวข้องของปัญหาพิเศษ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 ภาวะโลกร้อน.....5

2.1.1 ความหมาย.....5

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ.....5

2.1.2.1 ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์.....5

2.1.2.2 ฤดูกาล.....6

2.1.2.3 ลมมรสุมในประเทศไทย.....8

2.1.2.4 ลมบก ลมทะเล ลมภูเขา ลมหุบเขา และลมอื่น ๆ.....9

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทย.....11

2.2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์.....15

2.2.1 วิธีผลต่างสืบเนื่อง.....15

2.2.2 วิธี Matrix Inversion.....18

2.2.3 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....20

2.2.4 การพยากรณ์.....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4.1 ประเภทของการพยากรณ์....23
2.2.4.2 ขั้นตอนการพยากรณ์....23
2.2.4.3 เทคนิคการพยากรณ์....24
2.2.5 การวัดความคาดเคลื่อน....27
2.2.5.1 เทคนิคการวัดความคลาดเคลื่อนที่....28

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย....31
3.1 วิธีผลต่างสืบเนื่อง....31
3.2 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยซอฟต์แวร์ EasyFEM....39
3.3 การสร้างกราฟใน Microsoft Office Excel....49
3.3.1 การสร้างกราฟ....49
3.3.2 ประเภทของกราฟ....51

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย....52
4.1 การแสดงผลการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยโดยแบ่งเป็นฤดู....52
4.2 กราฟการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีคำนวณต่าง ๆ เป็นภาค....54
4.3 กราฟแสดงค่าจากการพยากรณ์โดยวิธีต่าง ๆ....58

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะการทำปัญหาพิเศษ....62
5.1 สรุปผลการวิจัย....62
5.2 ข้อเสนอแนะ....63

รายการอ้างอิง....64
ภาคผนวก....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 เส้นลองจิจูดตะวันออก และเส้นละติจูดเหนือ....2

2.1 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ....8

2.2 ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้....9

2.3 ลมหุบเขา....10

2.4 ลมภูเขา....10

2.5 อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น....12

2.6 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น....13

2.7 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น....13

2.8 ปริมาณฝนประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง....14

2.9 จำนวนวันฝนตกของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง....14

2.10 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำในแผ่นโลหะ....15

3.1 ประเทศไทยแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 2 node....33

3.2 ประเทศไทยแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 1 node....34

3.3 ประเทศไทยแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 1/2 node....35

3.4 ชุดสี่เหลี่ยมมุมฉากของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ....36

3.5 กล่องสนทนา Define Medium Properties....41

3.6 กล่องสนทนา Locate – Enter First Corner of Rectangle....41

3.7 กล่องสนทนา Locate – Enter Second Corner of Rectangle....42

3.8 รูปสี่เหลี่ยมขนาด 1 x 1....42

3.9 กล่องสนทนา Select Curve (s) on Outer Boundary....43

3.10 กล่องสนทนาเพื่อยืนยันการสร้างรูภายในโดเมน....43

3.11 การแสดงผลขอบเขตโดเมนรูปสี่เหลี่ยม....43

3.12 Select Boundary (s) to Grid....44

3.13 กล่องสนทนา Generate Between Curves....44

3.14 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบมีระเบียบ....45

3.15 กล่องสนทนา Enter Node (s) to Select....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.16 กล่องสนทนา Create Load on Node....46

3.17 กล่องสนทนา Model File Save As....46

3.18 กล่องสนทนา Export Analyzed Data....47

3.19 กล่องสนทนา Select EasyFEM Model....47

3.20 โปรแกรม EasyFEM....48

3.21 กล่องสนทนา Veiw Select....48

3.22 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิด้วยแถบชั้นสีและแบบจำลอง....49

3.23 ขั้นตอนที่ 1 การสร้างกราฟ....50

3.24 ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกราฟ....51

3.25 ประเภทของกราฟ....52

4.1 แสดงการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูฝน....53

4.2 แสดงการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูร้อน....54

4.3 แสดงการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูหนาว....54

4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคกลาง....56

4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคตะวันตก....56

4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคตะวันออก....57

4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคะวันออกเฉียงเหนือ....57

4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคใต้....58

4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคเหนือ....58

4.7 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคกลาง....60

4.8 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคตะวันตก....60

4.9 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคตะวันออก....60

4.10 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคใต้....61

4.11 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคเหนือ....61

4.12 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ค่าขอบเขตของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปีค.ศ. 2002.....37
3.2 ค่าขอบเขตของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนมกราคม ปีค.ศ. 2002.....38
3.3 ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปีค.ศ. 2002.....40
3.4 ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปีค.ศ. 2002.....49

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคเหนือ.....66
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคกลาง.....68
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันตก.....70
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันออก.....72
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ
ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....74
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคใต้.....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ วัตถุประสงค์ของการทำปัญหาพิเศษ ข้อจำกัดและขอบเขตของปัญหาพิเศษ ขั้นตอนและกรอบเวลาของปัญหาพิเศษ และประโยชน์ต่อกลุ่มวิจัยที่เกี่ยวข้องของปัญหาพิเศษ เพื่อเป็นแนวทางในการทำปัญหาพิเศษให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ

ในปี 2550 คาดว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะมีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าค่าปกติ โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนและต้นฤดูฝน น้ำฝนจะมาเร็วกว่าปกติ และในช่วงฤดูร้อนจะมีอากาศร้อนจัดในหลายพื้นที่ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศจะสูงกว่าค่าปกติโดยเฉพาะในช่วงครึ่งแรกของปี
(ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา)

ปัญหาโลกร้อนจะส่งผลกระทบต่อประเทศไทย ดังนี้

1) ทำให้ช่วงเวลาฤดูกาลฝนจะเปลี่ยนแปลงไป กระบวนการระเหยและการกลั่นตัวจะเร็วขึ้น หมายความว่า ฝนอาจจะตกบ่อยขึ้น แต่น้ำจะระเหยเร็วขึ้นด้วย ทำให้ดินแห้งเร็วกว่าปกติในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก
2) ผลผลิตทางการเกษตรจะลดลง นอกจากผลกระทบโดยตรงจากปริมาณน้ำฝนและช่วงระยะเวลาฤดูกาลเพาะปลูกแล้ว ยังเกิดจากผลกระทบทางอ้อมอีกด้วยคือการระบาดของโรคพืช , ศัตรูพืชและวัชพืช
3) สัตว์น้ำจะอพยพไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทะเล แหล่งประมงที่สำคัญ ๆ ของโลกจะเปลี่ยนแปลงไป
4) มนุษย์จะเสียชีวิตเนื่องจากความร้อนมากขึ้น ตัวนำเชื้อโรคในเขตร้อนเพิ่มมากขึ้น ปัญหาภาวะมลพิษทางอากาศภายในเมืองจะรุนแรงมากขึ้น

จากภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นซึ่งมีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ดังนั้นจึงเป็นที่มาของปัญหาที่นำมาศึกษา เพื่อมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทยโดยวิธีการประมาณค่าและการพยากรณ์ และคาดว่า สมการเริ่มต้นโดยใช้สมการความร้อนใน 2 มิติ คือ

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c^2\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$$

เมื่อ c^2 เป็นค่าคงที่ และการแก้สมการในรูปของ PDE นี้จะใช้ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

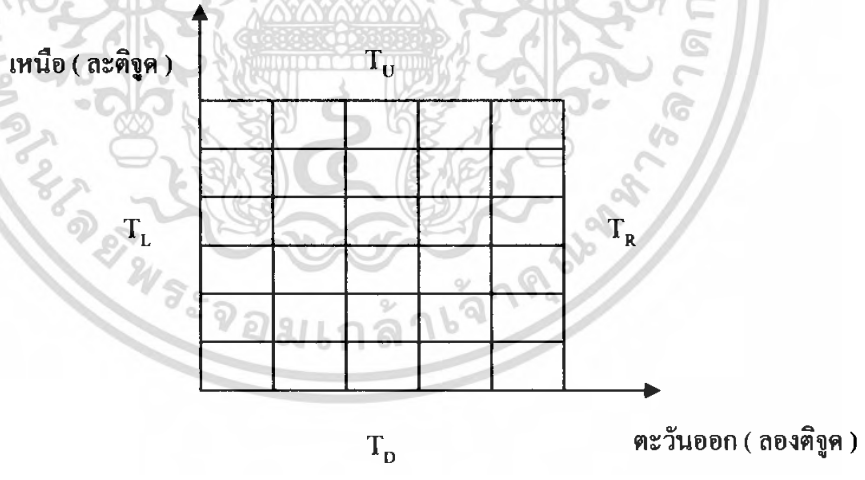
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปัญหาพิเศษ

1) เพื่อศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในประเทศไทย ซึ่งเกิดสภาวะโลกร้อน
2) เพื่อสามารถนำอุณหภูมิที่ได้จากการพยากรณ์มาใช้เป็นแนวทางในการหาทางแก้ไขและป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นจากการที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

1.3 ข้อจำกัดและขอบเขตของปัญหาพิเศษ

1) กำหนดให้ประเทศไทยมีพื้นดินเรียบและมีความหนา 1 เมตร
2) กำหนดให้ระยะห่างระหว่างประเทศไทยกับดวงอาทิตย์มีค่าคงที่
3) กำหนดให้โลกไม่หมุนรอบตัวเอง และให้ประเทศไทยหันเข้าหาดวงอาทิตย์
4) กำหนดให้พื้นผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
5) กำหนดให้แกนโลก คือ แกน y ทำมุม 90 องศา กับแนวแกน x
6) กำหนดให้ระบบนิเวศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
7) กำหนดให้การเผาไหม้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

จากขอบเขตของปัญหา จะพิจารณาในระบบ 2 มิติ เฉพาะเส้นลองติจูดที่ 97° - 106° ตะวันออก ในแนวแกน x และเส้นละติจูดที่ 5° - 21° เหนือ ในแนวแกน y แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 เส้นลองจิจูดตะวันออก และเส้นละติจูดเหนือ

สมการที่ใช้พิจารณาจะเป็นสมการความร้อนใน 2 มิติ

$$\nabla^2 T = f(x, y)$$

โดยที่

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $f(x,y)$ เป็นฟังก์ชันเงื่อนไข

เงื่อนไขค่าขอบเขตพิจารณาได้ดังนี้

จุดของอุณหภูมิของจังหวัดที่เป็นขอบจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่ง

$T(0,y)=T_L$ และ $T(B_x,y)=T_R$ เมื่อ B_x เป็นความกว้างของขอบในแนวแกน x

$T(x,0)=T_D$ และ $T(x,B_y)=T_U$ เมื่อ B_y เป็นความกว้างของขอบในแนวแกน y

1.4 ขั้นตอนและกรอบเวลาของปัญหาพิเศษของการวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทำปัญหาพิเศษรวมทั้งการจัดทำรายงานปัญหาพิเศษ (30 วัน)
2) วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาพิเศษว่าควรแบ่งเป็นกี่บท แต่ละบทควรมีหัวข้อย่อยอะไรบ้าง และแต่ละหัวข้อย่อยควรมีเนื้อหาที่เกี่ยวกับเรื่องอะไรบ้าง (15 วัน)
3) วิเคราะห์รูปแบบการจัดทำรายงานปัญหาพิเศษ รูปแบบและรายละเอียดการพิมพ์รายงานในแต่ละส่วน (15 วัน)
4) จัดทำรายงานคู่มือการทำปัญหาพิเศษ (60 วัน)
5) ตรวจสอบ ปรับปรุง แก้ไขรายงานคู่มือการทำปัญหาพิเศษ (15 วัน)
6) จัดทำรูปเล่มคู่มือการทำปัญหาพิเศษ (15 วัน)

1.5 ประโยชน์ต่อกลุ่มวิจัยที่เกี่ยวข้องของปัญหาพิเศษ

1) ทำให้ได้ผลการพยากรณ์อุณหภูมิโดยเฉลี่ยในอนาคตของประเทศไทย
2) ทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการศึกษาระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง
3) ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำความรู้ทางระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องและการโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันที่เกิดขึ้นจริงได้
4) ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างอดีต ปัจจุบัน และอนาคต ที่เกิดจากภาวะโลกโลกร้อน
5) เป็นแนวทางช่วยในการหาทางป้องกันผลที่จะตามมาจากการที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปที่เกิดจากภาวะโลกโลกร้อน
6) สามารถนำความรู้ที่ได้จากากรศึกษาไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองที่ซับซ้อนในงานวิจัยระดับสูงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของคู่มือการทำปัญหาพิเศษเล่มนี้จะเป็นดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำของการทำปัญหาพิเศษ บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีดำเนินงานวิจัย บทที่ 4 กล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัย บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะการทำปัญหาพิเศษ ในส่วนของภาคผนวกนั้น ภาคผนวก ก. กล่าวถึงผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทยโดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป EasyFEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงภาวะโลกร้อนโดยมีความหมายของภาวะโลกร้อน , ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทย และกล่าวถึงทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) , วิธี Matrix Inversion , วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) , การพยากรณ์ (Forecasting)และการวัดความคาดเคลื่อน

2.1 ภาวะโลกร้อน

2.1.1 ความหมาย

ภาวะโลกร้อน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) กิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน คือ กิจกรรมที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ การเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยตรง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงและการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยทางอ้อม คือ การตัดไม้ทำลายป่า

ปรากฏการณ์เรือนกระจก หมายถึง การที่ชั้นบรรยากาศของโลกกระทำตัวเสมือนกระจกที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านทะลุลงมายังพื้นผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวที่โลกคายออกไปไม่ให้หลุดออกนอกบรรยากาศ ทำให้โลกไม่เย็นจัดในเวลากลางคืน บรรยากาศเปรียบเสมือนผ้าห่มผืนใหญ่ที่คลุมโลกไว้ ก๊าซที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านทะลุลงมาได้แต่ไม่ยอมให้รังสีคลื่นยาวที่โลกคายออกไปหลุดออกนอกบรรยากาศ เรียกว่า ก๊าซเรือนกระจก

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

2.1.2.1 ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (Geographic Location)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนทางซีกโลกเหนือ (North Tropical Zone) ซึ่งอยู่ระหว่างเส้นศูนย์สูตร (Equator) และเส้นทรอปิก ออฟ แคนเซอร์ (Tropic of cancer) โดยมีส่วนที่อยู่เหนือสุดที่ละติจูดหรือเส้นรุ้งขนานที่ 200 27/ เหนือ ในเขต อ.แม่สาย จ.เชียงราย ส่วนที่อยู่ใต้สุดที่ละติจูดที่ 50 37/ เหนือในเขต อ.เบตง จ.ยะลา ส่วนที่อยู่ตะวันสุดที่ลองจิจูดหรือเส้นเมอริเดียนที่ 1050 27/ ตะวันออกในเขต อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี และส่วนที่อยู่ตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุดที่ลองจิจูดที่ 970 22/ ตะวันออก ในเขต อ. แม่ลาน้อย จ.แม่ฮ่องสอน จากตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ดังกล่าว จึงมีผลต่อประเทศไทยดังนี้

1) ผลจากพิกัดทางละติจูด

- ประเทศไทยมีโอกาสได้รับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เต็มที่เกือบทั้งปี ทุกส่วนของประเทศไทยจะได้รับแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (แสงตรง คือ แสงของดวงอาทิตย์ส่องลงมาตั้งฉาก กับพื้นดินตอนเที่ยงวัน) ปีละ 2 ครั้ง ทำให้อากาศร้อนเป็นพิเศษ

- การได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เกือบตลอดปีนับว่าเป็นข้อได้เปรียบของประเทศไทย เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นทรัพยากรที่ใช้ไม่หมด ประเทศไทยจึงสามารถที่จะพัฒนาพลังงาน จากแสงอาทิตย์มาใช้อย่างเต็มที่ เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้า ผลิตพลังงานความร้อน เป็นต้น

- แม้ว่าประเทศไทยจะมีอากาศร้อน แต่ความแตกต่างของอุณหภูมิประจำวันมีไม่มากนัก จึงไม่มีปัญหาในการดำเนินชีวิตของคนไทยมากนัก

- จากตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทยดังกล่าว นับว่าเป็นผลดีต่อประเทศไทย คือ ทำให้ช่วงระยะเวลาที่เป็นกลางวันและช่วงระยะเวลาที่เป็นกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก คนไทยจึงมีระยะเวลาพักผ่อนนอนหลับกับระยะเวลาการทำงานค่อนข้างเหมาะสมโดยธรรมชาติ

- เนื่องจากประเทศไทยมีแสงแดดมาก อากาศร้อน แต่มีความชื้นสูง ทำให้พืชพรรณธรรมชาติเจริญเติบโตได้ตลอดปี ประเทศไทยจึงเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก

- การที่ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้พื้นที่ของประเทศไทยในแผนที่ไม่คลาดเคลื่อนจากความจริงมากนัก ไม่ว่าจะเป็นแผนที่โปรเจกชั่น (Projection) ใดก็ตาม

2) ผลจากพิกัดทางลองจิจูด เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ทางตะวันออกของเส้นเมอริเดียนที่ 0 ทำให้เวลามาตรฐานท้องถิ่นของไทยเร็วกว่ามาตรฐานกรีนิช 7 ชั่วโมง การที่ประเทศตั้งอยู่ระหว่างลองจิจูด ที่ 97 22 ตะวันออกกับ 105 27 ตะวันออกนั้น ทำให้ประเทศไทยต้องใช้เวลามาตรฐานท้องถิ่นที่เมอริเดียน 105 ตะวันออกซึ่งเป็นเมอริเดียนที่ผ่าน จ. อุบลราชธานี แต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยทั้งประเทศใช้เวลามาตรฐานท้องถิ่นเดียวกันเสมอ

2.1.2.2 ฤดูกาล

ฤดูกาล (Season) เกิดจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยที่แกนของโลกเอียง 23.5° ในฤดูร้อนโลกเอียงขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้ซีกโลกเหนือกลายเป็นฤดูร้อน และซีกโลกใต้กลายเป็นฤดูหนาว หกเดือนต่อมาโลกโคจรไปอยู่อีกด้านหนึ่งของวงโคจร โลกเอียงขั้วใต้เข้าหาดวงอาทิตย์ (แกนของโลกเอียง 23.5° คงที่ตลอดปี) ทำให้ซีกโลกใต้กลายเป็นฤดูร้อน และซีกโลกเหนือกลายเป็นฤดูหนาว ฤดูกาลของประเทศไทยโดยทั่ว ๆ ไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม , ฤดูฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

1) ฤดูร้อน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์โดยเฉพาะในเดือนเมษายน บริเวณประเทศไทยมีดวงอาทิตย์อยู่เกือบตรงศีรษะในเวลาเที่ยงวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ สภาวะอากาศจึงร้อนอบอ้าวทั่วไป ในฤดูนี้แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีอากาศร้อนและแห้งแล้ง แต่บางครั้งอาจมีมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมอยู่เหนือประเทศไทยซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และลมกระโชกแรง หรืออาจมีลูกเห็บตกก่อให้เกิดความเสียหายได้ พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูนี้มักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า " พายุฤดูร้อน "

2) ฤดูฝน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคม เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยและร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านประเทศไทย ทำให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติจะพาดผ่านภาคใต้ในระยะต้นเดือนพฤษภาคม แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปทางเหนือตามลำดับ จนถึงช่วงประมาณปลายเดือนมิถุนายนจะพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงระยะหนึ่ง และเรียกว่า ฝนทิ้งช่วง ซึ่งอาจนานประมาณ 1-2 สัปดาห์ หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรงและมีฝนน้อยนานนับเดือน ในเดือนกรกฎาคมปกติร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาจากทางตอนใต้ของประเทศจีนพาดผ่านบริเวณประเทศไทยอีกครั้ง ทำให้มีฝนชุกต่อเนื่องและปริมาณฝนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงปลายเดือนกรกฎาคมเป็นต้นไป จนกระทั่งมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้ามาปกคลุมประเทศไทยแทนที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณกลางเดือนตุลาคม ประเทศไทยตอนบนจะเริ่มมีอากาศเย็นและฝนลดลง โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เว้นแต่ภาคใต้ยังคงมีฝนชุกต่อไปจนถึงเดือนธันวาคม และมักมีฝนหนักถึงหนักมากจนก่อให้เกิดอุทกภัย โดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งจะมีประมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก อย่างไรก็ตาม การเริ่มต้นฤดูฝนอาจจะช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้ประมาณ 1 - 2 สัปดาห์

3) ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ในช่วงกลางเดือนตุลาคมนาน 12 สัปดาห์ เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาว อากาศแปรปรวนแน่นอน อาจเริ่มมีอากาศเย็นหรืออาจยังมีฝนฟ้าคะนอง โดยเฉพาะบริเวณภาคกลางตอนล่าง และภาคตะวันออกลงไป ซึ่งจะหมดฝนและเริ่มมีอากาศเย็นช้ากว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

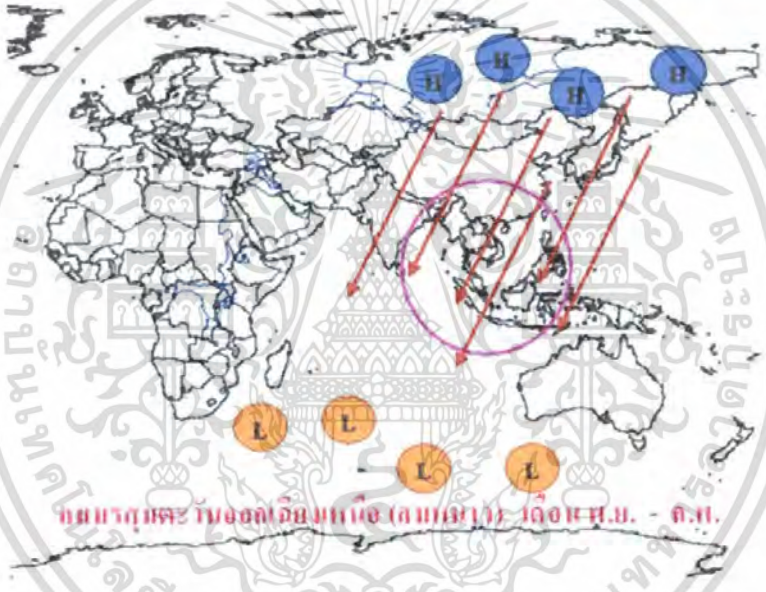
2.1.2.3 ลมมรสุมในประเทศไทย (Thai Monsoon)

เนื่องจากแกนโลกเอียงทำมุม 23 1/2 องศา สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร เป็นเขตร้อนอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม หรือลมประจำฤดู ซึ่งเป็นลมที่พัดเปลี่ยนทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปตามฤดูกาลเป็นช่วงระยะเวลาประมาณทุกครึ่งปีและมีทิศทางการพัดที่แน่นอน ลมมรสุมในประเทศไทย ได้แก่

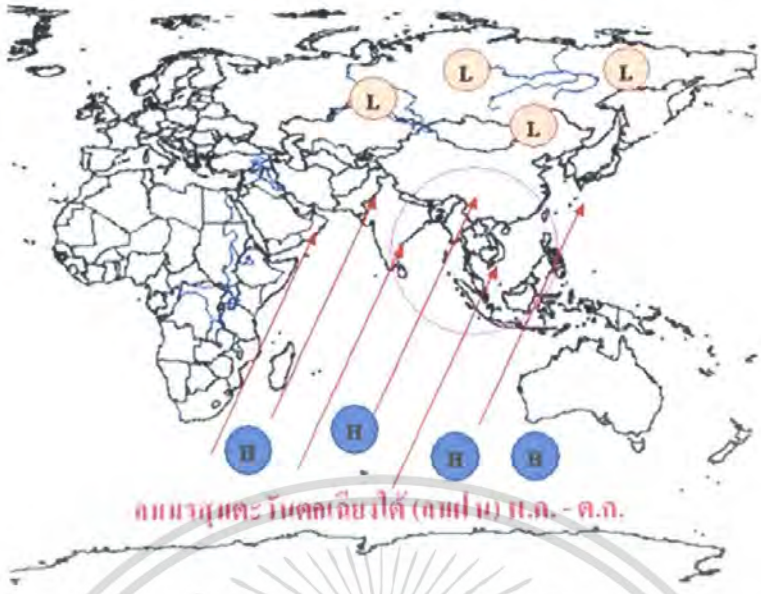
1) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นลมที่พัดผ่านประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว ประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพื้นผิวโลกที่ประกอบไปด้วยพื้นดินและพื้นน้ำที่ในช่วงเดือนดังกล่าวเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตรงกับพื้นมหาสมุทร ทำให้อากาศเหนือพื้นน้ำมีอุณหภูมิสูงอากาศจึงลอยตัวสูงขึ้น ขณะที่อากาศเย็นกว่าบริเวณทวีปเคลื่อนที่ออกไปแทนที่อากาศร้อนในมหาสมุทรที่ลอยตัวขึ้น จึงทำให้เกิดกระแสลมพัดผ่านจากภาคพื้นทวีปสู่มหาสมุทร เกิดเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หรือลมหนาวที่พัดพาความหนาวเย็นผ่านพื้นทวีปสู่มหาสมุทร แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

2) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นลมมรสุมฤดูร้อนเกิดในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม รวมระยะเวลากว่า 5 เดือน ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่พื้นดินได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เต็มที่ทำให้พื้นดินได้รับความร้อนมากกว่าพื้นน้ำ อากาศบนพื้นดินจึงลอยตัวสูงขึ้น อากาศเย็นจากท้องมหาสมุทรจะเคลื่อนตัวนำพาความชุ่มชื้นและไอน้ำเข้ามาสู่ภาคพื้นดิน เกิดเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) ช่วงเวลานี้มักมีฝนตกมากทั่วไป เป็นช่วงฤดูฝนในประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

2.1.2.4 ลมบก ลมทะเล ลมภูเขา ลมหุบเขา และลมอื่นๆ

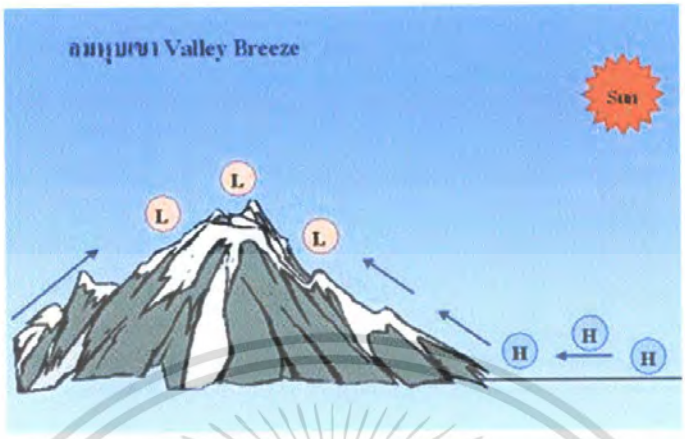
1) ลมทะเล (Sea Breeze) เกิดในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็นลมที่พัดจากทะเลเข้ามาสู่พื้นดินบริเวณชายฝั่งทะเล เนื่องจากความแตกต่างระหว่างการรับและคายความร้อนระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ โดยในช่วงเวลากลางวันพื้นดินและพื้นน้ำได้รับความร้อนเท่ากัน พื้นดินร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ แต่ร้อนเฉพาะพื้นผิวหน้าดิน พื้นน้ำจะร้อนได้ช้ากว่าเนื่องจากน้ำมีความร้อนจำเพาะสูง และมีการระเหยกลายเป็นไอมากกว่าพื้นดิน ตลอดจนพื้นน้ำมีความปั่นป่วนหมุนเวียนถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า น้ำทะเลจึงร้อนช้ากว่าพื้นดิน เมื่อพื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าจึงเกิดการยกลอยตัวของอากาศสูงขึ้น และอากาศเหนือพื้นน้ำจึงเคลื่อนเข้ามาแทนที่ เกิดเป็นลมทะเลที่มีทิศทางการพัดจากทะเลเข้าสู่พื้นดินในเวลากลางวัน

2) ลมบก (Land Breeze) เกิดในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเป็นลมที่พัดจากพื้นดินสู่ทะเล เนื่องจากในเวลากลางคืนพื้นดินคายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ อุณหภูมิบนพื้นดินจึงต่ำกว่าในขณะที่พื้นน้ำจะร้อนกว่าเนื่องจากคายความร้อนได้ช้ากว่า พื้นน้ำจึงมีอุณหภูมิสูงกว่า อากาศร้อนบนพื้นน้ำจึงลอยตัวสูง และอากาศเย็นจากพื้นดินจึงพัดเข้าไปแทนที่ทำให้เกิดลมบกที่พัดจากฝั่งเข้าสู่ทะเล

3) ลมหุบเขา (Valley Breeze) เกิดขึ้นในเวลากลางวัน ซึ่งบริเวณยอดเขาและลาดเขาจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากกว่าทำให้อากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น และอากาศบริเวณหุบเขาที่เย็นกว่าเกิดความกดอากาศสูง จะเคลื่อนตัวเข้าไปแทนที่อากาศที่ร้อนบริเวณลาดเขาและยอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขา ทำให้เกิดลมหุบเขา ซึ่งลมดังกล่าวมีทิศทางการพัดจากหุบเขาไปสู่ลาดเขาและยอดเขา และช่วยในการระบายความร้อนจากหุบเขาไปตามลาดเขาได้ดีในเวลากลางวัน แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลมหุบเขา

4) ลมภูเขา (Mountain Breeze) เป็นลมที่เกิดในเวลากลางคืน เมื่ออากาศเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ความกดอากาศบริเวณพื้นที่ที่สูงจะมีมากกว่าเนื่องจากพื้นดินคายความร้อนได้เร็วกว่า อากาศบริเวณภูเขาจะไหลลงมาสู่หุบเขาเกิดเป็นลมภูเขาในเวลากลางคืน นำเอาความเย็นมาสู่หุบเขา และถ้าอากาศเย็นและชื้นมากจะก่อให้เกิดหมอกหนาทึบปกคลุมหุบเขา หรืออาจเกิดน้ำค้างแข็งได้ด้วยเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 ลมภูเขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ลมประจำถิ่นในประเทศไทย (Local Wind) ได้แก่ ลมที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ของช่วงปี ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นต่างๆ ของประเทศไทย เช่น ลมว่าว / ลมข้าวเบา เป็นลมที่พัดมาจากทางทิศเหนือลงมายังลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาลงไปทางทิศใต้ เป็นลมหนาวที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต้นฤดูหนาวราวเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน เป็นช่วงเวลาที่ผู้คนนิยมเล่นว่าวจึงเรียกว่า ลมว่าว ส่วนสาเหตุที่เรียกว่าลมข้าวเบา เนื่องมาจากลมพัดผ่านมาในช่วงเวลาที่มีการเก็บเกี่ยวข้าวชนิดหนึ่งในเดือนพฤศจิกายนนั่นเอง ลมตะเภา เป็นลมที่พัดจากอ่าวไทยไปยังที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา หรือเป็นลมที่พัดจากทิศใต้ขึ้นไปยังทิศเหนือในช่วงกลางฤดูร้อน โดยเฉพาะในเดือนเมษายนของทุกปี ลมตะเภาจะพัดแรงในเวลากลางวัน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมทะเลพัดเข้ามาช่วยเสริม ส่วนเวลากลางคืนจะอ่อนกำลังลงเล็กน้อยเนื่องจากมีลมบกพัดต้านไว้ ในบางครั้งมักมีการเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าลมตะเภาเป็นลมว่าว เนื่องจากเดือนมีนาคม และเดือนเมษายนที่ลมตะเภาพัดผ่าน ผู้คนมักนิยมเล่นว่าวเช่นกัน ลมสลาตัน / ลมเพชรหึง เป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มักเกิดในช่วงต้นของการเปลี่ยนฤดูกาล ช่วงเวลาดังกล่าวมักจะเกิดพายุฝนหรือลมแรง ในบางครั้งเรียกว่า ลมเพชรหึง ซึ่งเป็นลมพายุใหญ่ มีชื่อเรียกต่างๆ กันไปในแต่ละท้องถิ่น ลมงวง / นาคเล่นน้ำ เป็นลักษณะของลมพายุหมุนที่เกิดจากการหมุนเวียนของอากาศภายในเมฆฝน ในบางครั้งอาจเห็นเมฆซึ่งมีลักษณะคล้ายงวงยาวลงมาจากฐานเมฆฝน สำหรับประเทศไทยพบลมชนิดนี้เกิดขึ้นในทะเลจึงมักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่านาคเล่นน้ำ ลมบ้าหมู เป็นลมที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ มีทิศทางพัดหมุนวนเข็มนาฬิกา มักเกิดบริเวณอากาศร้อนจัด ทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดการไหลเข้ามาแทนที่ของอากาศ เกิดมากในฤดูร้อน อากาศร้อนจัด

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทย

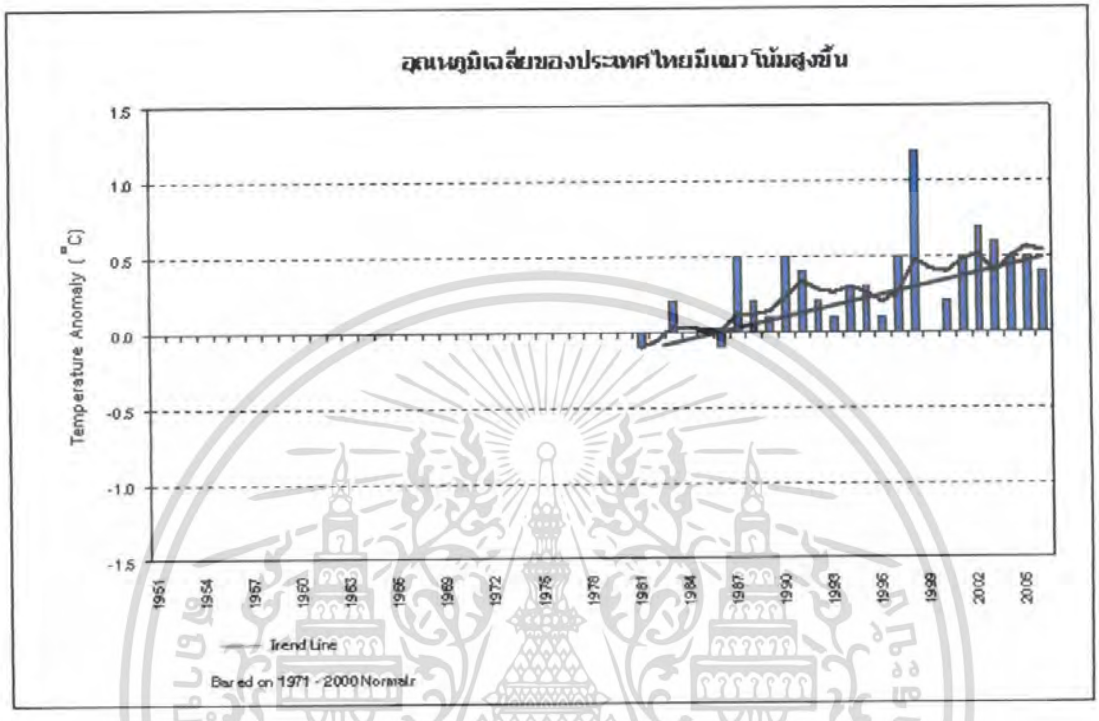
จากการเฝ้าติดตามความผันแปรของอุณหภูมิโลกพบว่าในระยะ 10 ปีสุดท้าย พ.ศ. 2539 – 2549 เป็นช่วงที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกร้อนที่สุด หากไม่มีมาตรการใด ๆ ที่จะยับยั้งการปล่อยออกก๊าซเรือนกระจกแล้ว คาดว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มสูงขึ้น 1.5 – 4.5 องศาเซลเซียส ภายในปี ค.ศ. 2100

ในประเทศไทยสัญญาณที่บ่งบอกถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น นั้นคือ ความรุนแรงของภัยธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศในเดือนพฤศจิกายน 2549 ซึ่งอยู่ในช่วงต้นฤดูหนาวสูงกว่าปกติ 1.7 องศาเซลเซียส สูงสุดเป็นอันดับ 1 ในรอบ 56 ปี ของประเทศ และในเดือนธันวาคม 2549 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติประมาณ 1 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิโดยเฉลี่ย 24 องศาเซลเซียส)

สภาพอากาศของประเทศไทยในช่วง 10 ปี จากการศึกษาข้อมูล 54 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2494 ซึ่งเป็นปีแรกที่เริ่มมีการตรวจวัดข้อมูล พบว่า อุณหภูมิของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 2.5 , อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 2.6 และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย

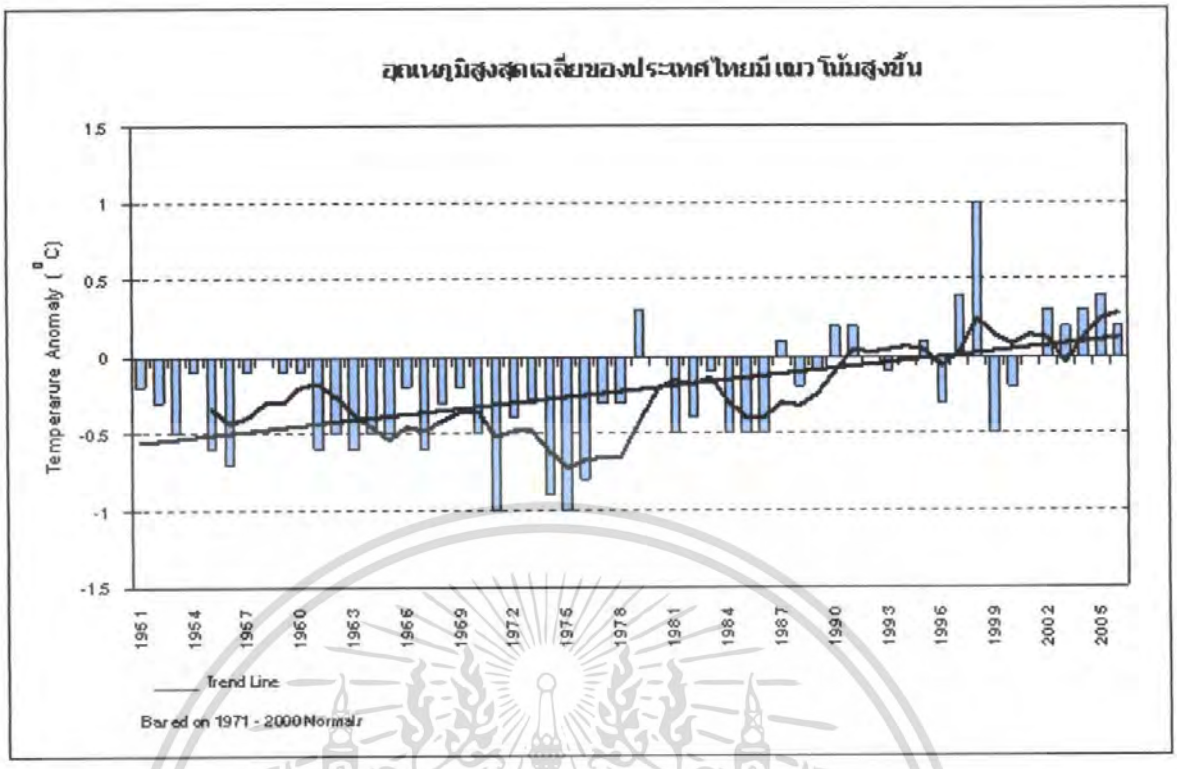
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังรูปที่ 2.7 ส่วนปริมาณฝน แสดงดังรูปที่ 2.8 และวันที่ฝนตกมีแนวโน้มลดลง แสดงดังรูปที่ 2.9 ถึงแม้ว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาทั้งปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าค่าปกติมากกว่าที่จะต่ำกว่าปกติก็ตาม (ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา)

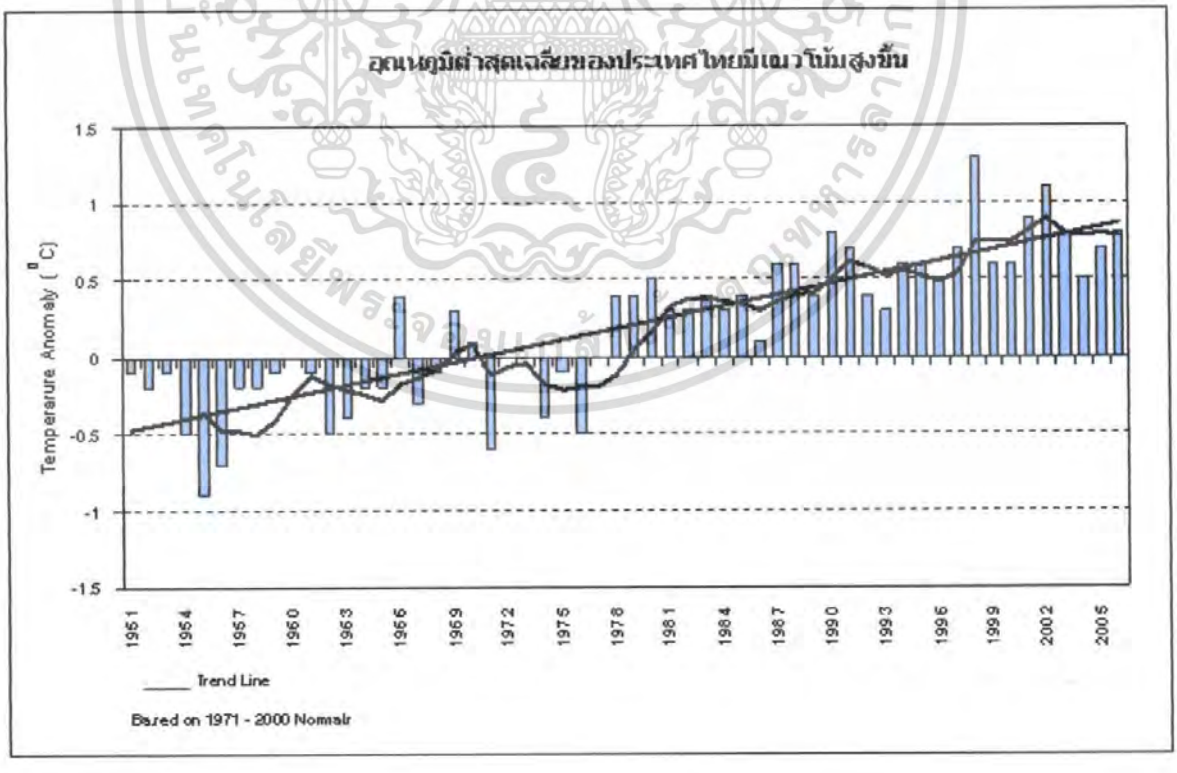


รูปที่ 2.5 อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

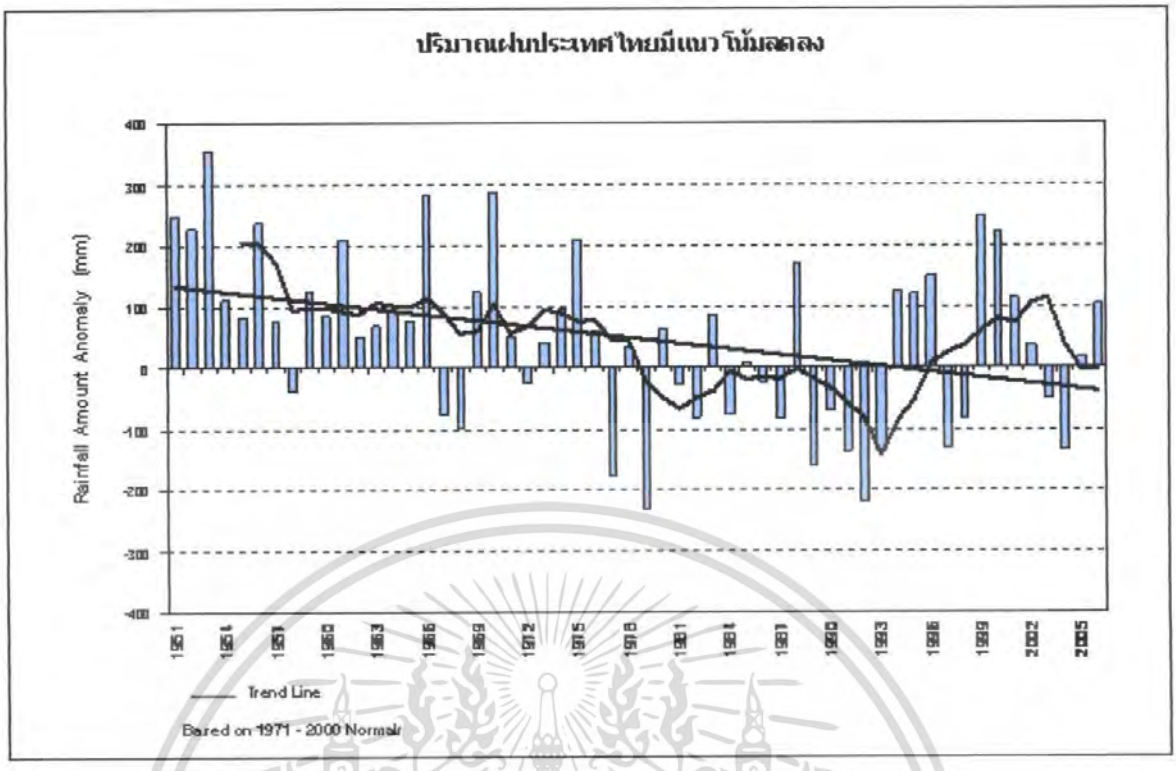


รูปที่ 2.6 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น

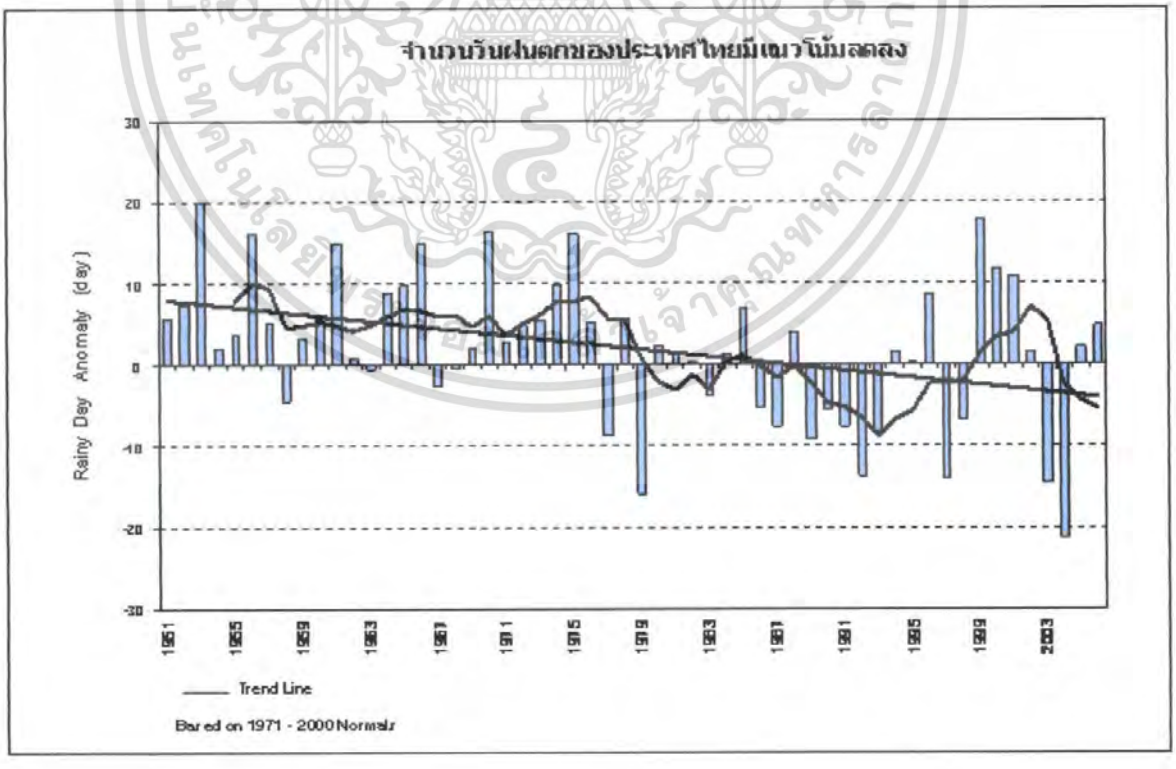


รูปที่ 2.7 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ปริมาณฝนประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 2.9 จำนวนวันฝนตกของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง

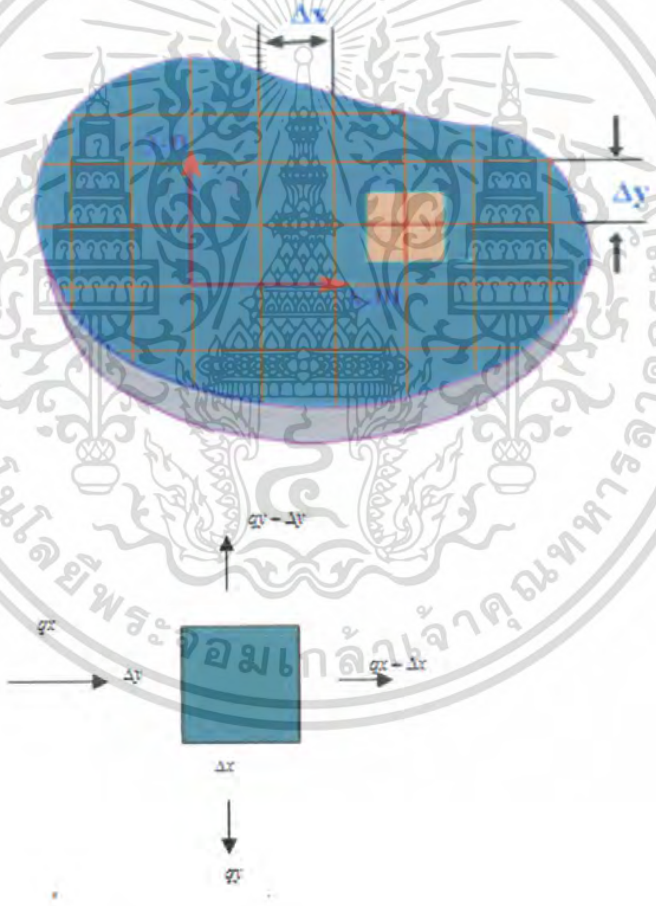
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

2.2.1 วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method)

สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) สามารถแก้สมการได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข (Numerical Method) เช่น ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) หรือระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นต้น ซึ่งระเบียบวิธีทางตัวเลขนี้จะเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ซับซ้อนให้เป็นสมการพีชคณิต (Algebraic Equation) ซึ่งสามารถหาผลเฉลยได้ง่ายขึ้น

ตัวอย่างปัญหาที่เราจะนำมาพิจารณาในที่นี้คือ ปัญหาการคำนวณลักษณะการกระจายของอุณภูมิเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนภายใต้สถานะอยู่ตัวในสองมิติบนแผ่นโลหะ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำในแผ่นโลหะ

จากรูปที่ 2.10 เป็นแสดงการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ (conduction) ภายใต้สถานะอยู่ตัว (steady-state) ในแผ่นโลหะที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) เท่ากับ k โดยแผ่นโลหะมีความหนาเท่ากับ t สำหรับปัญหานี้ สามารถสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาเอลิเมนต์ (element) เล็ก ๆ ทางด้านล่างของรูปที่ 2.10 นี้ โดยใช้หลักความจริงของการถ่ายเทความร้อนภายใต้สถานะอยู่ตัวที่ว่า

$$\text{ปริมาณความร้อนเข้า} - \text{ปริมาณความร้อนออก} = 0 \qquad 2.1$$

นั่นคือ

$$\left(q_x + q_y\right) - \left(q_{x+\Delta x} + q_{y+\Delta y}\right) = 0 \qquad 2.2$$

โดย q แทนปริมาณความร้อนที่ไหลในทิศทางโคออร์นิเนต x หรือ y ดังแสดงในรูป ปริมาณความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นโลหะชนิดนั้น ๆ รวมทั้งพื้นที่หน้าตัดที่มีความร้อนไหลผ่านและความชันของอุณภูมิ (temperature gradient) ตามกฎของฟูริเยร์ (Fourier's law) ดังนี้

$$q_x = -k\left(t\Delta y\right)\frac{\partial T}{\partial x} \qquad 2.3$$

$$q_y = -k\left(t\Delta x\right)\frac{\partial T}{\partial y} \qquad 2.4$$

แทนสมการที่ 2.3 และ 2.4 ลงในสมการที่ 2.2 และประยุกต์อนุกรมเทย์เลอร์เข้ากับพจน์ $q_{x+\Delta x}$ และ $q_{y+\Delta y}$ จากนั้นทำการหารสมการตลอดด้วย $t\Delta x\Delta y$ แล้วจึงให้ $\Delta x \to 0$ และ $\Delta y \to 0$ จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) = 0 \qquad 2.5$$

หากสมมุติให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k นั้นคงที่โดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และไม่ขึ้นกับตำแหน่ง x,y บนแผ่นโลหะนั้น จะได้สมการเชิงอนุพันธ์ที่อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \qquad 2.6$$

ซึ่งหากเปรียบเทียบสมการที่ 2.6 นี้กับสมการเชิงอนุพันธ์ จะเห็นว่าทั้งสองสมการนี้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน นั่นหมายความว่า ในการหาลักษณะการกระจายของอุณหภูมิเนื่องจากการนำความร้อนในแผ่นโลหะภายใต้สถานะอยู่ตัว จำเป็นต้องแก้สมการเชิงอนุพันธ์ที่อยู่ในรูปแบบของสมการอิลลิปติก (elliptic equation) ที่บางครั้งเรียกว่าสมการของลาปลาซดังแสดงในสมการที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนทั่วไปนั้น แผ่นโลหะดังแสดงในรูปที่ 2.10 อาจมีความร้อนตกกระทบบนผิวของโลหะนั้นหรือแผ่นโลหะอาจผลิตความร้อนขึ้นได้เอง ในกรณีเช่นนี้ สมการเชิงอนุพันธ์ที่อยู่ในรูปแบบของสมการที่ 2.6 จะยังคงอยู่ในรูปแบบของสมการอิลลิปติก (elliptic equation) โดยมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=f(x,y) \qquad 2.7$$

โดย $f(x,y)$ แทนฟังก์ชันใด ๆ ที่อาจแปรผันกับโคออร์ดิเนต x และ y หรือในบางครั้งอาจเป็นเพียงค่าคงที่ค่าหนึ่ง สมการเชิงอนุพันธ์ที่อยู่ในรูปแบบของสมการที่ 2.7 นี้ เรียกกันโดยทั่วไปว่า สมการของปัวส์ซัน (Poisson equation)

ระเบียบวิธีการแก้สมการโดยวิธีผลต่างสืบเนื่องที่เหมาะสมสำหรับโหนดที่อยู่ภายในของระบบสองมิติ สามารถหาได้โดยตรงจากสมการที่ 2.6 พิจารณาอนุพันธ์ลำดับที่สอง $\partial^2 T$ ซึ่งค่าอนุพันธ์โหนด m,n อาจประมาณได้จากสมการที่ 2.8

$$\left.\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right|_{m,n}\approx\frac{\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{m+\frac{1}{2},n}-\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{m-\frac{1}{2},n}}{\Delta x} \qquad 2.8$$

และ Temperature เขียนอยู่ในรูป Node Temperature ได้คือ

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{m+\frac{1}{2},n}\approx\frac{T_{m+1,n}-T_{m,n}}{\Delta x} \qquad 2.9$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{m-\frac{1}{2},n}\approx\frac{T_{m,n}-T_{m-1,n}}{\Delta x} \qquad 2.10$$

แทนค่าสมการที่ 2.3 และ 2.4 ลงในสมการที่ 2.2 จะได้

$$\left.\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right|_{m,n}\approx\frac{T_{m+1,n}+T_{m-1,n}-2T_{m,n}}{(\Delta x)^2} \qquad 2.11$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
83329

ในทำนองเดียวกันจะได้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\Big|_{m,n} \approx \frac{\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{m,n+\frac{1}{2}} - \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{m,n-\frac{1}{2}}}{\Delta y}$$

$$\approx \frac{T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 2T_{m,n}}{(\Delta y)^2} \qquad 2.12$$

ถ้าให้ $\Delta x = \Delta y$ และแทนค่าสมการที่ 2.11 , 2.12 ในสมการที่ 2.6 จะได้

$$T_{m,n+1} + T_{m,n-1} + T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 4T_{m,n} = 0 \qquad 2.13$$

พิจารณาโหนด (m,n) ในสมการความร้อน และสมการเชิงอนุพันธ์ ซึ่งเป็นสมการผลต่างอนุพันธ์แม่นตรง (Exact Differential Equation) สามารถลดรูปเป็นสมการการประมาณค่าด้วยพีชคณิต (Approximate Algebraic Equation) ซึ่งเป็นการประมาณค่าสมการความร้อนและผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference) สามารถประยุกต์ใช้กับโหนดภายในทุก ๆ โหนดได้ดังสมการที่ 2.13 ซึ่งแสดงว่าผลรวมของอุณหภูมิของโหนด ทั้ง 4 อยู่ติดกันมีค่าเท่ากับ 4 เท่าของอุณหภูมิที่โหนดนั้น ๆ หรืออุณหภูมิของโหนด m,n เป็นค่าเฉลี่ยของโหนด 4 โหนดที่อยู่ติดกัน

2.2.2 วิธี Matrix Inversion

เมื่อสร้างโครงข่ายของโหนดและเขียนสมการระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องสำหรับโหนดแต่ละโหนดแล้ว จะหาค่าการกระจายอุณหภูมิโดยการแก้สมการพีชคณิตของระบบ เช่น Linear Algebraic ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี อาจเป็นวิธีโดยตรงหรือวิธีทดลองค่า (Interactive Method) วิธีโดยตรงจะใช้ในกรณีจำนวนโหนดที่ไม่รู้ค่าอุณหภูมิมีจำนวนไม่มาก ถ้าจำนวนโหนดที่ไม่รู้ค่าของอุณหภูมิมีจำนวนมาก จะต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยเพราะมีหน่วยความจำมาก ซึ่งจะเหมาะสมกับวิธีทดลองค่า แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Matrix Inversion ซึ่งมีวิธีการดังนี้

$$\begin{aligned}
&a_{11}T_1 + a_{12}T_2 + a_{13}T_3 + \kappa \; + a_{1N}T_N = C_1 \\
&a_{21}T_1 + a_{22}T_2 + a_{23}T_3 + \kappa \; + a_{2N}T_N = C_2 \\
&\text{M} \\
&a_{N1}T_1 + a_{N2}T_2 + a_{N3}T_3 + \kappa \; + a_{NN}T_N = C_N
\end{aligned} \qquad 2.14$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $a_{11},a_{12},\text{K}\ ,C_1,\text{K}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์และค่าคงที่ และสมการที่ 2.14 สามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์เมตริกได้เป็น

$$[A][T]=C \tag{2.15}$$

เมื่อ

$$A\equiv\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \text{K} & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \text{L} & a_{2N} \\ \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} \\ a_{N1} & a_{N2} & \text{K} & a_{NN} \end{bmatrix},T\equiv\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \text{M} \\ T_N \end{bmatrix},C\equiv\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \text{M} \\ C_N \end{bmatrix}$$

เมื่อเมทริกซ์ $[A]$ คือ Coefficient Matrix ขนาด $(n+m)$ และแต่ละ Element กำกับด้วยตัวห้อยสองตัว ซึ่งตัวแรก หมายถึง แถว และตัวที่สอง หมายถึง หลัก ส่วนเมทริกซ์ $[T]$ และเมทริกซ์ $[C]$ มีหลักเดียวเรียกว่า " Column Vectors " หรือบางครั้งเรียกว่า Solution Vector และ Right Hand Side Vector ตามลำดับ สมการที่ 2.14 และ 2.15 ใช้ Left Hand Side ในกรณีเพิ่มปริมาณของเมทริกซ์ผลลัพธ์สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$[T]=[A]^{-1}[C] \tag{2.16}$$

โดยที่ $[A]^{-1}$ คือ ส่วนกลับ (Inverse) ของเมทริกซ์ (A) มีค่าดังนี้

$$[A]^{-1}\equiv\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \text{K} & b_{1N} \\ b_{21} & b_{22} & \text{L} & b_{2N} \\ \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} \\ b_{N1} & b_{N2} & \text{K} & b_{NN} \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

ซึ่งอุณหภูมิของแต่และโหนด สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} T_1 &= b_{11}C_1+b_{12}C_2+b_{13}C_3+\text{K}\ +b_{1N}C_N \\ T_2 &= b_{21}C_1+b_{22}C_2+b_{23}C_3+\text{K}\ +b_{2N}C_N \\ &\text{M} \\ T_N &= b_{N1}C_1+b_{N2}C_2+b_{N3}C_3+\text{K}\ +b_{NN}C_N \end{aligned} \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) หรือ FEM เป็นวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขชนิดหนึ่งสำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ที่ต้องมีสมการควบคุมระบบและใช้เงื่อนไขขอบเขตเพื่อจะแก้สมการ ในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะการมีแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยเรียกว่า เอลิเมนต์ (element) และเอลิเมนต์จะเชื่อมกันด้วยจุดต่อ(node) แล้วจึงนำสมการควบคุมระบบมาสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมต์สำหรับแต่ละเอลิเมนต์บนโดเมนจากนั้นจึงแก้ระบบสมการดังกล่าวซึ่งจะได้เฉลยโดยประมาณที่จุดต่อบนโดเมน

เอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อเป็นเอลิเมนต์ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนในสองมิติ

การกระจายของอุณหภูมิบนเอลิเมนต์สามเหลี่ยมนี้โดยปกติจะถูกสมมุติให้อยู่ในลักษณะของแผ่นเรียบในรูปแบบของสมการ คือ

$$T(x,y,t) = \lfloor N(x,y) \rfloor \{T(t)\} \qquad 2.19$$

โดยฟังก์ชันการประมาณภายใน

$$N_i = \frac{1}{2A}(a_i + b_i x + c_i y) \quad \text{i=1,2,3} \qquad 2.20$$

ซึ่ง A คือ พื้นที่ของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมนี้และค่า a_i, b_i, c_i , I = 1 , 2 , 3 เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของจุดต่อ จากนั้นความชันของการกระจายอุณหภูมิสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{2A}\begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}}_{[B]\ (2\times 3)} \{T(1)\} \qquad 2.21$$

จากสมการที่ 2.19 และ 2.21 จะเห็นได้ว่าทั้งเมตริกซ์ $[N]$ และ $[B]$ ของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมนี้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายทำให้สามารถคำนวณเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่าง ๆได้โดยง่าย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$[K_c] = \frac{kt}{4A}\begin{bmatrix} b_1b_1 + c_1c_1 & b_1b_2 + c_1c_2 & b_1b_3 + c_1c_3 \\ & b_2b_2 + c_2c_2 & b_2b_3 + c_2c_3 \\ Sym & & b_3b_3 + c_3c_3 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[K_h] = \frac{hA}{12}\begin{bmatrix}2 & 1 & 1\\ 1 & 2 & 1\\ 1 & 1 & 2\end{bmatrix}$$

$$\{Q_Q\} = \frac{QAt}{3}\begin{Bmatrix}1\\ 1\\ 1\end{Bmatrix}$$

นอกจากการถ่ายเทความร้อนบนผิวพื้นที่ A ของเอลิเมนต์แล้วอาจจะเกิดมีการถ่ายเทความร้อนในทำนองเดียวกันตลอดขอบใดขอบหนึ่งของเอลิเมนต์ซึ่งมีความหนาเท่ากับ t การประดิษฐ์เอลิเมนต์เมตริกซ์ที่สอดคล้องกับการถ่ายเทความร้อนตลอดขอบดังกล่าวสามารถทำได้คือ

$$[K_h] = \frac{hAl}{6}\begin{bmatrix}2 & 1 & 0\\ 1 & 2 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$\{Q_h\} = \frac{h_\infty Ttl}{2}\begin{Bmatrix}1\\ 1\\ 0\end{Bmatrix}$$

ซึ่งจำเป็นต้องเพิ่มลงในสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับเอลิเมนต์นั้น ๆ

เอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าที่ประกอบด้วย 4 โหนด เป็นเอลิเมนต์อีกชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันมากในการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนในสองมิติ ในงานวิจัยนี้จะสรุปการใช้เอลิเมนต์ชนิดนี้กับปัญหาสองมิติโดยทั่วไป

ไฟไนต์เอลิเมนต์ชนิดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่านี้บางครั้ง เรียกว่า ไอโซพาร่าเมตริกซ์เอลิเมนต์ (isoparametric element) ซึ่งใช้ฟังก์ชันตัวแปรเดียวกันในการแปลงรูปร่างเอลิเมนต์และการกระจายของอุณหภูมิบนเอลิเมนต์นั้น รูปร่างของเอลิเมนต์ที่เป็นสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าในพิกัด $x-y$ จะถูกแปลงไปให้อยู่ในรูปร่างของสี่เหลี่ยมจัตุรัสในพิกัด $\xi-n$ จุดประสงค์หลักการทำเช่นนี้ก็เพื่อความสะดวกในการอินทิเกรตหาค่าเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิบนเอลิเมนต์ถูกสมมุติให้อยู่ในรูปแบบของพิกัด $\xi-n$ ดังนี้

$$T(\xi,\eta,t) = \underset{(1\times4)}{[N(\xi,\eta)]}\underset{(4\times1)}{\{T(t)\}} \qquad 2.22$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นความชันของการกระจายของอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} J_{11}^* & J_{12}^* \\ J_{21}^* & J_{22}^* \end{bmatrix}}_{1\ 4\ 4\ 4\ 4} \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial N}{\partial \xi} & \frac{\partial N}{\partial \xi} & \frac{\partial N}{\partial \xi} & \frac{\partial N}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N}{\partial \eta} & \frac{\partial N}{\partial \eta} & \frac{\partial N}{\partial \eta} & \frac{\partial N}{\partial \eta} \end{bmatrix}}_{4\ 4\ 2\ 4\ 4\ 4\ 4\ 4\ 4\ 3} \quad 2.23$$

$$[B(\xi,\eta)]$$
$$(2\times 4)$$

โดย J_{ij}^* , I = 1 , 2 เป็นสัมประสิทธิ์ในเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์แบบจาโคบี และโดยการใช้ความสัมพันธ์ $dxdy = |J|d\xi d\eta$ เมตริกซ์ $[N]$ และ $[B]$ จากสมการที่ 2.19 และ 2.20 นี้สามารถนำไปคำนวณหาเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่าง ๆ ในสมการได้ ดังตัวอย่างเช่น

$$[C] = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} \rho c \{N(\xi,\eta)\}\lfloor N(\xi,\eta)\rfloor |J| d\xi d\eta$$

$$[K_c] = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} [B(\xi,\eta)]^T [K] \lfloor B(\xi,\eta)\rfloor |J| d\xi d\eta$$

$$[K_h] = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} h\{N(\xi,\eta)\}\lfloor N(\xi,\eta)\rfloor |J| d\xi d\eta$$

$$\{Q_Q\} = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} Q\{N(\xi,\eta)\} |J| d\xi d\eta$$

$$\{Q_q\} = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} q_s \{N(\xi,\eta)\} |J| d\xi d\eta$$

ในการอินทิเกรต สามารถใช้สูตรการอินทิเกรตของเกาส์เลอจองต์ ตัวอย่างเช่น

$$[C] = \sum_{i=1}^{NG}\sum_{j=1}^{NG} W_i W_j \rho c \{N(\xi_i,\eta_j)\}\lfloor N(\xi_i,\eta_j)\rfloor |J(\xi_i,\eta_j)|$$

$$[K_c] = \sum_{i=1}^{NG}\sum_{j=1}^{NG} W_i W_j h T_\infty \{N(\xi_i,\eta_j)\} |J(\xi_i,\eta_j)| \quad \text{เป็นต้น}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย W_i , W_j แทนน้ำหนัก และ ξ_i , η_j แทนตำแหน่งของจุดเกาส์ต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับจำนวนของจุดเกาส์

ดังนั้นจะเห็นว่า วิธีการผลต่างสืบเนื่อง เป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) เพื่อใช้ในการหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้ หลักการของวิธีนี้คือ การแทนตัวอนุพันธ์ที่ปรากฏอยู่ในสมการเชิงอนุพันธ์ ด้วยสมการทางพีชคณิตโดยประมาณ ซึ่งอยู่ในรูปของตัวแปร ณ จุดต่อต่าง ๆ ในขอบเขตของรูปร่างของลักษณะปัญหานั้น

ส่วนวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้เช่นกัน โดยแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาที่จะใช้ในการคำนวณออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ ที่เรียกว่า เอลิเมนต์ เอลิเมนต์เหล่านี้เชื่อมต่อจุดต่อ (node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาค่าตัวแปรตาม (dependent variables) ที่ต้องการ

2.2.4 การพยากรณ์ (Forecasting)

การพยากรณ์ คือ การประมาณหรือการคาดคะเนว่าอะไรจะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การพยากรณ์อุณหภูมิ , การพยากรณ์ยอดขายของ 3 ปีข้างหน้า การพยากรณ์มีบทบาทสำคัญกับทุกด้าน ทั้งหน่วยงานของรัฐบาล และเอกชน รัฐบาลต้องประมาณ หรือ พยากรณ์รายได้ รายจ่ายในปีหน้า เพื่อนำมาวางแผน เอกชนต้องพยากรณ์ยอดขาย เพื่อนำมาวางแผนการผลิต สินค้าคงคลัง แรงงาน ฯลฯ

2.2.4.1 ประเภทของการพยากรณ์

การพยากรณ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Qualitative Forecasting)

2) การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Quantitative Forecasting)

1) การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quatitative Forecasting) เป็นการพยากรณ์โดยอาศัยข้อมูลหรือตัวเลขจากอดีตมาสร้างตัวแบบ เทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์ ได้แก่ วิธีการ Least Square , วิธีการ Moving Average , วิธีการปรับเรียบแบบ Exponential Smoothing เป็นต้น

2) การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Quanlitative Forecast) เป็นการพยากรณ์ที่ไม่ใช้ข้อมูลย้อนหลัง จะพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ เช่น ลางสังหรณ์ , ประสบการณ์ , ความชำนาญ ตลอดจนระบบต่าง ๆ ที่มีคุณค่าเพื่อนำไปสู่การพยากรณ์

2.2.4.2 ขั้นตอนการพยากรณ์ มี 8 ขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดลักษณะการพยากรณ์ วัตถุประสงค์ของการพยากรณ์

2) เลือกข้อมูลที่จะทำการพยากรณ์

3) กำหนดระยะเวลาที่จะทำการพยากรณ์ เช่น แต่ละไตรมาสของปี โดยกำหนดเป็นช่วงระยะเวลา เช่น ระยะสั้น ปานกลาง หรือระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เลือกตัวแบบที่จะใช้สำหรับการพยากรณ์ อาจจะใช้มากกว่า 1 ตัวแบบก็ได้

5) รวบรวมข้อมูล ตัวเลข ที่จำเป็นสำหรับการพยากรณ์

6) เตรียมการแทนค่าในตัวแบบที่จะใช้พยากรณ์

7) คำเนินการพยากรณ์ และได้ผลลัพธ์

8) นำผลพยากรณ์ไปใช้วางแผน

2.2.4.3 เทคนิคการพยากรณ์

สำหรับเทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมี 5 ตัวแบบ คือ

1) วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method)

2) วิธีการปรับเรียบ (Exponential Smoothing Method)

3) วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Method)

4) วิธีการแบบแยกส่วน (Decomposition Method)

5) วิธีของโฮลท์ – วินเทอร์ (Holt – Winter' s Method)

1) วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เป็นการพยากรณ์แบบหนึ่งที่ใช้ข้อมูลปัจจุบัน หรือใกล้เคียงกับปัจจุบัน โดยเป็นตัวเลขที่เป็นจริง (Actual Data) มาใช้สำหรับการพยากรณ์ (Forecast) โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average –M.A.) การพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบประเภทนี้จะมีประโยชน์อย่างมากถ้าเราตั้งสมมุติฐานให้อุปสงค์ (Demand) หรือความต้องการสินค้าของตลาดมีค่าคงที่ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่ 2.24 ได้ดังนี้

$$\text{MOVING AVERAGE} = \sum(\text{Demand for n period})/n \qquad 2.24$$

เมื่อ n คือ จำนวนเดือนที่ใช้ในการพยากรณ์

2) วิธีการปรับเรียบ (Exponential Smoothing) เป็นวิธีการพยากรณ์ที่ทันสมัยกว่าตัวแบบ Moving Average โดยใช้ข้อมูลที่ผ่านมาในอดีตเพียงเล็กน้อย หรือจากช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่ 2.25

$$\text{New Forecast} = \text{Last Forecast} + \alpha\ (\text{Actual Demand} - \text{Demand Forecast}) \qquad 2.25$$

เมื่อ

New Forecast	คือ	ค่าพยากรณ์ของเดือนใหม่ หรือระยะเวลาใหม่
Last Forecast	คือ	ค่าพยากรณ์ของเดือนที่ผ่านมา หรือระยะเวลาที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Actual Demand	คือ	ค่าอุปสงค์ที่เป็นจริงของเดือนที่ผ่านมา แทนด้วย A_{t-1}
Demand Forecast	มีค่าเท่ากับ	Last Forecast คือ ค่าพยากรณ์ของเดือนที่ผ่านมาหรือระยะเวลาที่ผ่านมา 1 ช่วงระยะเวลา แทนด้วยสัญญลักษณ์ F_{t-1}
α (alpha)	คือ	ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) หรือค่าปรับเรียบคงที่ (Smoothing Constant)

ดังนั้น สามารถเขียนเป็นสมการใหม่สมการที่ 2.26 ได้ว่า

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \qquad 2.26$$

เมื่อ

F_t = New Forecast หรือค่าที่ต้องพยากรณ์ใหม่ (ของรอบเวลาถัดไป)

F_{t-1} = Previous Forecast ค่าพยากรณ์ของช่วงที่ผ่านมา 1 ช่วง

A_{t-1} = อุปสงค์ที่เป็นจริงของช่วงเวลาที่ผ่านมา 1 ช่วง

เมื่อค่าของ α มีค่าระหว่าง = $0 \le \alpha \le 1$

3) วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปร คือ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองเป็นลักษณะเชิงเส้นตรง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่ 2.27

สมมติว่า

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรอิสระ x
- ค่าเฉลี่ยของ y สำหรับค่า x ค่าหนึ่ง (หรือ $\mu_{y/x}$) สามารถหาได้จากสมการเส้นตรง

$$E(Y/x) = \mu_{y/x} = \beta_0 + \beta_1 x \qquad 2.27$$

เมื่อ β_0 และ β_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient)

โดยที่

β_0 เป็นจุดตัดแกน y เมื่อ x = 0

β_1 เป็นความชันของเส้นตรง (slope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากว่าค่าเฉลี่ยของ y เป็นฟังก์ชันเส้นตรงของ x ค่าจริงของ y จึงไม่ได้อยู่บนเส้นตรงเดียวกันกับค่าเฉลี่ยของ y ดังนั้นจึงสมมติว่าค่าจริงของ y ที่ค่า x ค่าหนึ่ง หาได้จากค่าเฉลี่ยของ y บวกกับค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ε (random error) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่ 2.28

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \qquad 2.28$$

4) วิธีการแบบแยกส่วน (Decomposition Method) เป็นวิธีการพยากรณ์โดยการแยกองค์ประกอบของอนุกรมเวลาเป็นส่วนต่าง ๆ คือ องค์ประกอบที่ทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ซึ่งประกอบด้วย

- องค์ประกอบของแนวโน้ม (Trend)
- ฤดูกาล (Seasonal)
- วัฏจักร (Cyclical)
- ความผิดปกติ (Irregular)

องค์ประกอบของแนวโน้ม (Trend)

เป็นองค์ประกอบที่แสดงถึงทิศทางของข้อมูลแต่ละชุด ตั้งแต่อดีตจนถึงข้อมูลสุดท้ายที่รวบรวมได้ โดยข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีองค์ประกอบของค่าแนวโน้ม ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับความเคลื่อนไหวของข้อมูล ในระยะเวลาที่ค่อนข้างยาวนาน เช่น อุปสงค์ของสินค้า การใช้พลังงาน ซึ่งลักษณะแนวโน้มอาจจะเป็น เส้นตรง เส้นโค้ง หรืออื่น ๆ ก็ได้

ฤดูกาล (Seasonal)

การที่ข้อมูลอนุกรมเวลามีรูปแบบการเคลื่อนไหวขึ้นหรือลงทำนองเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกันของรอบเวลาหนึ่ง โดยปกติไม่เกิน 1 ปี ซึ่งการพิจารณาความเคลื่อนไหวตามฤดูกาล หน่วยของระยะเวลาอาจจะเป็น 3 เดือน รายเดือน รายสัปดาห์ รายวัน หรือ รายชั่วโมงและข้อมูลที่มักได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ได้แก่ การขาย การผลิต เป็นต้น

วัฏจักร (Cyclical)

การที่ข้อมูลของอนุกรมเวลามีลักษณะการเคลื่อนไหวขึ้น ๆ ลง ๆ คล้ายลูกคลื่น มีความแตกต่างจากผลกระทบทางฤดูกาล คือ เราจะไม่ทราบช่วงของการเกิดวัฏจักรหนึ่ง ๆ จะมีระยะเวลานานเท่าใด และขนาดของการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ในแต่ละวัฏจักรนั้นจะมีระดับสูงต่ำมากน้อยเพียงใดและการผันแปรตามวัฏจักรโดยทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงภาวะการเกิดซ้ำกันของภาวะธุรกิจเฟื่องฟู ถดถอย และตกต่ำ ภาวะต่าง ๆ นี้อาจจะสั้นหรือยาวก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดปกติ (Irregular)

เป็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอนุกรมเวลาที่เกิดจากเหตุการณ์ที่เราไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า เช่น การเกิดอุทกภัย , เกิดพายุ , ความแปรปรวนของอากาศ เป็นต้น ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญไม่คาดคิดมาก่อน เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเชิงสุ่ม (random variation) เพราะไม่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่เรากำหนด

โดยองค์ประกอบของอนุกรมเวลาทั้ง 4 อย่าง คือ องค์ประกอบของแนวโน้ม (Trend) , ฤดูกาล (Seasonal) , วัฏจักร (Cyclical) , ความผิดปกติ (Irregular) ไม่จำเป็นต้องครบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดข้อมูล

5) วิธีของโฮลท์ – วินเทอร์ (Holt – Winter' s Method) เหมาะสำหรับใช้กับข้อมูลที่มีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล (Trend – Season Data) ใช้พยากรณ์ระยะสั้นจนถึงปานกลาง ข้อมูลไม่ควรเป็นรายปี เพราะจะทำให้ไม่สามารถแยกอิทธิพลของฤดูกาลได้ ข้อมูลควรอยู่ในรูปรายเดือน หรือรายสัปดาห์ วิธีนี้ยังคงใช้หลักการของเทคนิคเอ็กซ์โปเนนเชียล คือ ให้ความสำคัญแก่ข้อมูลไม่เท่ากัน และมีค่าที่ปรับให้เรียบ 3 ค่า คือ

α คือ ค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ปรับเรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

β คือ ค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ปรับเรียบระหว่างฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาลมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

γ คือ ค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ปรับเรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้มมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2.2.5 การวัดความคาดเคลื่อน

ความแม่นยำของเทคนิคพยากรณ์ คือ ค่าการพยากรณ์ที่แตกต่างจากค่าจริง ถ้าแตกต่างกันน้อยแสดงว่าพยากรณ์ได้ค่อนข้างแม่นยำ ดังนั้นการวัดความแม่นยำ ดูจากความผิดพลาดในการพยากรณ์ ถ้าความผิดพลาดในการพยากรณ์ต่ำ แสดงว่าเทคนิคนั้นแม่นยำและเหมาะสม ถ้าความผิดพลาดในการพยากรณ์สูง แสดงว่า เทคนิคนั้นไม่แม่นยำและไม่เหมาะสม

ความผิดพลาด = ค่าจริง – ค่าการพยากรณ์

$$e_t = X_t - F_t$$

X_t = ค่าจริงในงวดที่ t

F_t = ค่าการพยากรณ์ในงวดที่ t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.1 เทคนิคการวัดความคลาดเคลื่อนที่

สำหรับเทคนิคการวัดความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในงานวิจัยมี 6 ตัวแบบ คือ

1) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (Mean Error : ME)

2) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD)

3) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error : MSE)

4) ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Percentage Error : MPE)

5) ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์
(Mean Absolute Percentage Error : MAPE)

6) รากของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
(Root Mean Square Error : RMSE)

1) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (Mean Error : ME)

$$ME = \frac{\sum(X_t - F_t)}{n} \qquad 2.29$$

จากสมการที่ 2.29 เป็นวิธีการวัดความแม่นยำโดยการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยการหาค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างค่าการพยากรณ์กับค่าจริง

2) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD)

$$MAD = \frac{\sum|X_t - F_t|}{n} \qquad 2.30$$

จากสมการที่ 2.30 เป็นวิธีการวัดความแม่นยำโดยการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าการพยากรณ์กับค่าจริงโดยไม่คำนึงเครื่องหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error : MSE)

$$MSE = \frac{\sum (X_t - F_t)^2}{n} \qquad 2.31$$

จากสมการที่ 2.31 เป็นวิธีการวัดความแม่นยำโดยการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าการพยากรณ์กับค่าจริงโดยวิธียกกำลังสอง

4) ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Percentage Error : MPE)

$$MPE = \frac{\sum \left(\frac{X_t - F_t}{X_t} \right) \times 100}{n} \qquad 2.32$$

จากสมการที่ 2.32 เป็นวิธีการวัดความแม่นยำโดยการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าการพยากรณ์กับค่าจริงโดยวัดความผิดพลาดเทียบเป็นร้อยละ

5) ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right| \times 100}{n} \qquad 2.33$$

จากสมการที่ 2.33 เป็นวิธีการวัดความแม่นยำโดยการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าการพยากรณ์กับค่าจริงโดยคำนวณร้อยละ ความผิดพลาดในการพยากรณ์ไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย ถ้าค่าที่ได้ต่ำแสดงว่าเทคนิคนั้นแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) รากของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (F_t - X_t)^2}{n}} \qquad 2.34$$

จากสมการที่ 2.34 เป็นวิธีการวัดความแม่นยำโดยการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าการพยากรณ์กับค่าจริงโดยวิธีถอดรากของค่ายกกำลังสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินงานวิจัยโดยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) , วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยซอฟต์แวร์ EasyFEM ซึ่งทั้งสองวิธีจะมีการยกตัวอย่างการคำนวณของภาคตะวันออกเฉียงเหนือแบบแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 1 node ในปีค.ศ. 2002 และการสร้างกราฟใน excel ซึ่งจะยกตัวอย่างการสร้างกราฟการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยจริงกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM ของภาคกลางในปี ค.ศ.2002

3.1 วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method)

วิธีผลต่างสืบเนื่องจะมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แบ่งประเทศไทยออกเป็น 6 ภาค คือ

ภาคเหนือ : เชียงใหม่ , เชียงราย , น่าน , แพร่ , อุตรดิตถ์ , ลำพูน, แม่ฮ่องสอน , พะเยา , ลำปาง

ภาคตะวันตก : กาญจนบุรี , ตาก , ประจวบคีรีขันธ์ , เพชรบุรี , ราชบุรี

ภาคกลาง : กรุงเทพมหานคร , กำแพงเพชร , ชัยนาท , นครนายก , นครปฐม , นครสวรรค์ , นนทบุรี , ปทุมธานี , พระนครศรีอยุธยา , พิจิตร , พิษณุโลก , เพชรบูรณ์ , ลพบุรี , สมุทรปราการ , สมุทรสงคราม , สมุทรสาคร , สระบุรี , สิงห์บุรี , สุโขทัย , สุพรรณบุรี , อ่างทอง , อุทัยธานี

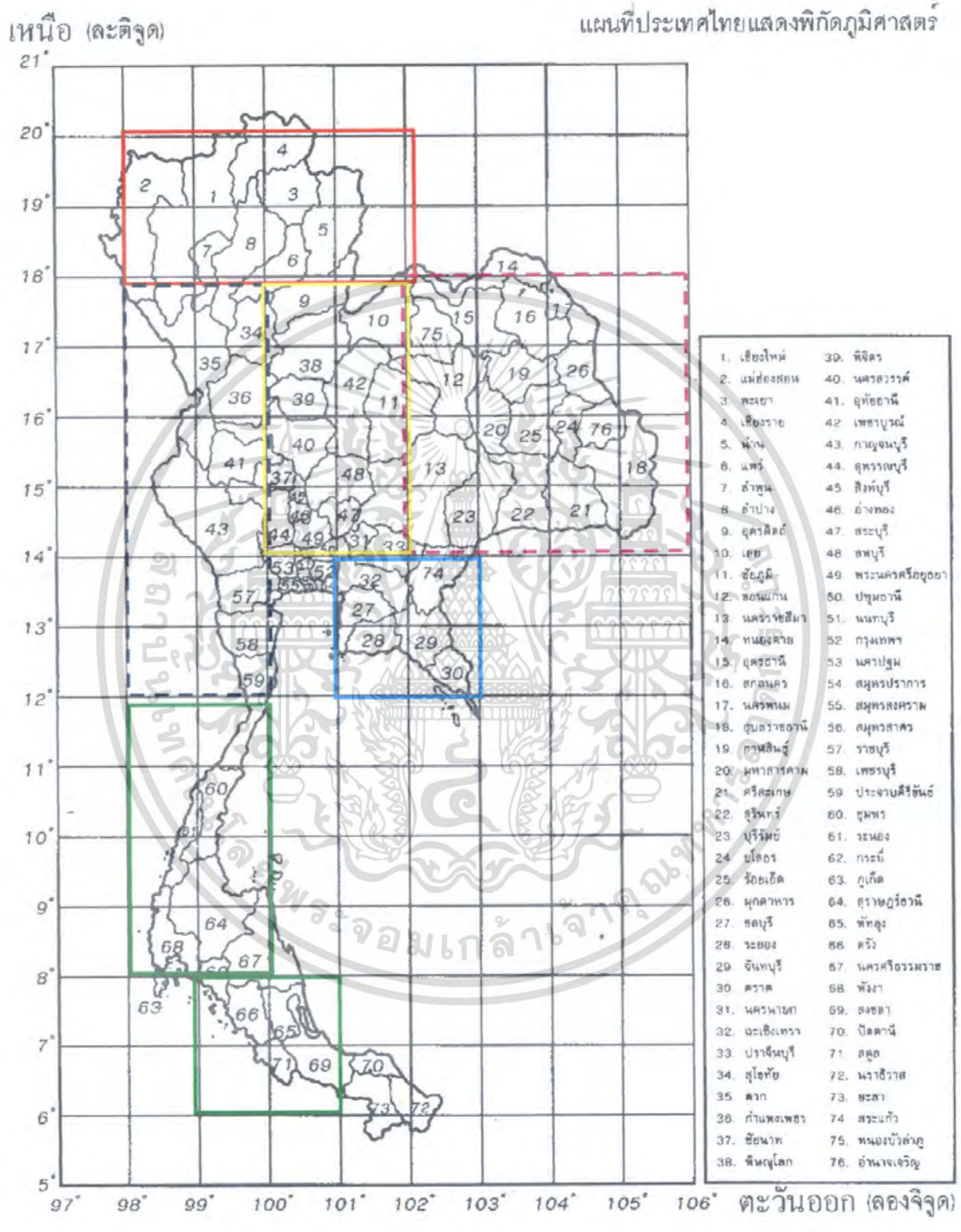
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ : กาฬสินธุ์ , ขอนแก่น , ชัยภูมิ , นครพนม , นครราชสีมา , บุรีรัมย์ , มหาสารคาม , มุกดาหาร , ยโสธร , ร้อยเอ็ด , เลย , ศรีสะเกษ , สกลนคร , สุรินทร์ ล หนองคาย , หนองบัวลำภู , อำนาจเจริญ , อุดรธานี , อุบลธานี

ภาคตะวันออก : จันทบุรี , ฉะเชิงเทรา , ชลบุรี , ตราด , ปราจีนบุรี , ระยอง , สระแก้ว

ภาคใต้ : กระบี่ , ชุมพร , ตรัง , นครศรีธรรมราช , นราธิวาส , ปัตตานี , พังงา , พัทลุง , ภูเก็ต , ยะลา , ระนอง , สงขลา , สตูล , สุราษฎร์ธานี

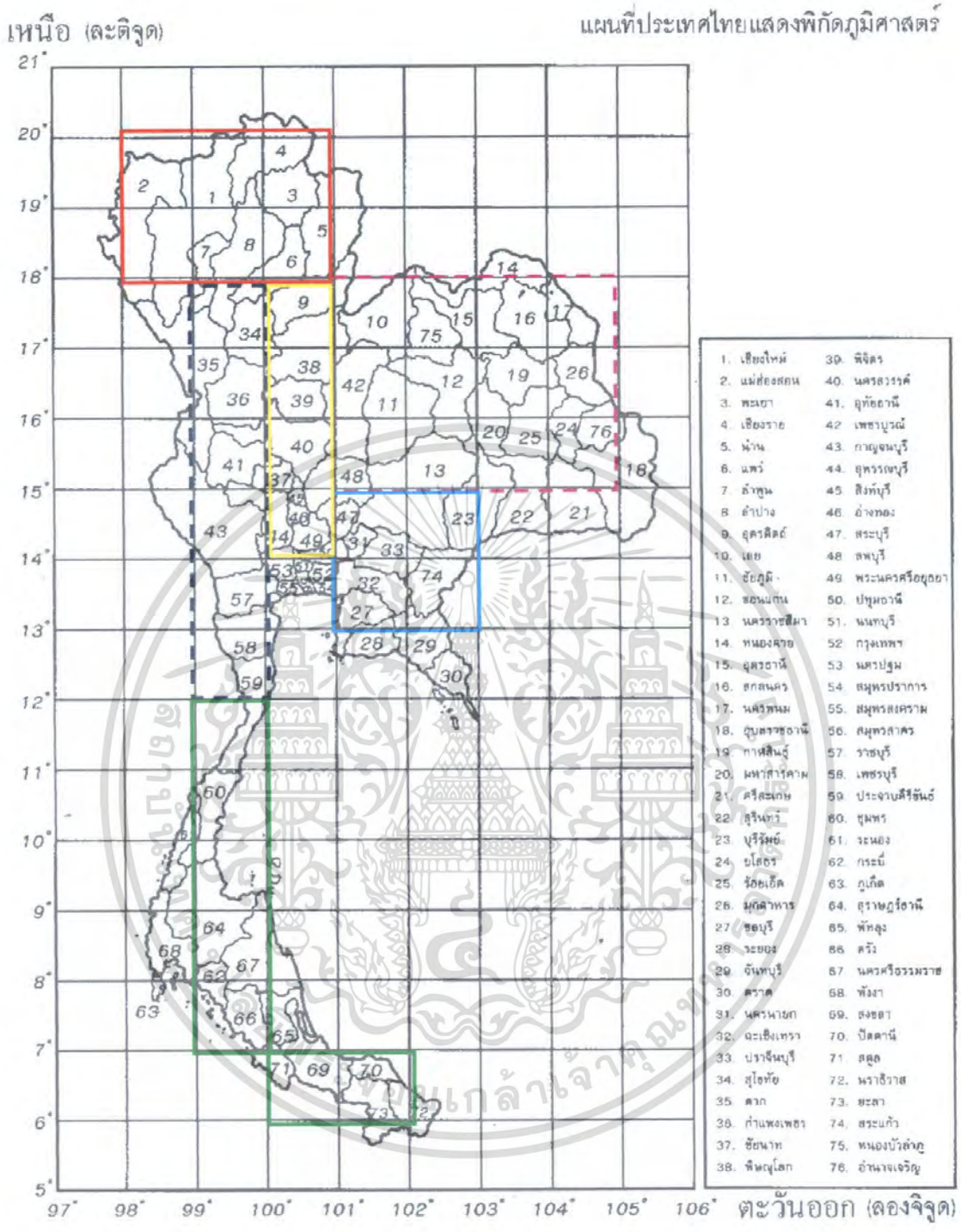
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะแบ่งประเทศไทยออกเป็น 3 แบบตามเส้นละติจูดและลองจิจูด คือ แบบ 2 node , แบบ 1 node , แบบ 1/2 node แสดงดังรูปที่ 3.1 - 3.3 ตามลำดับ



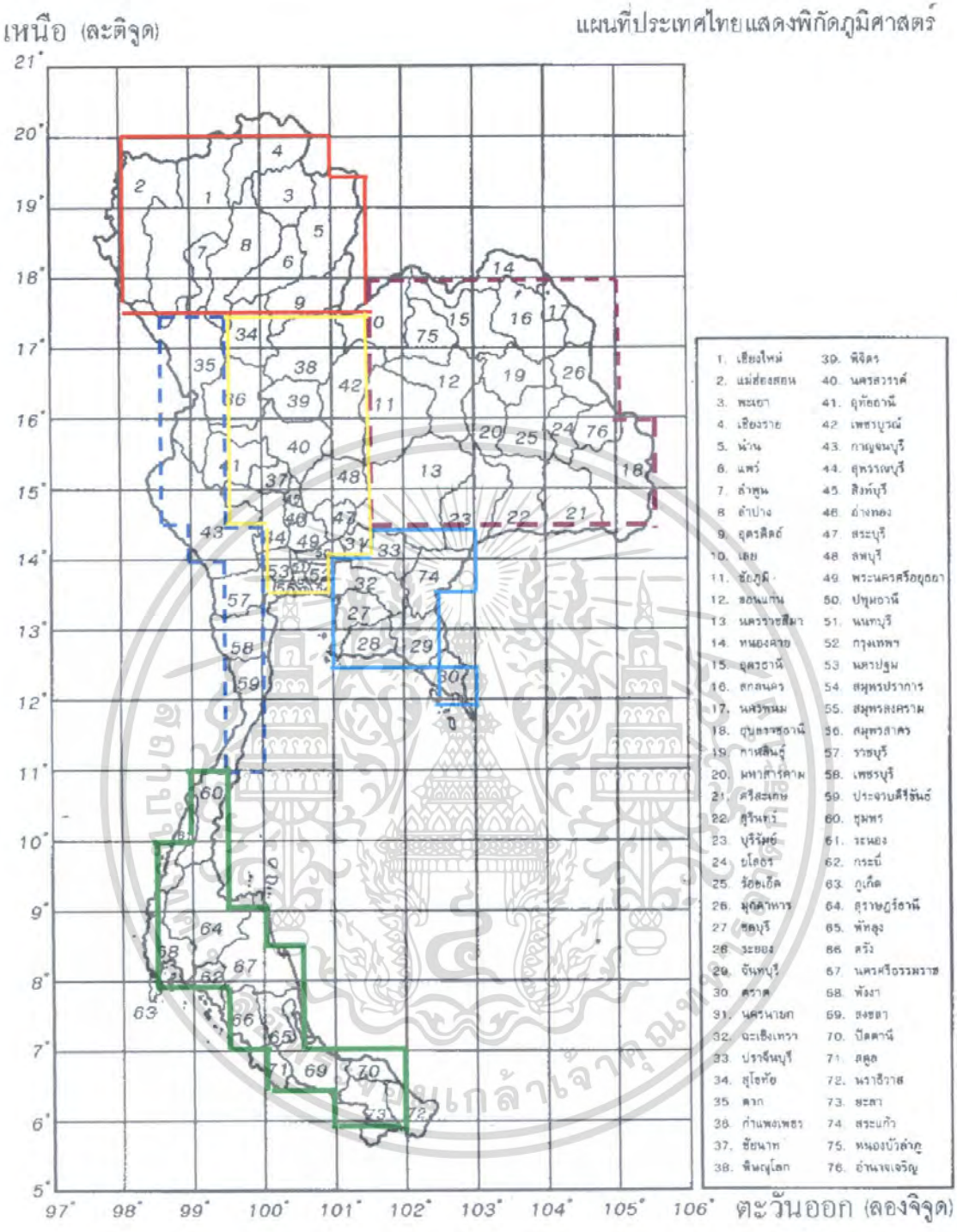
รูปที่ 3.1 ประเทศไทยแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 2 node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ประเทศไทยแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 1 node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

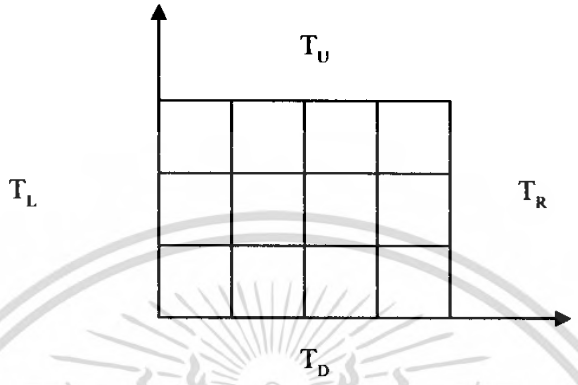


รูปที่ 3.3 ประเทศไทยแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 1/2 node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าขอบเขต (boundary value condition) โดยการนำข้อมูลจริงมาหาค่าเฉลี่ยโดยเฉลี่ยในแต่ละภาคของแต่ละเดือน ระยะเวลา ค.ศ. 2002 – 2007

ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างการคำนวณของภาคตะวันออกเฉียงเหนือแบบแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 1 node ในปีค.ศ. 2002 จะได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 ชุดสี่เหลี่ยมมุมฉากของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

- ขอบทางด้านซ้าย (T_L) จุดตัดระหว่างเส้นละติจูดและลองจิจูด ผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์ , พิษณุโลก , เพชรบูรณ์ และลพบุรี

- ขอบทางด้านขวา (T_R) จุดตัดระหว่างเส้นละติจูดและลองจิจูด ผ่านจังหวัดอุบลราชธานี และอำนาจเจริญ (แต่เนื่องจากเราไม่มีค่าอุณหภูมิจริงของจังหวัดอำนาจเจริญ จึงใช้แค่ค่าของจังหวัดอุบลราชธานีในการคำนวณ)

- ขอบทางด้านขวา (T_U) จุดตัดระหว่างเส้นละติจูดและลองจิจูด ผ่านจังหวัดเลย , อุตรดิตต์ และหนองคาย

- ขอบทางด้านขวา (T_D) จุดตัดระหว่างเส้นละติจูดและลองจิจูด ผ่านจังหวัดบุรีรัมย์ , ลพบุรี , นครราชสีมา , อุบลราชธานี และศรีสะเกษ (แต่เนื่องจากเราไม่มีค่าอุณหภูมิจริงของจังหวัดบุรีรัมย์ จึงใช้แค่ค่าของจังหวัดลพบุรี , นครราชสีมา , อุบลราชธานี และศรีสะเกษในการคำนวณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าขอบเขตดังตารางที่ 3.1

ปี 2002	T_L	T_R	T_U	T_D
มกราคม	25.0000	14.8000	23.3333	25.1750
กุมภาพันธ์	27.6750	15.6000	26.3667	28.0500
มีนาคม	29.7500	17.6000	28.4333	29.4250
เมษายน	31.0250	20.3000	30.7667	31.1250
พฤษภาคม	29.8250	23.0000	29.4333	29.8000
มิถุนายน	29.7250	22.9000	29.4000	29.7500
กรกฎาคม	29.3250	23.0000	28.5667	29.0000
สิงหาคม	28.4000	22.7000	28.1000	28.5500
กันยายน	28.0000	22.5000	27.6000	28.2750
ตุลาคม	27.9500	19.0000	27.6667	28.2500
พฤศจิกายน	27.0500	18.0000	26.0667	27.3000
ธันวาคม	26.9250	16.6000	25.2333	26.7750

ตารางที่ 3.1 ค่าขอบเขตของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปีค.ศ. 2002

ขั้นตอนที่ 3 นำขั้นตอนที่ 1 และ 2 มาหาผลเฉลยเพื่อหาค่าจุดภายใน โดยหาจากสมการดังนี้

$$T_{m+1,n} + T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 4T_{m,n} = 0$$

จุดอุณหภูมิภายในของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ต้องการหา คือ ตำแหน่ง $T_{1,1}, T_{1,2}, T_{2,1}, T_{2,2}, T_{3,1}, T_{3,2}$ ดังนั้น m = 1 , 2 , 3 และ n = 1 , 2

แทนค่า m และ n ในสมการ $T_{m+1,n} + T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 4T_{m,n} = 0$

เมื่อ

$$\left.\begin{array}{lll} m = 1, n = 1 & ; & T_{2,1} + T_{0,1} + T_{1,2} + T_{1,0} - 4T_{1,1} = 0 \\ m = 1, n = 2 & ; & T_{2,2} + T_{0,2} + T_{1,3} + T_{1,1} - 4T_{1,2} = 0 \\ m = 2, n = 1 & ; & T_{3,1} + T_{1,1} + T_{2,2} + T_{2,0} - 4T_{2,1} = 0 \\ m = 2, n = 2 & ; & T_{3,2} + T_{1,2} + T_{2,3} + T_{2,1} - 4T_{2,2} = 0 \\ m = 3, n = 1 & ; & T_{4,1} + T_{2,1} + T_{3,2} + T_{3,0} - 4T_{3,1} = 0 \\ m = 3, n = 2 & ; & T_{4,2} + T_{2,2} + T_{3,3} + T_{3,1} - 4T_{3,2} = 0 \end{array}\right\} \quad 3.1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าขอบของในปีค.ศ. 2002 เดือนมกราคม

ปี 2002	T_L	T_R	T_U	T_D
มกราคม	25.0000	14.8000	23.3333	25.1750

ตารางที่ 3.2 ค่าขอบเขตของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนมกราคม ปีค.ศ. 2002

ดังนั้น T_L = 25.0000 บนแกน x จะได้ $T_{0,0} = T_{0,1} = T_{0,2} = T_{0,3} = 25.0000$

T_R = 14.8000 บนแกน x = 4 จะได้ $T_{4,0} = T_{4,1} = T_{4,2} = T_{4,3} = 14.8000$

T_D = 14.8000 บนแกน y จะได้ $T_{0,0} = T_{1,0} = T_{2,0} = T_{3,0} = T_{4,0} = 23.3333$

T_U = 14.8000 บนแกน y = 3 จะได้ $T_{0,3} = T_{1,3} = T_{2,3} = T_{3,3} = T_{4,3} = 25.1750$

แทนค่าในสมการที่ 3.1 จะได้

$$T_{2,1} + T_{1,2} - 4T_{1,1} = -50.1750$$
$$T_{2,2} + T_{1,1} - 4T_{1,2} = -48.3333$$
$$T_{3,1} + T_{1,1} + T_{2,2} - 4T_{2,1} = -25.1750$$
$$T_{3,2} + T_{1,2} + T_{2,1} - 4T_{2,2} = -23.3333$$
$$T_{2,1} + T_{3,2} - 4T_{3,1} = -39.9750$$
$$T_{2,2} + T_{3,1} - 4T_{3,2} = -38.1333$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} -4 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -4 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -4 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{1,1} \\ T_{1,2} \\ T_{2,1} \\ T_{2,2} \\ T_{3,1} \\ T_{3,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -50.1750 \\ -48.3333 \\ -25.1750 \\ -23.3333 \\ -39.9750 \\ -38.13333 \end{bmatrix} \quad 3.2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 หาผลเฉลยของแต่ละสมการโดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพอันหนึ่ง เหมาะที่จะนำไปใช้ประกอบในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

จากสมการที่ 3.2 สามารถหาค่าผลเฉลยของสมการได้โดยใช้ MATLAB ดังนี้

```
>> A=[-4 1 1 0 0 0;1 -4 0 1 0 0;1 0 -4 1 1 0;0 1 1 -4 0 1;0 0 1 0 -4 1;0 0 0 1 1 -4];
>> B=[-50.175;-48.3333;-25.1750;-23.3333;-39.9750;-38.13333];
>> x=A\B

x =
   24.3283
   23.8479
   23.2904
   22.7299
   20.9283
   20.4479
```

ขั้นตอนที่ 5 นำค่าจุดอุณหภูมิภายในของแต่ละเดือนมาหาค่าเฉลี่ย

จากค่า x ในขั้นตอนที่ 4 หาค่าเฉลี่ยได้ดังนี้

```
>> sum(x)/6
ans =

   22.5954
```

ดังนั้นจะได้ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนมกราคม ปีค.ศ. 2002 เท่ากับ 22.5954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 2002	ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ย	ปี 2002	ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ย
มกราคม	22.5954	กรกฎาคม	27.8236
กุมภาพันธ์	25.0844	สิงหาคม	27.2500
มีนาคม	26.9663	กันยายน	26.8809
เมษายน	28.9213	ตุลาคม	26.2147
พฤษภาคม	28.3990	พฤศจิกายน	25.0695
มิถุนายน	28.3381	ธันวาคม	24.4061

ตารางที่ 3.3 ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปีค.ศ. 2002

3.2 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยซอฟต์แวร์ EasyFEM

ซอฟต์แวร์ EasyFEM เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานได้ง่าย นับตั้งแต่การสร้างรูปร่างที่ซับซ้อน การสร้างเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ การประยุกต์ภาระโหลดในรูปแบบต่าง ๆ กัน และการแสดงผลด้วยกราฟิกส์สี

ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างการคำนวณของภาคตะวันออกเฉียงเหนือแบบแบ่งตามเส้นละติจูดและลองจิจูดแบบ 1 node ของเดือนมกราคมในปีค.ศ. 2002 (แบ่งตามวิธีผลต่างสืบเนื่อง)โดยจุดตัดของเส้นละติจูดและลองจิจูดผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์ , หนองคาย , เลย , อุดรธานี , สกลนคร , พิษณุโลก , เพชรบูรณ์ , มุกดาหาร , ชัยภูมิ , ร้อยเอ็ด , อุบลราชธานี , ศรีสะเกษ , ลพบุรี , หนองคาย และนครราชสีมา

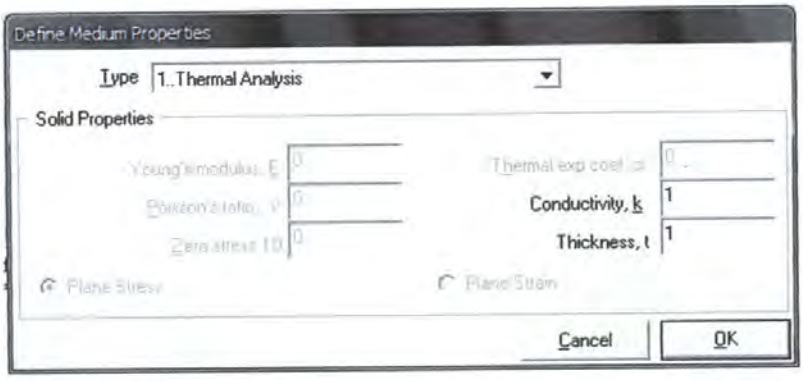
ขั้นตอนการใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เปิด EasyFEM ขึ้นมา จะปรากฏหน้าของซอฟต์แวร์ EasyFEM

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมพื้นที่สำหรับการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ปัญหา โดยใช้คำสั่ง File > New จะปรากฏกล่องสนทนา Define Medium Properties แสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นกล่องสนทนาสำหรับการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

สำหรับปัญหาการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน ให้เลือก 1. Thermal Analysis ในงานการวิจัยนี้ กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 1 และค่าความหนาเท่ากับ 1 ดังนั้นให้ทำการกรอกค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 1 ลงในช่อง Conductivity , k และค่าความหนาเท่ากับ 1 ลงในช่อง Thickness , t แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK เพื่อเริ่มต้นการสร้างแบบจำลอง โดยพื้นที่สำหรับการแสดงผลจะเปลี่ยนจากสีเทามาเป็นสีดำ

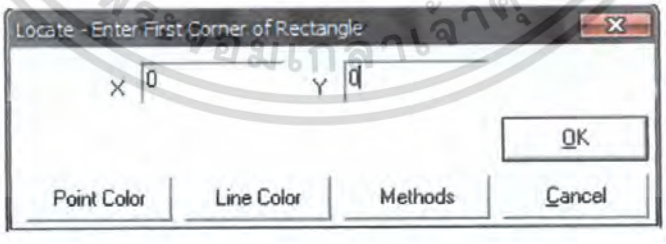
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กล่องสนทนา Define Medium Properties

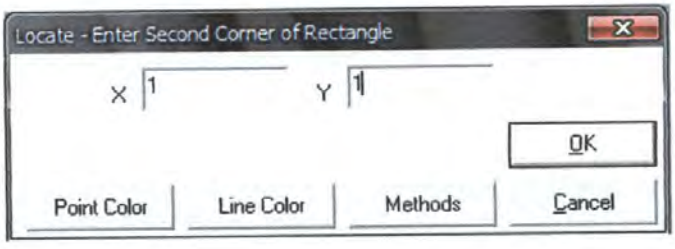
ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง โดยการสร้างรูปสี่เหลี่ยมจะใช้คำสั่ง Create > Line > Rectangle ซึ่งจะปรากฏกล่องสนทนา Locate – Enter First Corner of Rectangle แสดงดังรูปที่ 3.6 ให้กรอกตัวเลขพิกัดของจุดที่ 1 เท่ากับ (0,0) ลงในช่อง X และ Y ตามลำดับ แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK จากนั้นจะปรากฏกล่องสนทนา Locate – Enter Second Corner of Rectangle แสดงดังรูปที่ 3.7 ให้กรอกตัวเลขพิกัดของจุดที่ 3 เท่ากับ (1,1) ลงในช่อง X และ Y ตามลำดับ แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK รูปสี่เหลี่ยมขนาด 1 x 1 จะถูกสร้างขึ้น แล้วกดปุ่มคำสั่ง Cancel เนื่องจากแบบจำลองสี่เหลี่ยมนี้ได้สร้างเสร็จแล้ว แสดงดังรูปที่ 3.8

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าจุดปลายของรูปสี่เหลี่ยมจะมีหมายเลขประจำตัว P กำกับ เช่น P1 หมายถึง จุด (point) ลำดับที่ 1 และเส้นตรงจะมีหมายเลขประจำตัว L กำกับ เช่น L1 หมายถึง เส้น (line) ลำดับที่ 1 เป็นต้น โดยหมายเลขประจำตัวของวัตถุต่าง ๆ จะถูกกำหนดขึ้นโดยอัตโนมัติ

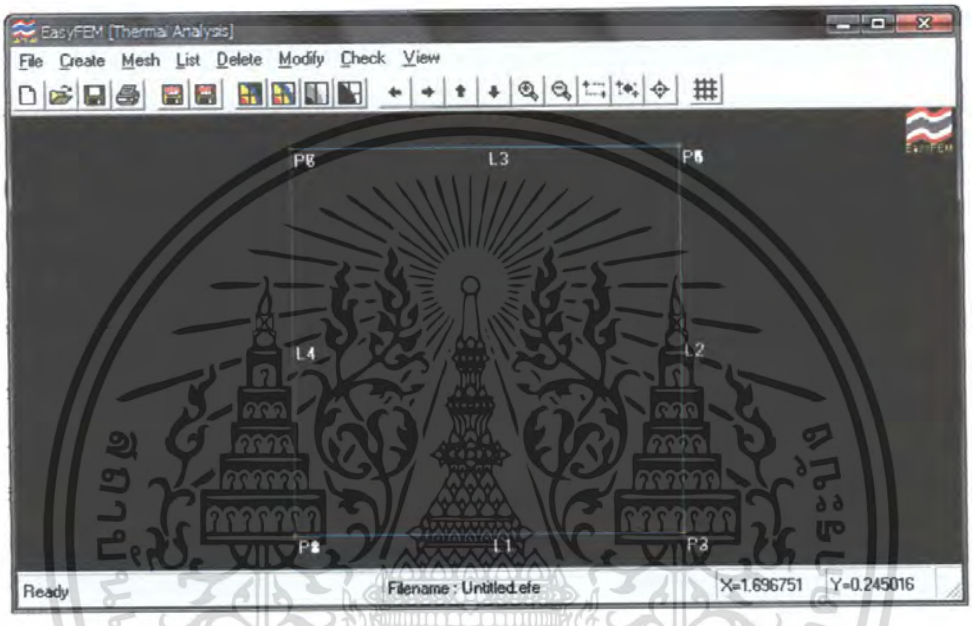


รูปที่ 3.6 กล่องสนทนา Locate – Enter First Corner of Rectangle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



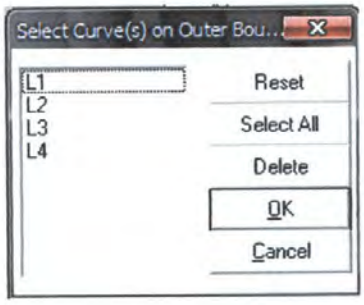
รูปที่ 3.7 กล่องสนทนา Locate – Enter Second Corner of Rectangle



รูปที่ 3.8 รูปสี่เหลี่ยมขนาด 1 x 1

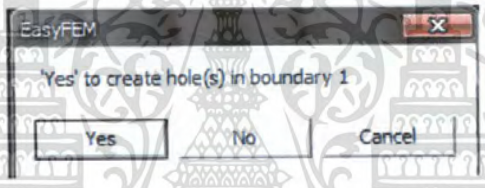
ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการกำหนดขอบเขตโดเมน (boundary) เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตของการสร้างเอลิเมนต์สามเหลี่ยมย่อย ๆ การกำหนดขอบเขตโดเมนจะใช้คำสั่ง Mesh > Define Boundary ซึ่งจะปรากฏกล่องสนทนา Select Curve (s) on Outer Boundary จากนั้นให้ทำการเลือกเส้นทั้งสี่ (L1 ถึง L4) ซึ่งเป็นเส้นขอบนอกของโดเมน โดยใช้เมาส์คลิกเส้นแต่ละเส้น ซึ่งเส้นที่ถูกเลือกจะปรากฏในกล่องสนทนา แสดงดังรูปที่ 3.9 เมื่อทำการเลือกเส้นขอบนอกเสร็จให้คลิกที่ปุ่มคำสั่ง OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

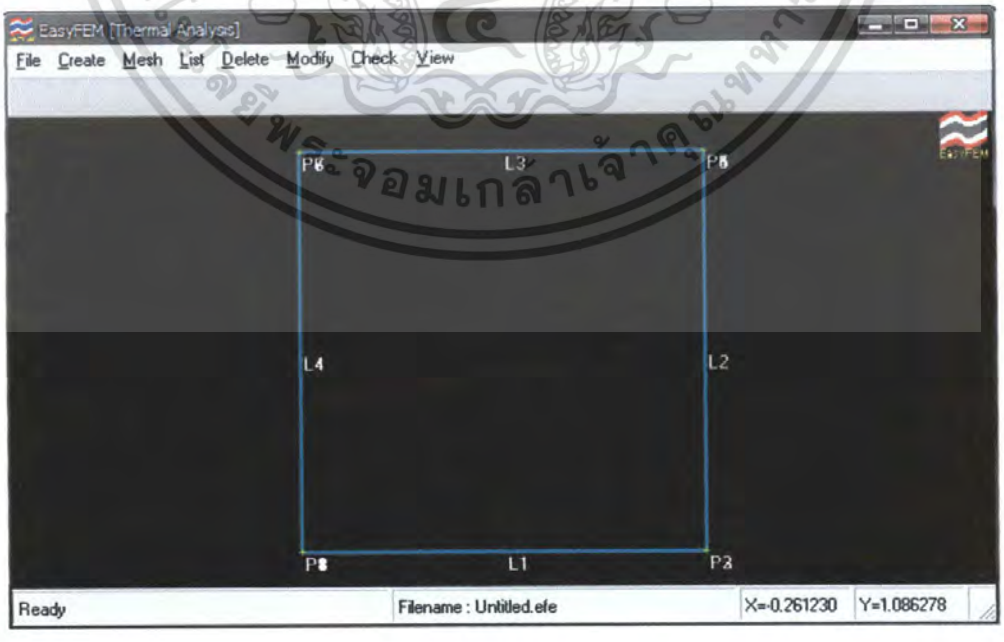


รูปที่ 3.9 กล่องสนทนา Select Curve (s) on Outer Boundary

จากนั้นจะปรากฏกล่องสนทนาดังรูปที่ 3.10 เพื่อถามว่าโดเมนที่กำลังเลือกมีรูภายในหรือไม่ ในกรณีนี้ไม่มีรูภายในให้คลิกที่ปุ่มคำสั่ง No เป็นอันสิ้นสุดขั้นตอนการกำหนดขอบเขตโดเมน เส้นทั้งหมดที่ถูกเลือกให้เป็นขอบเขตโดเมนจะถูกแสดงผลด้วยเส้นที่มีความหนาขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.11



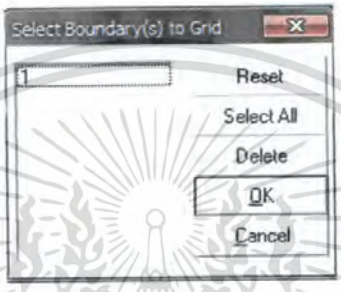
รูปที่ 3.10 กล่องสนทนาเพื่อยืนยันการสร้างรูภายในโดเมน



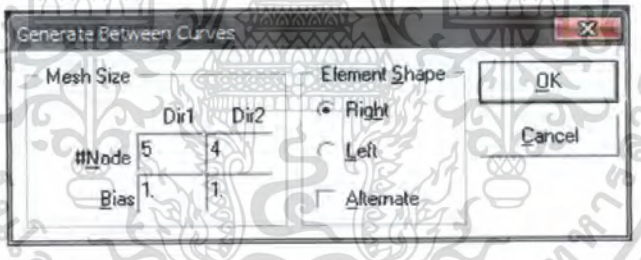
รูปที่ 3.11 การแสดงผลขอบเขตโดเมนรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 เป็นการสร้างเอลิเมนต์แบบมีระเบียบ (structured mesh) โดยการเลือกคำสั่ง Mesh > structured mesh ซึ่งจะปรากฏกล่องสนทนา Select Boundary (s) to Grid เพื่อเลือกขอบเขตที่ต้องการสร้างเอลิเมนต์แบบมีระเบียบ ให้เลือกขอบเขตด้วยการคลิกลงในพื้นที่ของขอบเขต ซึ่งขอบเขตที่ถูกเลือก (หมายเลขประจำตัวของขอบเขตในกรณีนี้เท่ากับ 1) จะปรากฏในกล่องสนทนา แสดงดังรูปที่ 3.12 แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK จากนั้นจะปรากฏกล่องสนทนา Generate Between Curves สำหรับการกำหนดเงื่อนไขของการสร้างเอลิเมนต์แบบมีระเบียบ แสดงดังรูปที่ 3.13



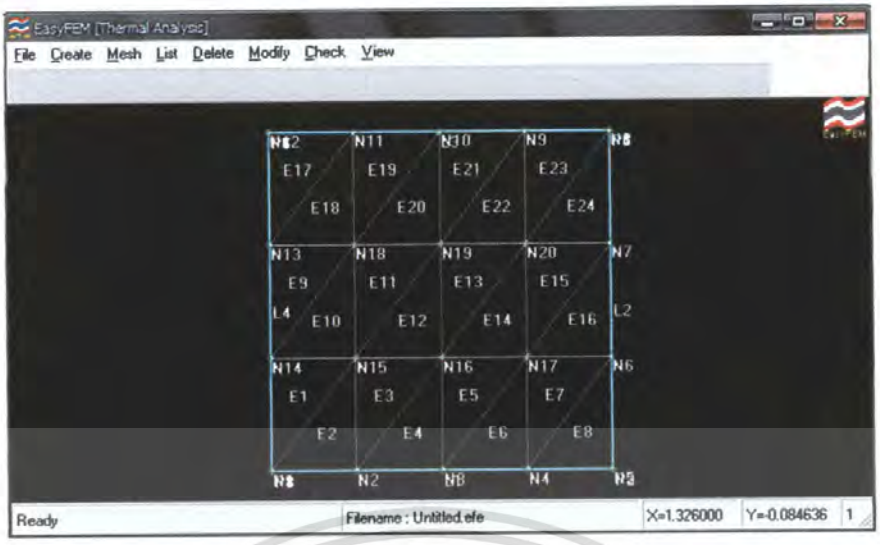
รูปที่ 3.12 Select Boundary (s) to Grid



รูปที่ 3.13 กล่องสนทนา Generate Between Curves

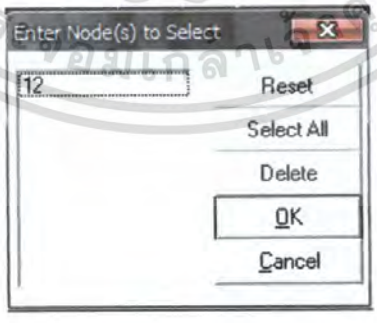
กรณีนี้สมมติว่าต้องการแบ่งโดเมนออกเป็นขนาด 3 x 3 ช่อง และสร้างเอลิเมนต์แบบมีระเบียบโดยให้เอียงมาทางขวามือ ให้กรอกตัวเลขจำนวนจุดต่อเท่ากับ 4 ลงในช่อง #Node ทั้งในทิศทาง Dir1 และ Dir2 และคลิกเลือกปุ่ม Right ภายในกรอบ Element Shape แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK ซอฟต์แวร์ EasyFEM จะทำการสร้างเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบมีระเบียบและเอียงมาทางขวามือ แสดงดังรูปที่ 3.14 โดยทุก ๆ ปลายของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมภายในโดเมนจะถูกแสดงด้วยเครื่องหมาย x ซึ่งหมายถึงจุดต่อของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม ส่วนจุดต่อของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมเฉพาะจุดต่อของด้าน (edge) ที่เป็นขอบเขตโดเมนจะถูกแสดงผลด้วยเครื่องหมาย◇

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



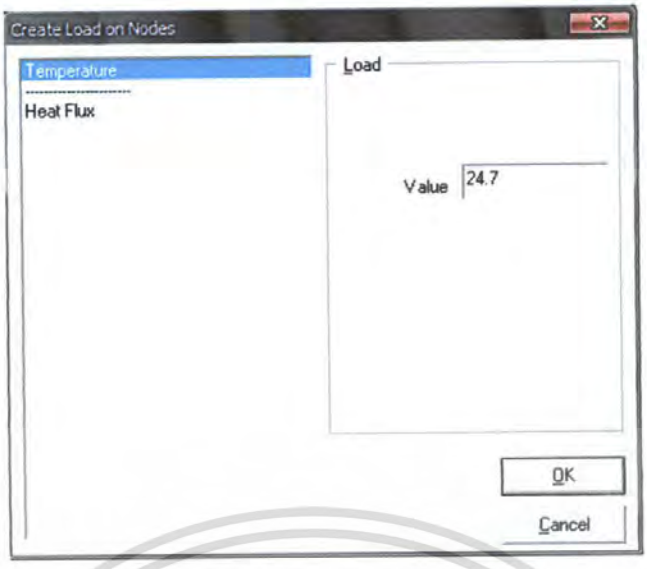
รูปที่ 3.14 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบมีระเบียบ

ขั้นตอนที่ 6 เป็นขั้นตอนการกำหนดภาระโหลด (load) ตามขอบของโมเดล โดยสำหรับตัวอย่างนี้เป็นการกำหนดอุณหภูมิ โดยการเลือกคำสั่ง Create > Load > On Node ซึ่งจะปรากฏกล่องสนทนา Enter Node (s) to Select แสดงดังรูปที่ 3.15 เพื่อเลือกจุดต่อที่ต้องการกำหนดอุณหภูมิ โดยใช้เมาส์คลิกลงในบริเวณจุดต่อที่ต้องการ ซึ่งจุดต่อที่ถูกเลือกจะปรากฏเครื่องหมายล้อมรอบจุดและจะปรากฏหมายเลขประจำตัวจุดต่อในกล่องสนทนา แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK จะปรากฏกล่องสนทนา Create Load on Node แสดงดังรูปที่ 3.16 ให้เลือกรายการ Temperature ในช่องทางซ้ายมือ และกรอกค่าอุณหภูมิที่ต้องการลงในช่อง Value ทางขวามือ แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK แล้วให้ดำเนินการซ้ำคล้ายเดิมจนครบจุดต่อตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.15 กล่องสนทนา Enter Node (s) to Select

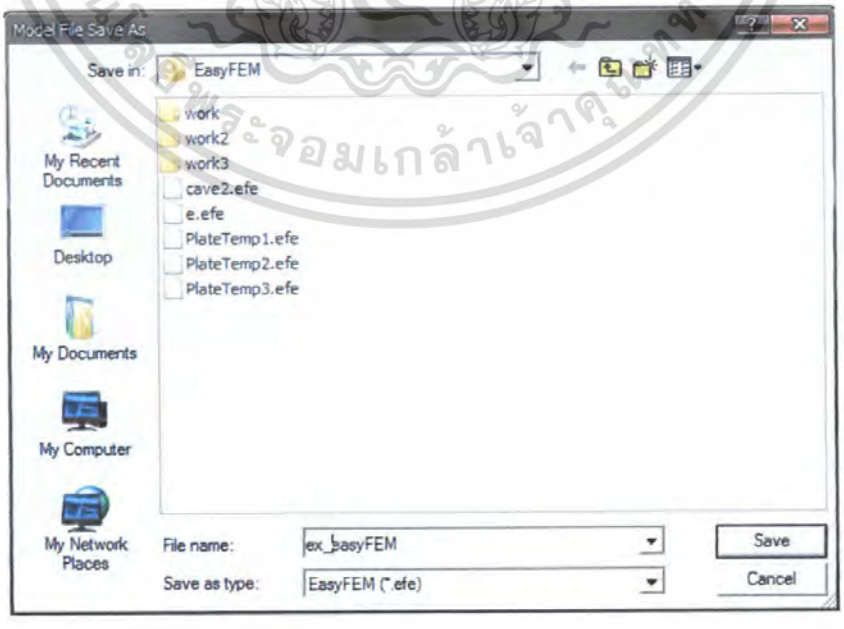
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 กล่องสนทนา Create Load on Node

ขั้นตอนที่ 7 เป็นขั้นตอนการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์โดยการเลือกคำสั่ง File > Save ซึ่งจะปรากฏกล่องสนทนา Model File Save As จากนั้นให้กรอกชื่อไฟล์ที่ต้องการลงในช่อง File name แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง Save แสดงดังรูปที่ 3.17 ซึ่งชื่อไฟล์ที่กำหนดจะปรากฏในช่อง Filename ของแถบบอกสถานะ (status bar) ตรงกลางด้านล่างของ EasyFEM

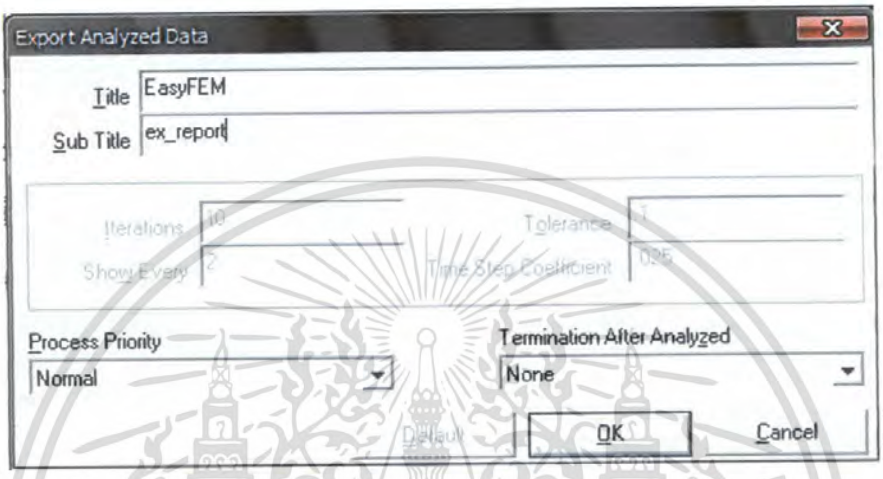
สำหรับการจัดเก็บข้อมูลลงไฟล์ สามารถที่จะกระทำทันทีหลังขั้นตอนที่ 1 หรือหลังจากการสร้างแบบจำลอง



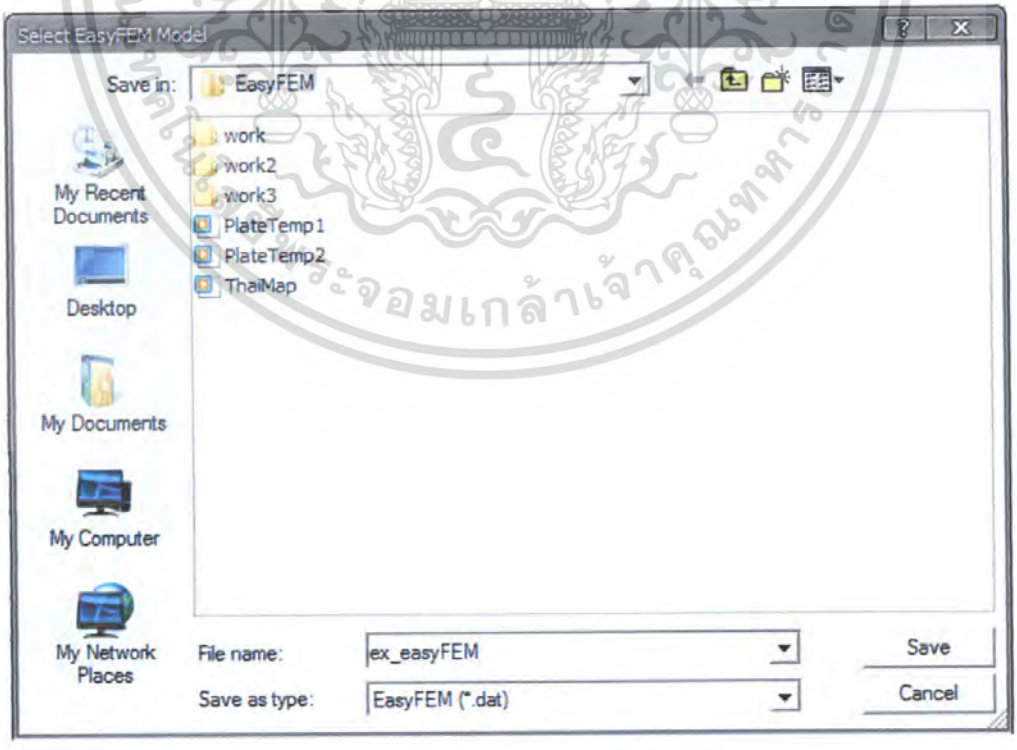
รูปที่ 3.17 กล่องสนทนา Model File Save As

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 8 เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา โดยการเลือกคำสั่ง File > Analyze ซึ่งจะปรากฏกล่องสนทนา Export Analyzed Data ให้กรอกข้อความ Title และ Sub Title เพื่อใช้ในกรอกข้อความใด ๆ ซึ่งมีประโยชน์สำหรับช่วยเตือนความจำเกี่ยวกับไฟล์ที่กำลังแก้ไข โดยไม่มีผลใด ๆ ต่อการวิเคราะห์ปัญหา แสดงดังรูปที่ 3.18 และคลิกคำสั่ง OK เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหา จะปรากฏกล่องสนทนา Select EasyFEM Model แสดงดังรูปที่ 3.19 ให้คลิกปุ่มคำสั่ง Save



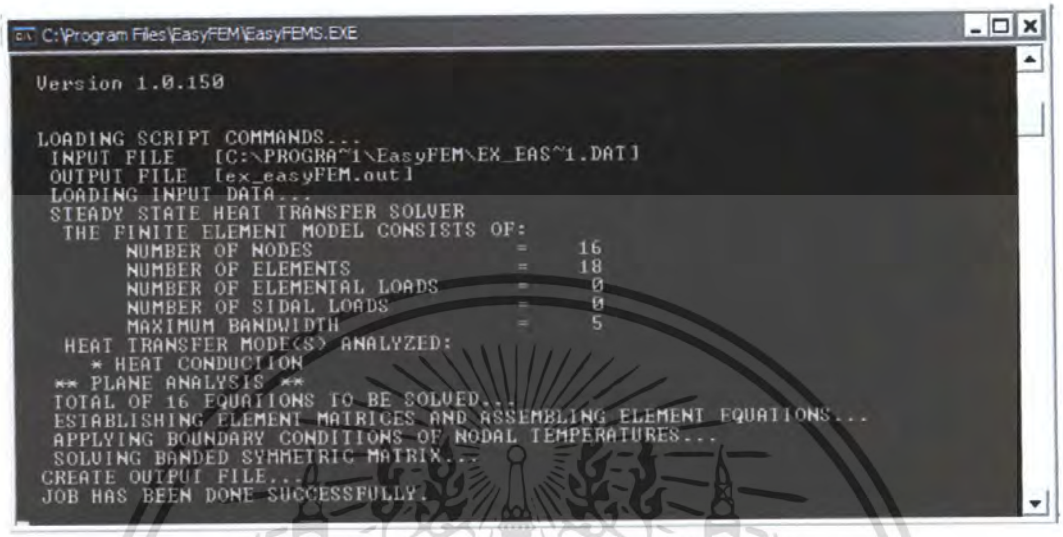
รูปที่ 3.18 กล่องสนทนา Export Analyzed Data



รูปที่ 3.19 กล่องสนทนา Select EasyFEM Model

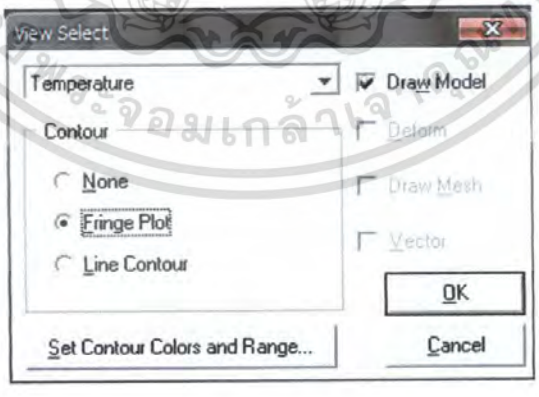
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงของการวิเคราะห์ปัญหา EasyFEM จะทำการเรียกตัวโปรแกรม EasyFEM ซึ่งทำหน้าที่วิเคราะห์ปัญหาที่กำลังแก้ไขอยู่นั้น โดยเมื่อโปรแกรม EasyFEM ทำงานจะปรากฏหน้าต่างแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 โปรแกรม EasyFEM

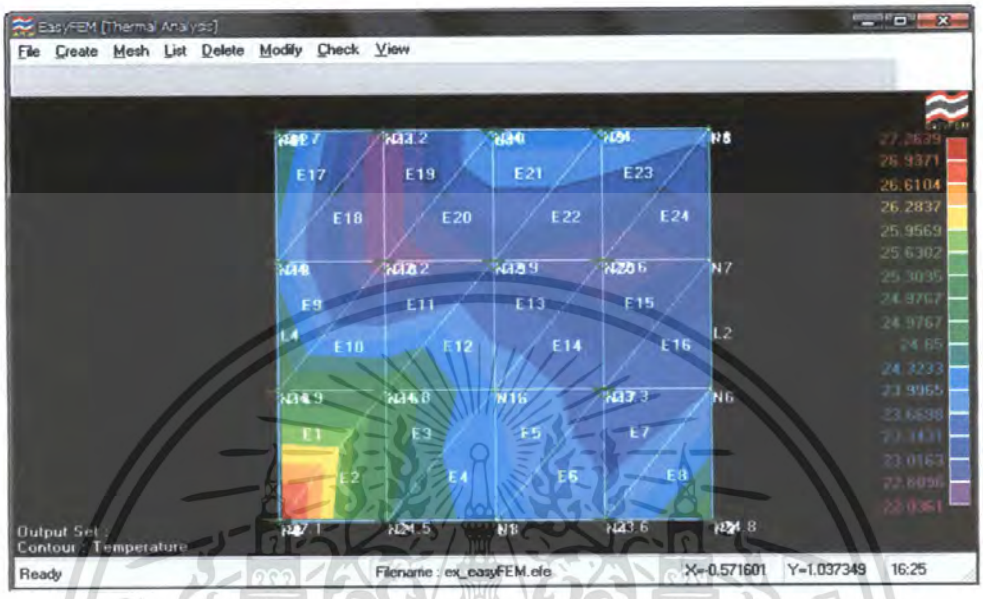
ขั้นตอนที่ 9 เป็นขั้นตอนการแสดงผลหลังการวิเคราะห์ โดยการเลือกคำสั่ง Veiw > Select ซึ่งจะปรากฏกล่องสนทนา Veiw Select เพื่อเลือกผลลัพธ์การวิเคราะห์ที่ต้องการแสดงผล แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 กล่องสนทนา Veiw Select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถแสดงผลเฉพาะอุณหภูมิให้เลือกช่อง Fringe Plot ภายในกรอบ Contour และคลิกเลือก Draw Model เพื่อแสดงผลการกระจายอุณหภูมิด้วยแถบชั้นสี แล้วจึงคลิกปุ่มคำสั่ง OK แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิด้วยแถบชั้นสีและแบบจำลอง

ขั้นตอนที่ 10 นำค่าจุดอุณหภูมิภายในโดยการเทียบค่าสีในแต่ละจุด แล้วนำค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิโดยอุณหภูมิของทุก Node บวกกันแล้วหารด้วยจำนวน

ดังนั้นจะได้ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนมกราคม ปีค.ศ. 2002 เท่ากับ 24.1762

ปี 2002	ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ย	ปี 2002	ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ย
มกราคม	24.1762	กรกฎาคม	29.0199
กุมภาพันธ์	27.0442	สิงหาคม	28.1849
มีนาคม	29.1000	กันยายน	27.7660
เมษายน	30.7525	ตุลาคม	27.7329
พฤษภาคม	29.1038	พฤศจิกายน	26.5329
มิถุนายน	29.4933	ธันวาคม	26.1600

ตารางที่ 3.4 ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปีค.ศ. 2002

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

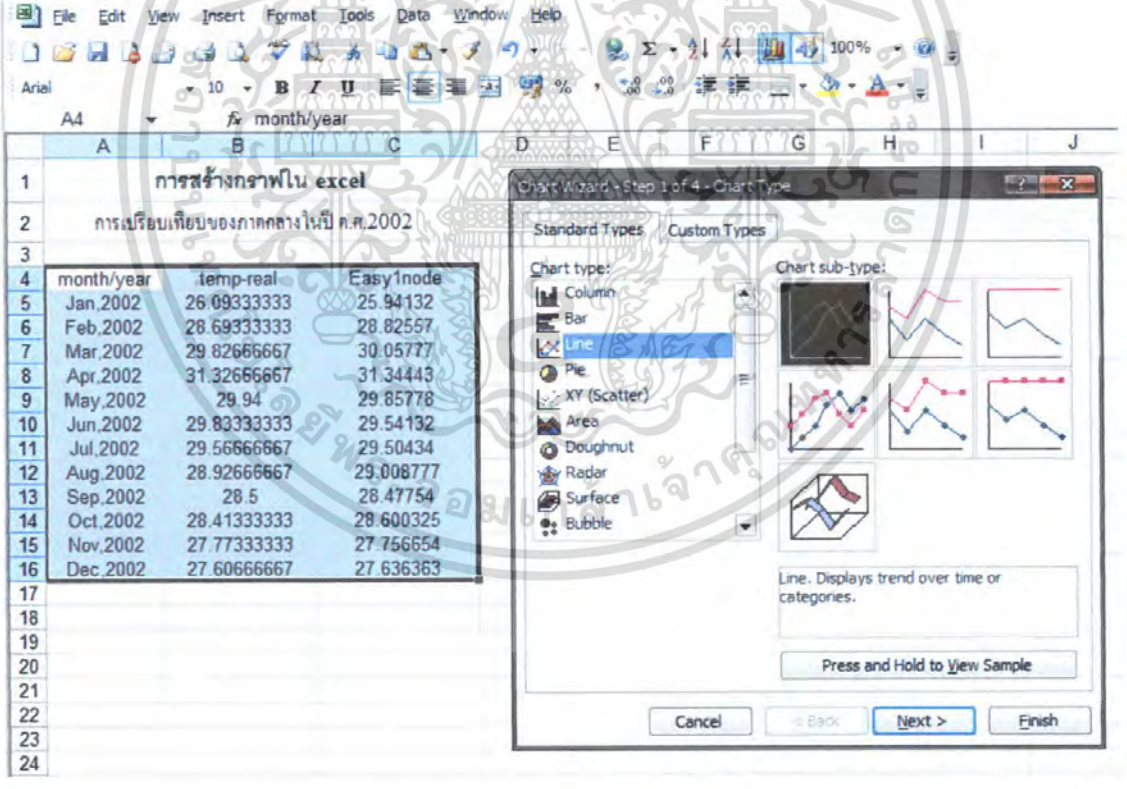
3.3 การสร้างกราฟใน Microsoft Office excel

กราฟ หรือ "ชาร์ต" เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขได้ชัดเจน และสื่อความหมายมากขึ้น โดยเฉพาะข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบความมากน้อยหรือแสดงแนวโน้วของค่าต่างๆ

3.3.1 การสร้างกราฟ มีขั้นตอนดังนี้

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการสร้างกราฟการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยจริงกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM ของภาคกลางในปี ค.ศ.2002

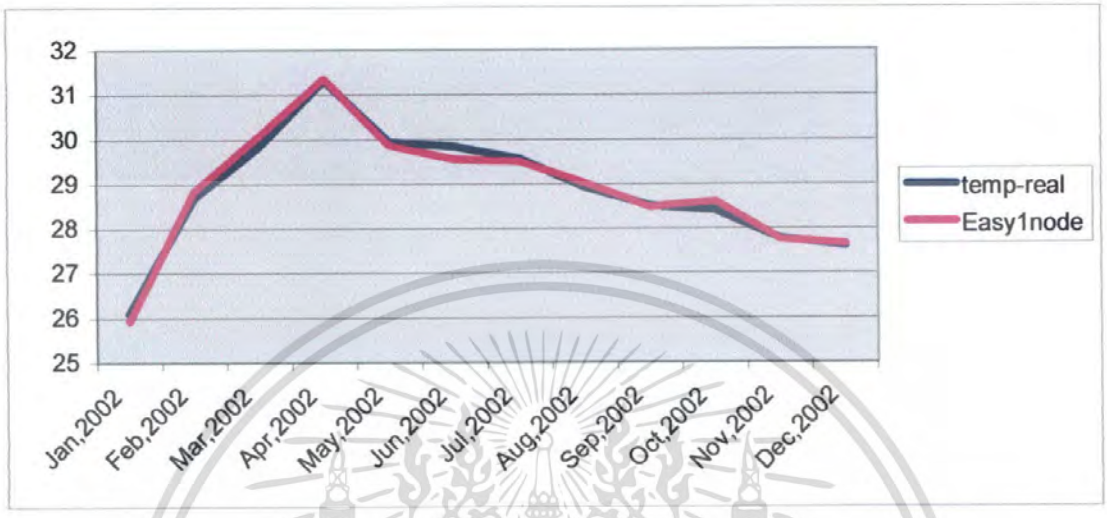
ขั้นตอนที่ 1 เลือกกลุ่มข้อมูลที่ต้องการสร้างกราฟ โดยเลือกทั้งส่วนที่เป็นข้อมูล และชื่อแถวหรือคอลัมน์ของข้อมูลนั้น ต่อจากนั้นคลิกปุ่ม Chart Wizard (ตัวช่วยสร้างแผนภูมิ) แล้วเลือกประเภทกราฟจากรายการในช่อง Chart Type (ชนิดแผนภูมิ) เช่น ถ้าใช้กราฟเส้น เลือก line (เส้น) และเลือกประเภทกราฟจากรายการในช่อง Chart sub Type (ชนิดย่อยของแผนภูมิ) หลังจากนั้น กดปุ่ม Next แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ขั้นตอนที่ 1 การสร้างกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เลือกว่าจะนำข้อมูลในแนวคอลัมน์หรือแถวมาเรียง เช่น ในตัวอย่างข้อมูลแต่ละชุดอยู่ในแนวคอลัมน์ ดังนั้นจึงเลือกตัวเลือกคอลัมน์ (column) แล้วคลิกปุ่ม เสร็จสิ้น (finish) ก็จะได้รูปภาพบนเวิร์กชีต และปรับแต่งกราฟแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ประเภทของกราฟ

กราฟสามารภแบ่งออกได้ประเภท แสดงดังรูปที่ 3.25

ประเภทกราฟ		เหมาะสำหรับ
	กราฟแท่งแนวตั้ง	เปรียบเทียบข้อมูลเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนมักใช้กับจำนวนของสิ่งต่างๆ เช่น จำนวนเงิน จำนวนคน
	กราฟแท่งแนวนอน	เหมือนกราฟแท่งแนวตั้ง เพียงแต่แท่งกราฟจะอยู่ในแนวนอน
	กราฟเส้น	แสดงค่าข้อมูลและแนวโน้มภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง
	กราฟวงกลม	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแต่ละค่ากับผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
	กราฟ XY	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลข 2 กลุ่ม เพื่อการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (linear regression) หรือแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขหลายชุด เพื่อดูการแบ่งช่วงหรือจับกลุ่มของข้อมูล
	กราฟพื้นที่ (Area)	คล้ายกับเส้น แต่จะแสดงให้เห็นผลรวมและแนวโน้วผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
	กราฟรูปโดนัท	คล้ายกราฟวงกลมแต่ซับซ้อนกว่า เพราะสามารถเปรียบเทียบข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไปได้
	กราฟเรดาร์	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในแต่ละชุดในรูปของขอบเขตพื้นที่ข้อมูลชุดนั้นๆครอบครองโดยข้อมูลแต่ละชุดจะมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน
	กราฟพื้นผิว	ใช้หาจุดสมดุลของผลลัพธ์จากตัวแปร 2 ตัว โดยตัวหนึ่งอยู่ทางแกน X และอีกตัวอยู่ทางแกน Y พื้นผิวในกราฟที่มีสีเดียวกัน คือจุดที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองให้ผลลัพธ์ออกมาเท่าหรือใกล้เคียงกัน
	กราฟฟองสบู่	คล้ายกับกราฟ XY (scatter) แต่มีตัวแปรได้ถึง 3 ตัวโดยตัวที่ 3 จะแสดงด้วยขนาดของฟองสบู่
	กราฟหุ้น (stock)	ใช้แสดงความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลใดๆ (ที่ประกอบไปด้วย ค่าสูงสุด, ต่ำสุดและค่าอื่นๆ) ณ แต่ละจุดของเวลาภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยมากมักใช้กับราคาหุ้นเพราะสามารถแสดงราคาสูงสุด - ต่ำสุด และราคาปิดได้ดี
	กราฟแท่งรูปทรงทรงกระบอก	เหมือนกราฟแท่ง แต่แสดงค่าแสดงค่าข้อมูลเป็นรูปทรงกระบอกแทน
	กราฟแท่งรูปทรงกรวย	เหมือนกราฟแท่ง แต่แสดงค่าข้อมูลเป็นรูปทรงกรวย
	กราฟแท่งรูปปิรามิด	เหมือนกราฟแท่ง แต่แสดงค่าของข้อมูลเป็นรูปปิรามิด

รูปที่ 3.25 ประเภทของกราฟ

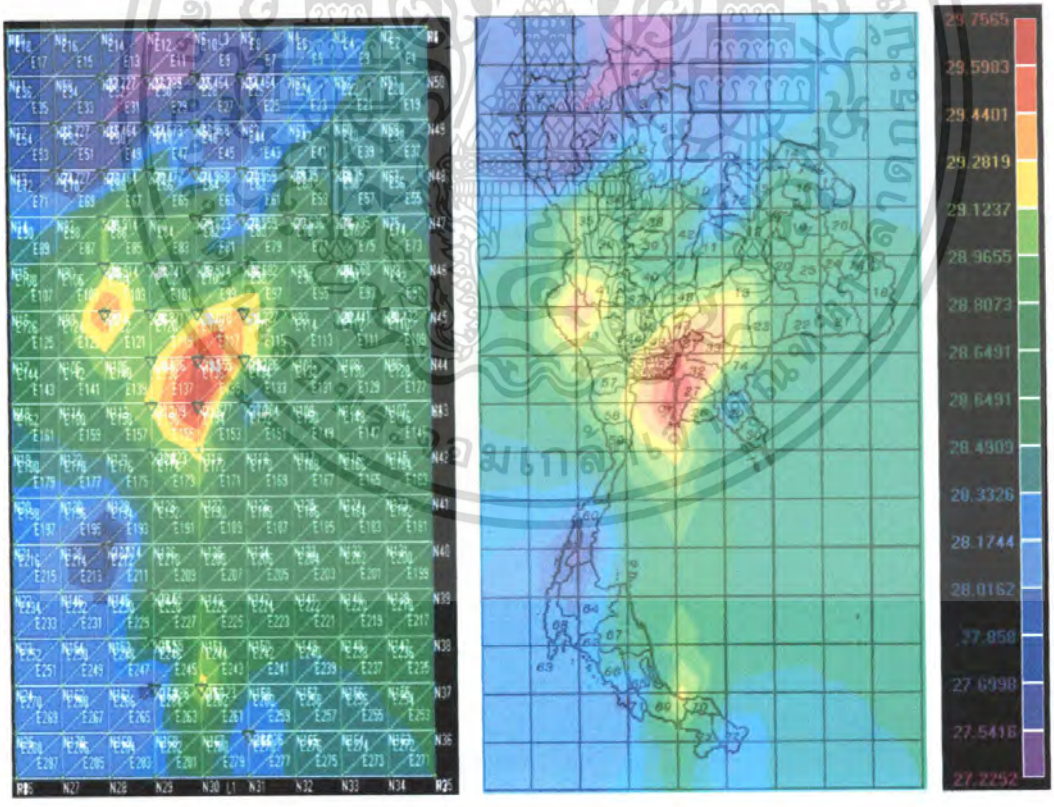
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัยโดยแสดงอยู่ในรูปการแสดงผลการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยโดยแบ่งเป็นฤดู กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ เป็นภาค และกราฟแสดงค่าจากการพยากรณ์โดยวิธีต่าง ๆ

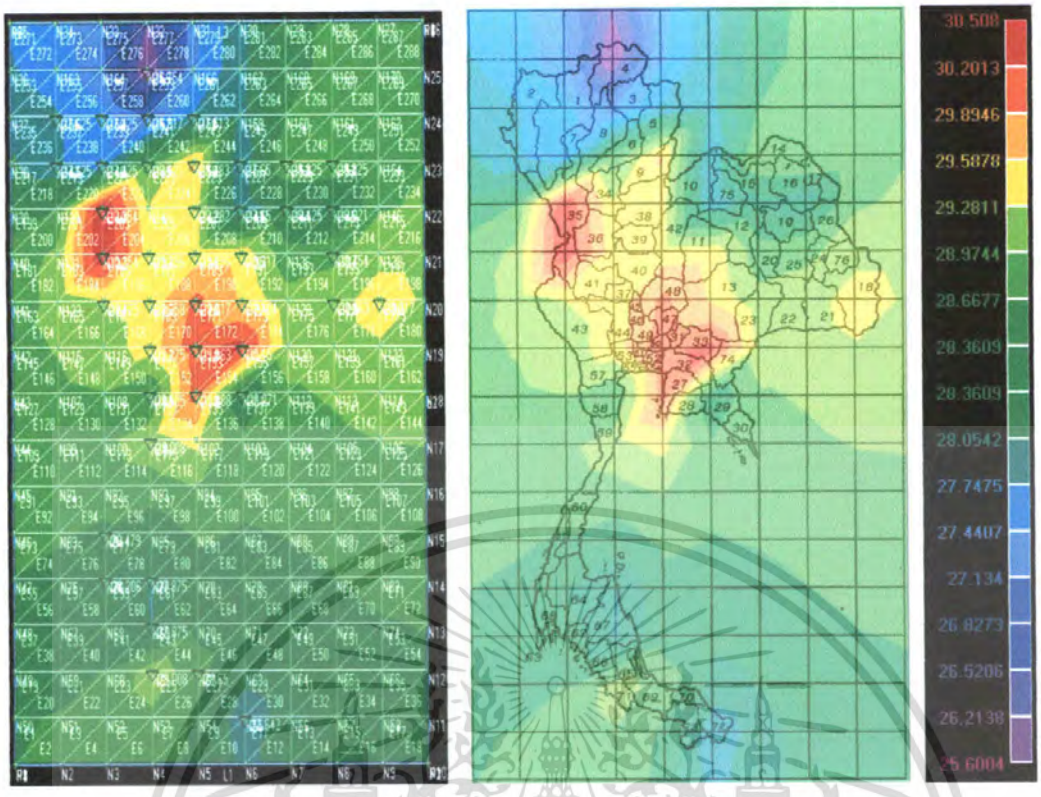
4.1 การแสดงผลการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยโดยแบ่งเป็นฤดูดังนี้

จากรูปเป็นการประมาณค่าจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปEasyFEM โดยแบ่งการประมาณค่าเป็นฤดูฝน (ระหว่างเดือนมิถุนายน – กันยายน) , ฤดูร้อน (ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม) และฤดูหนาว (ระหว่างเดือนตุลาคม – มกราคม) แสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.3 ดังนี้

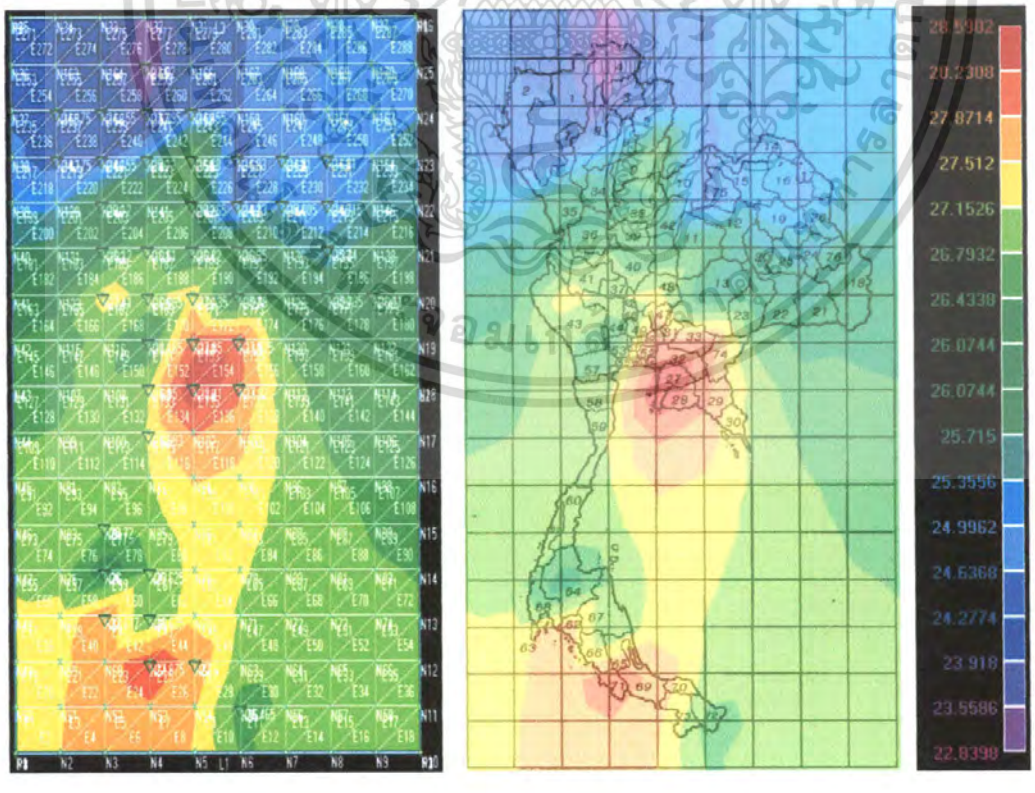


รูปที่ 4.1 แสดงการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูร้อน



รูปที่ 4.3 แสดงการประมาณค่าของอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูหนาว

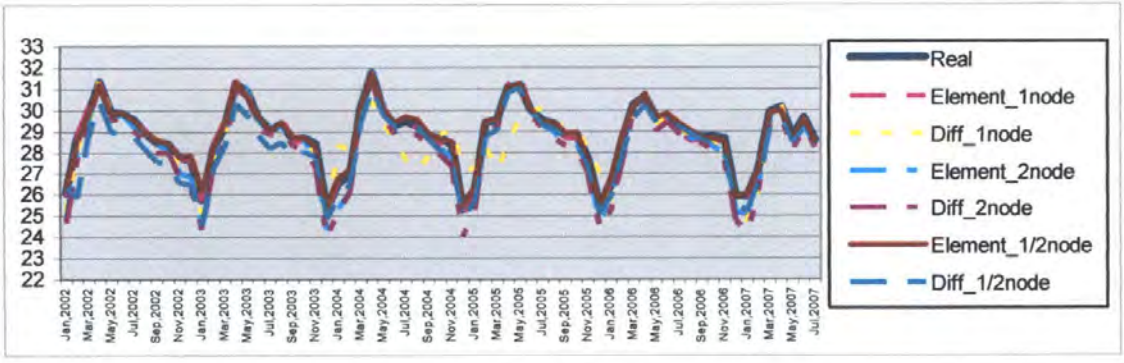
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ เป็นภาคดังนี้

จากกราฟจะเป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจริงกับค่าจากการคำนวณโดยวิธีต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.4 - 4.9 ดังนี้

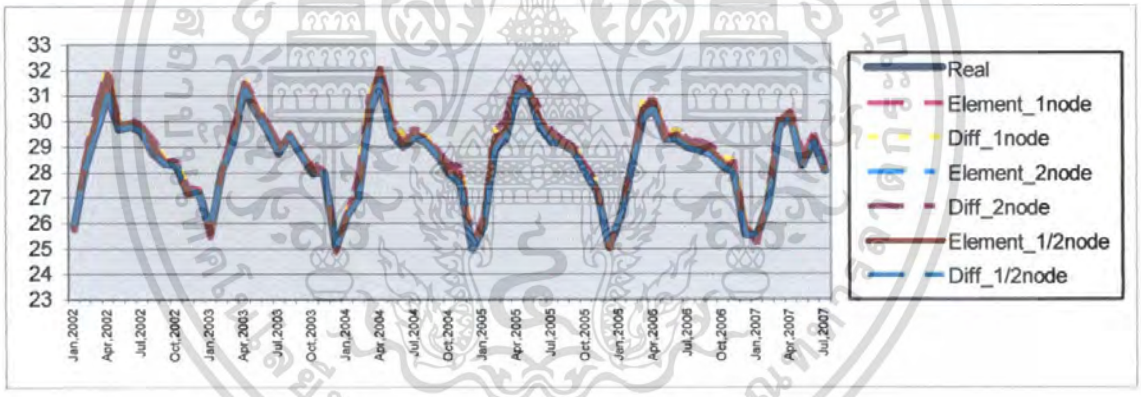
- Real คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจริงจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- Element _1node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM แบบแบ่ง 1 โหนด
- Diff_1node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite different method) แบบแบ่ง 1 โหนด
- Element _2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM แบบแบ่ง 2 โหนด
- Diff_2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite different method) แบบแบ่ง 2 โหนด
- Element_1/2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM แบบแบ่ง 1/2 โหนด
- Diff_1/2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite different method) แบบแบ่ง 1/2 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคกลาง

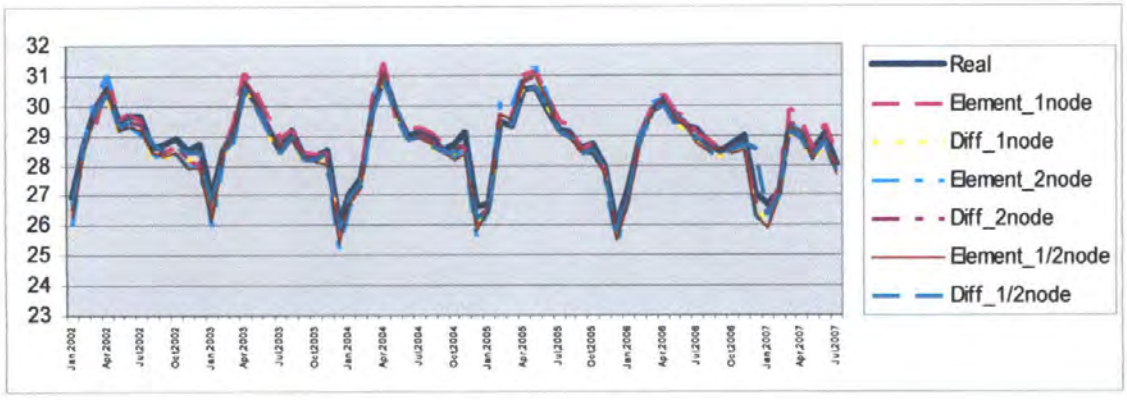
จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยจากการคำนวณใกล้เคียงอุณหภูมิเฉลี่ยจริงมากที่สุด คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 1 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE (Mean Absolute Percentage Error)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคตะวันตก

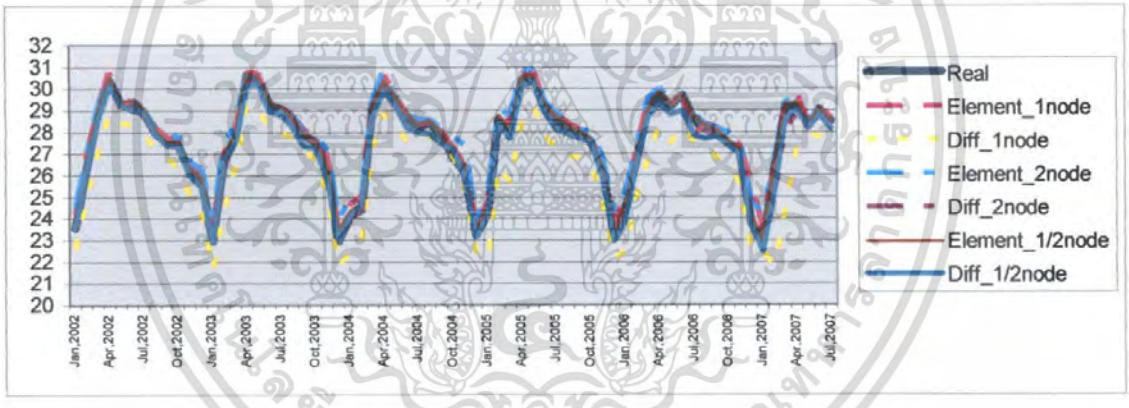
จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยจากการคำนวณใกล้เคียงอุณหภูมิเฉลี่ยจริงมากที่สุด คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 2 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคตะวันออก

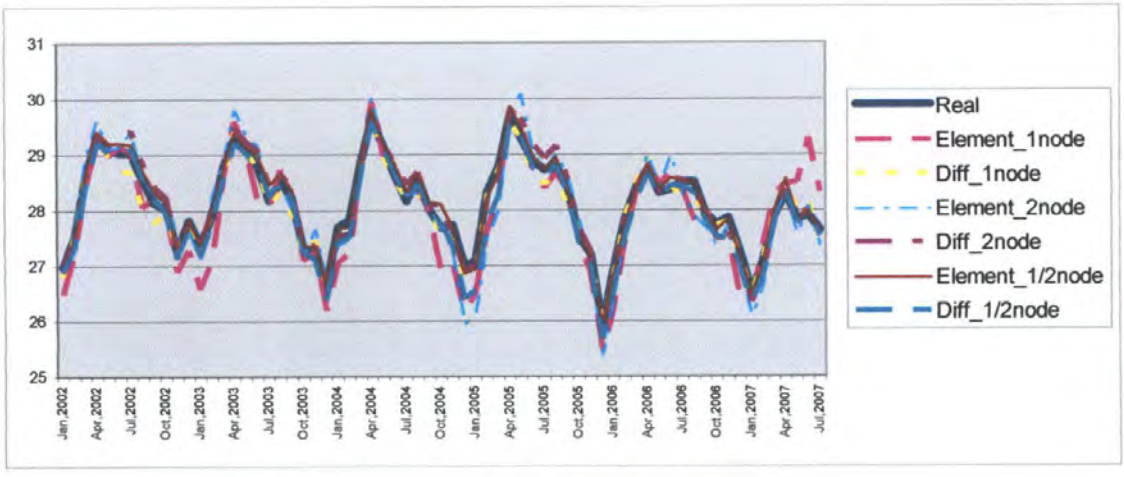
จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยจากการคำนวณใกล้เคียงอุณหภูมิเฉลี่ยจริงมากที่สุด คือ วิธีผลต่างสืบเนื่องแบบแบ่ง 2 โหนด ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE (Mean Absolute Percentage Error)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคะวันออกเฉียงเหนือ

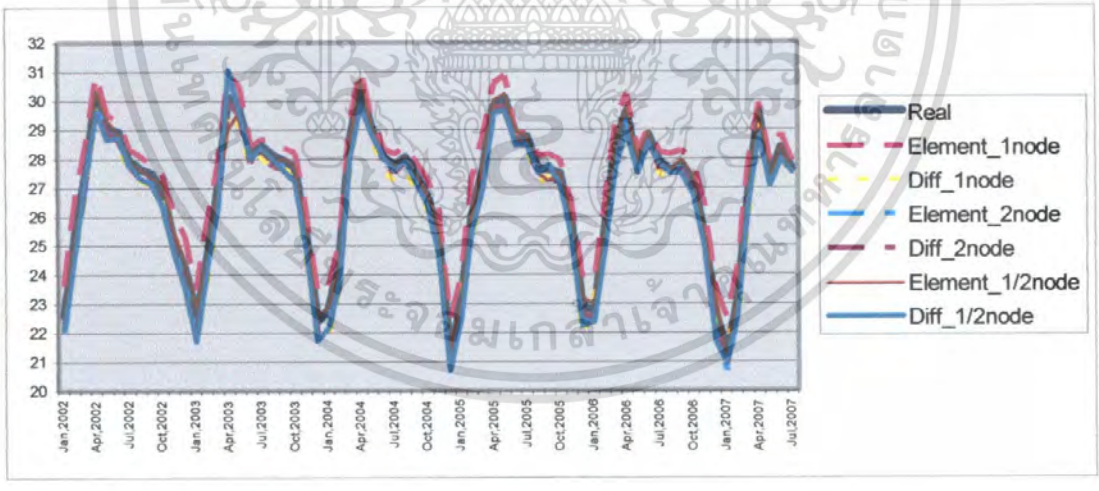
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยจากการคำนวณใกล้เคียงอุณหภูมิเฉลี่ยจริงมากที่สุด คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 1/2 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคใต้

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยจากการคำนวณใกล้เคียงอุณหภูมิเฉลี่ยจริงมากที่สุด คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 1/2 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE (Mean Absolute Percentage Error)



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคเหนือ

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยจากการคำนวณใกล้เคียงอุณหภูมิเฉลี่ยจริงมากที่สุด คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 1/2 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

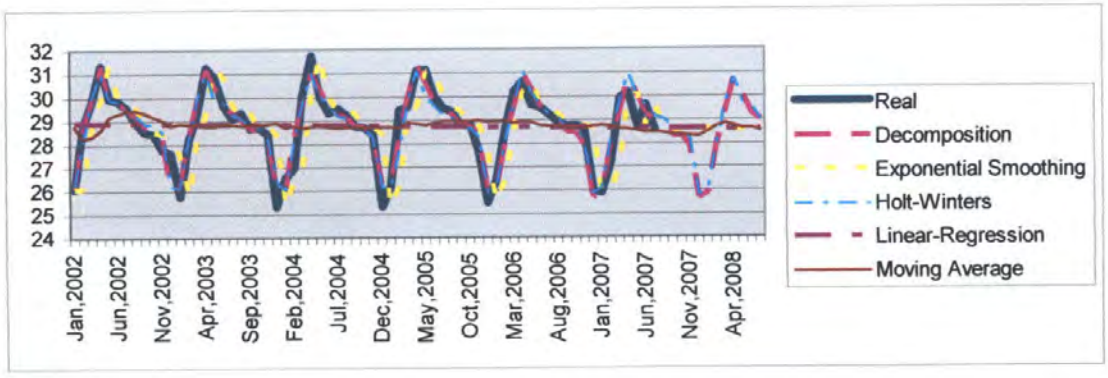
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กราฟแสดงค่าจากการพยากรณ์โดยวิธีต่าง ๆ

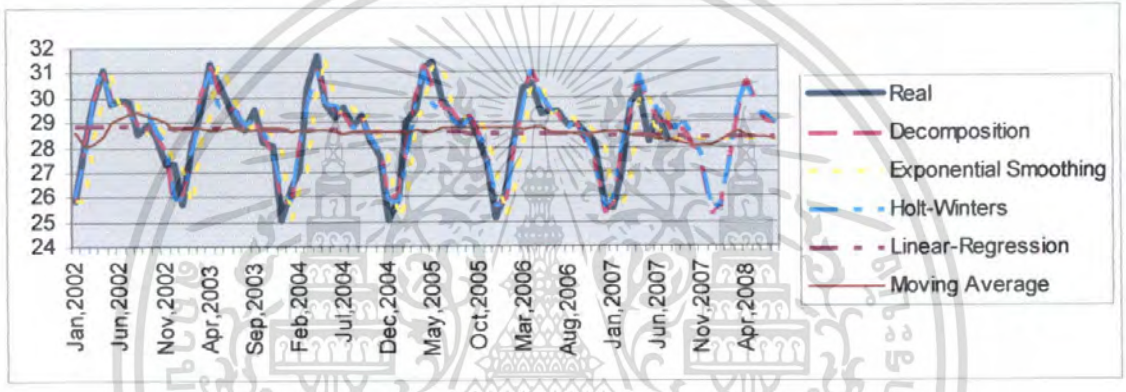
จากกราฟจะเป็นการแสดงค่าจากการพยากรณ์โดยวิธีต่าง ๆ และการเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจริงกับค่าจากการพยากรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.7 - 4.12 โดยการพยากรณ์ในงานวิจัยนี้จะใช้ซอฟต์แวร์ ForecastX ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่สามารถนำมาใช้ใน Microsoft Office Excel ดังนี้

- Real คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจริงจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- Decomposition คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธี Decomposition Method
- Exponential Smoothing คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธี Exponential Smoothing Method
- Holt – Winter' s คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธี Holt – Winter' s Method
- Linear Regression คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธี Linear Regression Method
- Moving Average คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธี Moving Average Method

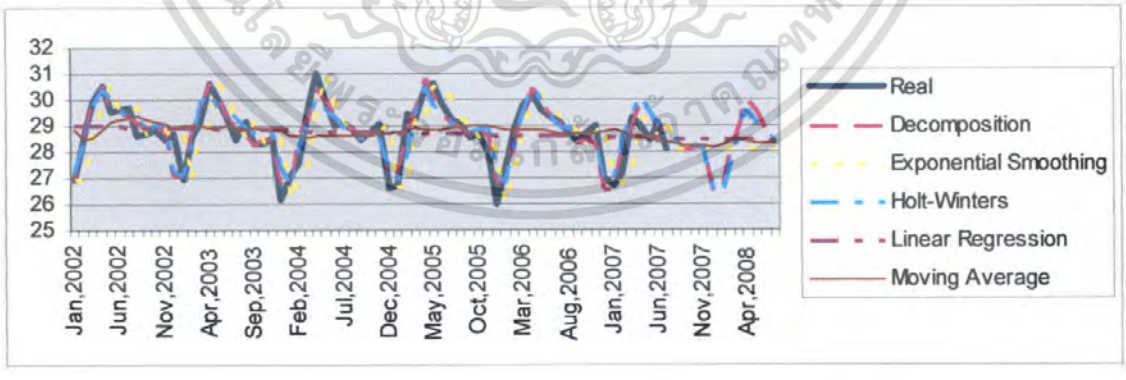
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคกลาง

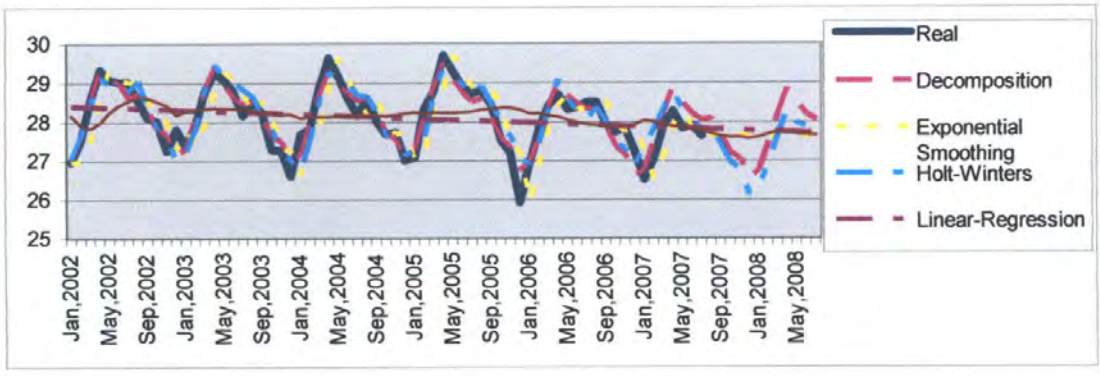


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคตะวันตก

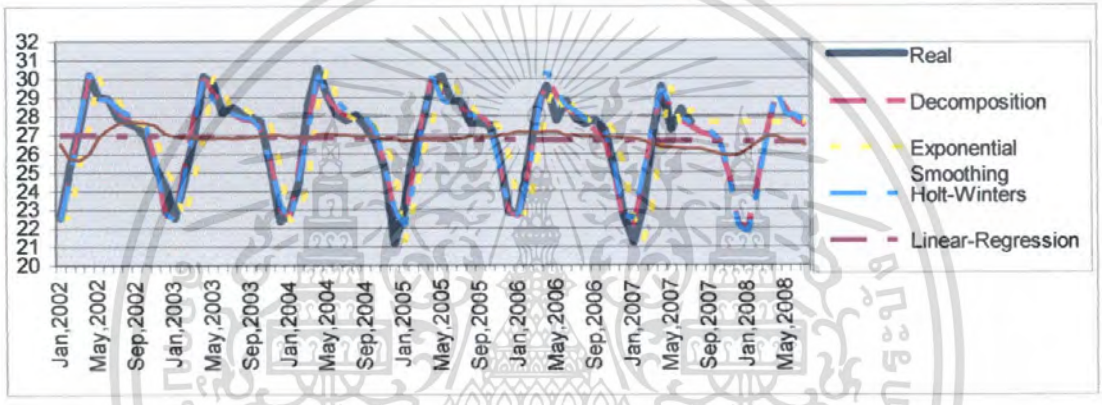


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคตะวันออก

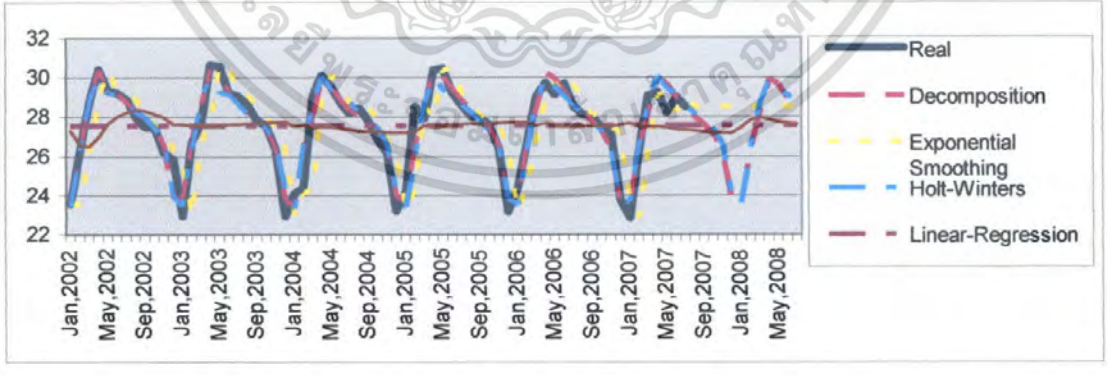
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคใต้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคเหนือ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการพยากรณ์อุณหภูมิในแบบต่าง ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 - 4.12 จะเห็นได้ว่า กราฟที่ได้จากการพยากรณ์อุณหภูมิของภาคต่าง ๆ คือ ภาคกลาง , ภาคตะวันตก , ภาคตะวันออก , ภาคใต้ , ภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิธีการพยากรณ์ที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิจริงมากที่สุด คือ การพยากรณ์แบบ Decomposition ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จากการพยากรณ์ มีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุดเมื่อเทียบกับการพยากรณ์ในแบบอื่น ๆ โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

ส่วนวิธีที่ไม่ควรใช้ในการพยากรณ์ คือ การพยากรณ์แบบ Linear - Regression และ Moving Average เนื่องจากการพยากรณ์ทั้ง 2 แบบนี้ มีค่าความคลาดเคลื่อนมากและค่าอุณหภูมิที่ได้จากการพยากรณ์นั้นไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะการทำปัญหาพิเศษ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะการทำปัญหาพิเศษเพื่อประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาและผู้ที่ต้องการวิจัยต่อในอนาคต

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทยโดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป จากการนำค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยจริง จะเห็นว่าค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิโดยจริงนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนของจังหวัดต่อ 1 หน่วยเอลิเมนต์ , พื้นดินของประเทศไทยต่อ 1 หน่วยโดเมน (1 โดเมนประกอบด้วยหลายเอลิเมนต์) , ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิ เช่น ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ , ลมต่าง ๆ ที่พัดผ่านประเทศไทย เป็นต้น ดังนั้นจะได้ว่า การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 1 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM เป็นวิธีที่เหมาะกับภาคกลาง , วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 2 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM เป็นวิธีที่เหมาะกับภาคตะวันตก , วิธีผลต่างสืบเนื่องแบบแบ่ง 2 โหนด เป็นวิธีที่เหมาะกับภาคตะวันออก และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแบ่ง 1/2 โหนด โดยใช้ซอฟต์แวร์ EasyFEM เป็นวิธีที่เหมาะกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาคใต้และภาคเหนือ

การพยากรณ์มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน โดยแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่แตกต่างกัน ในการพยากรณ์ให้นำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยดูจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด และการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดเมื่อดูจากค่าคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด คือการพยากรณ์แบบ Decomposition ในทุก ๆ ภาคของประเทศไทย เนื่องจากการพยากรณ์แบบ Decomposition เป็นการพยากรณ์ที่ทำการแยกอนุกรมเวลาออกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งส่วนประกอบหลักของอนุกรมเวลา ได้แก่ ค่าแนวโน้ม , การเปลี่ยนแปลงหรือความแปรผันตามฤดูกาล , การเปลี่ยนแปลงหรือการแปรผันตามวัฏจักรและการเปลี่ยนแปลงหรือความแปรผันเนื่องจากเหตุการณ์ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความคลาดเคลื่อนมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน โดยแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าวิธีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นการนำค่าความผิดพลาด (ค่าจริง – ค่าคาดการณ์) มาหาค่าสัมบูรณ์ซึ่งเป็นการไม่คิดเครื่องหมายเพื่อให้สามารถวัดความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์แต่ละค่าได้อย่างถูกต้อง และนำค่าความผิดพลาดมาคำนวณเป็นร้อยละเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ง่ายยิ่งขึ้น วิธีนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการพิจารณาความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์แต่ละค่า และการเปรียบเทียบความแม่นยำของการคาดการณ์หลาย ๆ ชุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) สามารถนำงานวิจัยนี้ไปประมาณค่าของอุณหภูมิโดยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขอื่น ๆ
2) สามารถนำงานวิจัยนี้ไปทำการวิจัยต่อในขอบเขตที่ละเอียดยิ่งขึ้นมากกว่านี้ได้
3) สามารถนำงานวิจัยนี้มาวิเคราะห์หาสมการเพื่อพยากรณ์อนาคตต่อไป
4) สามารถนำงานวิจัยนี้มาวิเคราะห์และเพิ่มปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพื่อให้ค่าที่ได้จากการประมาณค่า มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

[1] http://www.infoplease.com/ipa/A0193169.

[2] http://www.infoplease.com/ipa/A0778287.html

[3] http://www.infoplease.com/weather.html

[4] http://www.infoplease.com/ipa/A0004695.html

[5] http://www.infoplease.com/ipa/A0004686.html

[6] http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/st2545/5-5/no17/main/profile.html

[7] กรมอุตุนิยมวิทยา , สถานที่ตั้งอยู่ที่ 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนา เขตบางนา , กรุงเทพมหานคร

[8] http://www.tmd.go.th/index.php

[9] http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/heat%20Conduction/HTML%20Documents/chapter2.htm

[10] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช. 2548. ไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายพร้อมซอฟต์แวร์ Easy Finite Element with Software, พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[11] ปราโมทย์ เดชะอำไพ.2549. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 5 ปรับปรุงแก้ไข. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[12] http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn/np/pom/content/forecastmain.html

[13] http://www.geocities.com/chaiyaphorn/001forecasting.doc

[14] http://www.eng.ubu.ac.th/eDOCS/f20070613Sombat19.doc

[15] รศ. ดร. วรรณศิลป์ พีรพันธุ์ , บทความการคาดการณ์ประชากร:แบบจำลองเชิงเปรียบเทียบแบบจำลองเชิงอัตราส่วน และการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมในการคาดการณ์ , http://pioneer.chula.ac.th/~pwannasi/population2.pdf

[16] http://mte.kmutt.ac.th/aboutus/anusit/MTE461/MATLAB%201.doc

[17] www.maths.sci.ku.ac.th/suchai/417268/hw2550/3_5/3.5.doc

[18] http://webhost.wu.ac.th/msomsak/Computer/index.htm

[19] http://www.lks.ac.th/kuanjit/excel05.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเปรียบเทียบค่าประมาณของอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ เป็นภาคดังนี้

จากตารางจะเป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจริงกับค่าจากการคำนวณโดยวิธีต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1- 6 ดังนี้

- Real คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจริงจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- Element _1node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM แบบแบ่ง 1 โหนด
- Diff_1node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite different method) แบบแบ่ง 1 โหนด
- Element _2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM แบบแบ่ง 2 โหนด
- Diff_2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite different method) แบบแบ่ง 2 โหนด
- Element_1/2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ EasyFEM แบบแบ่ง 1/2 โหนด
- Diff_1/2node คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite different method) แบบแบ่ง 1/2 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคเหนือ

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Jan,2002	22.5889	23.6107	22.0861	22.0245	22.1446	22.6069	22.1266
Fab,2002	25.3000	26.5169	24.6602	24.6644	24.7554	25.3854	24.6700
Mar,2002	27.4556	28.4685	26.9713	27.0845	27.1571	27.3110	27.3017
Apr,2002	30.1889	30.9091	29.7324	29.8834	29.7714	30.3335	29.6268
May,2002	29.0556	29.4935	28.8241	28.9223	28.9196	29.3131	28.6621
Jun,2002	28.9444	29.3445	28.5398	28.7356	28.6196	28.8345	28.7295
Jul,2002	27.9444	28.3201	27.5463	27.7267	27.7536	27.8739	27.8241
Aug,2002	27.6667	28.0950	27.2556	27.3598	27.2982	27.6273	27.3375
Sep,2002	27.5111	27.7700	27.0852	27.2222	26.9875	27.3561	27.1425
Oct,2002	26.8667	27.4667	26.5713	26.7001	26.7036	27.1714	26.3988
Nov,2002	25.2111	26.0868	24.9667	25.0945	25.0696	25.5234	24.7574
Dec,2002	24.2333	25.2879	23.6509	23.6933	23.7232	24.4352	23.5214
Jan,2003	22.5556	23.4779	22.0685	22.1655	21.9982	22.8552	21.6986
Fab,2003	24.5667	25.8552	23.8796	24.1289	24.1929	24.5596	24.1999
Mar,2003	26.9333	27.8310	26.3287	26.4167	26.4196	27.0889	26.2641
Apr,2003	30.1222	30.9167	29.7398	29.9690	29.9804	29.0563	31.0463
May,2003	29.6889	30.4901	29.0898	29.5556	29.4946	29.5783	29.6052
Jun,2003	28.2000	28.4075	27.7546	28.0011	27.8804	28.0920	27.9883
Jul,2003	28.4556	28.6634	28.0426	28.0188	28.1339	28.2126	28.3768
Aug,2003	28.1333	28.6301	27.6250	27.8311	27.7411	27.9136	27.9608
Sep,2003	27.9375	28.3593	27.6926	27.7666	27.6357	28.0104	27.5628
Oct,2003	27.7111	28.1982	27.3148	27.4067	27.2589	27.7566	27.2135
Nov,2003	25.4111	26.1501	24.6750	24.8400	24.9482	25.4732	24.8861
Dec,2003	22.3889	23.2997	21.8778	21.9333	21.9143	22.5796	21.7235
Jan,2004	22.8111	23.5786	21.9843	22.2511	22.2196	22.8713	22.1594
Fab,2004	24.4667	25.1608	23.6593	23.9999	23.6143	24.4054	23.6756
Mar,2004	28.6556	29.2000	27.8907	28.0866	28.0125	28.6480	28.0200
Apr,2004	30.5444	31.0701	29.9648	29.9734	30.0179	30.7145	29.8478
May,2004	29.0667	29.4135	28.7472	29.1201	28.9125	29.1430	28.8362
Jun,2004	28.0667	28.3389	27.6250	28.0445	27.9679	27.9989	28.0357
Jul,2004	27.7778	28.1567	27.1907	27.6256	27.5125	27.6857	27.6046
Aug,2004	28.0556	28.4641	27.5537	27.9745	27.9107	28.0365	27.9298
Sep,2004	27.4222	27.8400	26.9157	27.2777	27.1429	27.4017	27.1634
Oct,2004	26.7000	27.2900	26.2426	26.6400	26.5321	26.8285	26.4036
Nov,2004	25.2667	26.2068	24.9481	25.0112	25.1089	25.6499	24.7257

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคเหนือ (ต่อ)

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Dec,2004	21.2111	22.4487	20.7407	20.8278	21.0071	21.5099	20.7083
Jan,2005	23.0444	23.8501	23.3127	23.1767	22.5054	23.1143	22.4355
Fab,2005	25.9556	27.2922	25.2222	25.4111	25.6446	26.1062	25.4940
Mar,2005	27.6333	28.8187	27.2111	27.3945	27.2750	27.9002	27.0082
Apr,2005	29.8000	30.5876	29.5519	29.5901	29.7839	30.0097	29.5742
May,2005	30.1000	30.8401	29.7213	29.7601	29.7839	30.2223	29.6616
Jun,2005	28.8222	28.8372	28.5667	28.5934	28.6339	28.9773	28.4789
Jul,2005	28.7778	28.8900	28.4565	28.4522	28.4554	28.7453	28.4879
Aug,2005	27.6333	28.1068	27.1630	27.4666	27.3643	27.4928	27.5048
Sep,2005	27.6444	28.1567	27.3407	27.5011	27.3500	27.2185	27.7759
Oct,2005	27.4889	27.9410	27.2530	27.2600	27.1429	27.5043	27.1275
Nov,2005	25.9000	26.4646	25.6676	25.4712	25.4982	26.0494	25.3488
Dec,2005	22.8556	23.8400	21.8694	22.5012	22.5964	23.2134	22.2386
Jan,2006	22.7778	23.7727	23.2143	22.4201	22.5304	22.9360	22.3721
Fab,2006	25.5333	26.4601	24.9380	24.8444	24.9446	25.5866	24.8913
Mar,2006	28.4889	29.2900	27.8593	27.9423	27.8607	28.6680	27.6816
Apr,2006	29.6000	30.2067	29.1528	29.3201	29.1893	29.7963	28.9930
May,2006	27.7667	28.2157	27.6500	27.8067	27.7357	27.9896	27.5128
Jun,2006	28.8222	29.0216	28.5731	28.5867	28.6179	28.9000	28.5401
Jul,2006	27.8889	28.2067	27.4287	27.6911	27.5821	27.6875	27.7835
Aug,2006	27.5625	28.1567	27.3241	27.6000	27.5196	27.6098	27.4723
Sep,2006	27.8111	28.2900	27.6852	27.6778	27.6179	27.9556	27.4734
Oct,2006	27.2222	27.8400	27.0380	26.9934	26.8714	27.3505	26.7432
Nov,2006	25.3222	26.3920	24.9935	25.1667	25.0857	25.4397	24.9683
Dec,2006	22.6333	23.4641	22.1981	22.1600	22.2750	23.2104	21.6979
Jan,2007	21.2444	22.4606	21.7718	20.6633	20.8107	21.1177	20.9375
Fab,2007	23.1111	24.2900	22.5315	22.7134	22.9429	23.4159	22.6381
Mar,2007	26.7444	27.8402	26.1056	26.3667	26.5893	26.9001	26.4336
Apr,2007	29.5556	29.9031	29.2194	28.9401	29.0143	29.7256	28.8443
May,2007	27.3000	27.8903	27.1700	27.2600	27.0839	27.3184	27.0656
Jun,2007	28.3667	28.8400	28.0843	28.0667	28.0446	28.4352	27.9761
Jul,2007	27.6444	27.8818	27.3074	27.4000	27.4357	27.5450	27.5351
MAPE		0.0258	0.0168	0.0118	0.0125	0.0062	0.0396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคกลาง

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Jan,2002	26.0933	25.9413	25.2475	24.7521	24.6792	26.3019	26.3427
Feb,2002	28.6933	28.8256	28.1025	27.8054	27.6458	28.5005	25.8530
Mar,2002	29.8267	30.0578	29.4788	29.6560	29.5542	29.8418	28.8469
Apr,2002	31.3267	31.3444	31.4363	31.2047	31.2000	31.1996	30.3562
May,2002	29.9400	29.8578	29.9500	29.7200	29.5333	29.8370	28.9367
Jun,2002	29.8333	29.5413	29.9438	29.7645	29.6167	29.8666	29.0104
Jul,2002	29.5667	29.5043	29.2288	29.2047	29.0167	29.5487	28.7561
Aug,2002	28.9267	29.0088	28.8913	28.8667	28.5333	28.9363	28.1297
Sep,2002	28.5000	28.4775	28.6125	28.3478	27.9750	28.5959	27.5678
Oct,2002	28.4133	28.6003	28.3675	28.2133	27.9792	28.4288	27.4553
Nov,2002	27.7733	27.7567	27.3750	27.0143	26.7583	27.8169	26.5492
Dec,2002	27.6067	27.6364	27.0163	26.8762	26.4208	27.8305	26.4777
Jan,2003	25.7600	25.6678	25.0813	24.4333	24.3792	26.2067	24.5564
Feb,2003	28.1933	28.3589	27.5975	27.6213	27.2792	28.2436	27.2552
Mar,2003	29.2733	29.4923	29.0150	28.7293	28.4458	29.4223	28.3046
Apr,2003	31.2600	31.4089	31.2663	31.3667	31.0250	31.2957	30.2922
May,2003	30.8467	30.3567	30.8263	30.9883	30.6000	30.6547	29.7456
Jun,2003	29.6333	29.6534	29.4288	29.4521	29.1542	29.6873	28.7767
Jul,2003	29.0600	28.8667	29.1288	29.1667	28.8250	29.0359	28.1832
Aug,2003	29.3400	29.6433	29.2613	29.2346	28.9750	29.4017	28.4711
Sep,2003	28.6333	28.5232	28.7313	28.5231	28.3208	28.7305	27.7947
Oct,2003	28.7000	28.5667	28.7363	28.5667	28.1208	28.7039	28.0173
Nov,2003	28.4200	28.3487	27.9200	27.7131	27.3042	28.2982	27.7635
Dec,2003	25.3200	25.0567	24.7363	24.3420	23.9583	25.4308	24.8414
Jan,2004	26.5400	26.5254	28.3200	25.3421	25.2333	26.7772	25.9116
Feb,2004	26.9867	26.9149	28.1588	26.1161	26.0792	27.1820	26.4627
Mar,2004	30.0800	30.1482	29.7363	30.1548	30.0125	30.0986	29.4221
Apr,2004	31.7467	31.7889	30.3838	31.8668	31.4167	31.7031	31.0194
May,2004	29.9867	30.1237	29.3663	29.9789	29.6500	29.9164	29.7606
Jun,2004	29.2933	29.2667	28.6450	29.0000	28.7917	29.4105	29.2217
Jul,2004	29.4867	29.2857	27.6300	29.0313	28.7917	29.6864	29.3723
Aug,2004	29.2200	29.1956	27.1813	29.0414	28.8250	29.5229	29.2224
Sep,2004	28.7333	28.6125	27.7900	28.4264	28.2583	28.8778	28.5974
Oct,2004	28.7000	28.4557	28.8188	28.1301	27.8875	28.6369	28.0741
Nov,2004	28.3929	28.0267	29.0750	27.7334	27.3625	28.4959	27.7448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคกลาง (ต่อ)

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Dec,2004	25.3200	25.0667	27.2163	24.9342	24.0042	25.4925	24.9856
Jan,2005	26.1733	26.1667	27.2175	25.4921	25.3083	26.3876	25.6484
Feb,2005	29.4267	29.6301	28.2325	29.4533	28.9833	29.4854	28.7509
Mar,2005	29.5400	29.4813	27.1838	29.5544	29.2042	29.5538	29.0598
Apr,2005	31.0800	31.1672	28.3238	31.1380	31.0042	31.0649	30.8490
May,2005	31.1467	31.6400	29.6450	31.3001	31.0042	31.2227	31.0336
Jun,2005	30.0067	29.9700	29.9750	29.8872	29.7375	30.0644	29.9796
Jul,2005	29.4933	29.1501	30.0450	29.2500	29.1000	29.4060	29.2951
Aug,2005	29.3600	29.1567	29.1713	28.9546	28.6458	29.4192	29.1069
Sep,2005	28.7933	28.6998	29.2250	28.4456	28.3208	28.8846	28.6889
Oct,2005	28.8467	28.6998	29.0200	28.3056	28.0417	28.9249	28.3149
Nov,2005	27.7000	27.5786	28.1863	27.2908	26.9792	27.6945	27.3396
Dec,2005	25.4800	25.3593	26.9275	24.7112	24.3875	25.5391	25.0975
Jan,2006	26.4133	26.3695	25.6800	25.9955	25.2417	26.7487	25.9199
Feb,2006	28.5800	28.5667	28.0900	27.7801	27.6125	28.8443	27.9198
Mar,2006	30.2267	30.2900	30.1925	30.1694	29.9500	30.1611	29.5585
Apr,2006	30.6267	30.5841	30.7463	30.7475	30.4125	30.7397	30.2221
May,2006	29.6400	29.5667	29.3338	29.2995	28.9958	29.6653	29.4240
Jun,2006	29.5333	29.4641	29.6625	29.6732	29.4542	29.8002	29.4598
Jul,2006	29.2133	28.9207	29.1425	28.8480	28.8542	29.3505	29.2053
Aug,2006	28.8800	28.5464	28.7038	28.6245	28.5292	29.0256	28.9081
Sep,2006	28.7286	28.5671	28.7008	28.6524	28.4125	28.6699	28.5995
Oct,2006	28.7571	28.5667	28.5242	28.2398	28.0292	28.6468	28.3499
Nov,2006	28.6467	28.4641	28.0088	27.9773	27.5833	28.5131	28.0558
Dec,2006	25.9533	25.9547	25.2213	25.1058	24.7708	25.9193	25.5420
Jan,2007	25.9067	25.5467	24.7400	25.1688	24.2167	26.0408	25.2134
Feb,2007	27.1800	27.1767	26.2913	26.3334	26.0917	27.2169	26.4973
Mar,2007	29.9000	29.8445	29.2488	29.5021	29.2917	29.9060	29.2040
Apr,2007	30.1533	29.9800	30.2013	29.9508	29.6417	29.9660	29.5912
May,2007	28.7467	28.4934	28.5125	28.2779	28.0792	28.6696	28.4524
Jun,2007	29.6333	29.3712	29.5050	29.2134	29.0917	29.5363	29.1484
Jul,2007	28.5733	28.4234	28.5388	28.3267	28.2167	28.5380	28.3972
MAPE		0.0050	0.0206	0.0145	0.0230	0.0038	0.0205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันตก

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Jan,2002	25.8600	25.6627	25.6306	25.8353	25.6306	25.8772	25.9093
Feb,2002	28.1800	28.3355	28.6342	28.1921	28.6342	28.5128	28.2141
Mar,2002	29.6400	30.1494	30.6404	29.6914	30.6404	30.1267	29.6356
Apr,2002	31.0200	31.3581	32.0976	31.0443	32.0976	31.8550	31.1155
May,2002	29.6800	29.8106	29.9463	29.6929	29.9463	29.8169	29.6812
Jun,2002	29.8000	29.9340	30.0922	29.8128	30.0922	29.9640	29.8058
Jul,2002	29.5800	29.7214	29.7978	29.5957	29.7978	29.6410	29.5645
Aug,2002	28.7200	28.9787	29.2660	28.7452	29.2660	29.0141	28.7268
Sep,2002	28.3200	28.4087	28.4931	28.3290	28.4931	28.4033	28.3190
Oct,2002	28.2800	28.4304	28.4422	28.2983	28.4422	28.2589	28.2470
Nov,2002	27.1800	27.3987	27.4085	27.2068	27.4085	27.1400	27.1303
Dec,2002	27.2200	27.3601	27.3556	27.2375	27.3556	27.1811	27.1856
Jan,2003	25.6400	25.4467	25.3608	25.6181	25.3608	25.5796	25.6655
Feb,2003	28.0800	28.0562	28.1075	28.0758	28.1075	28.1493	28.0979
Mar,2003	29.1400	29.4801	29.7031	29.1768	29.7031	29.3353	29.1122
Apr,2003	31.3000	31.4520	31.6541	31.3140	31.6541	31.5140	31.3119
May,2003	30.4400	30.6320	30.7808	30.4602	30.7808	30.5785	30.4297
Jun,2003	29.6600	29.7841	29.9167	29.6722	29.9167	29.7948	29.6621
Jul,2003	28.7400	28.9693	29.1310	28.7645	29.1310	28.8856	28.7239
Aug,2003	29.4200	29.4000	29.4794	29.4156	29.4794	29.5230	29.4436
Sep,2003	28.6800	28.6720	28.7575	28.6770	28.7575	28.7878	28.7023
Oct,2003	27.9600	28.2026	28.3783	27.9859	28.3783	28.1197	27.9441
Nov,2003	28.0000	28.0707	28.0062	28.0103	28.0062	27.9034	27.9678
Dec,2003	25.0600	25.1214	24.9788	25.0710	24.9788	24.8689	25.0115
Jan,2004	26.2800	26.3396	26.3943	26.2861	26.3943	26.3335	26.2788
Feb,2004	27.0000	27.6001	27.8097	27.0693	27.8097	27.1167	26.9071
Mar,2004	30.2000	30.5500	30.9246	30.2344	30.9246	30.5806	30.2059
Apr,2004	31.5800	31.6720	32.0783	31.5817	32.0783	32.0611	31.6548
May,2004	29.4800	29.7579	29.9917	29.5088	29.9917	29.7033	29.4695
Jun,2004	29.0000	29.2720	29.3907	29.0308	29.3907	29.0822	28.9635
Jul,2004	29.3600	29.5101	29.6909	29.3743	29.6909	29.5482	29.3673
Aug,2004	29.1600	29.2700	29.3787	29.1710	29.3787	29.2684	29.1597
Sep,2004	28.6200	28.7414	28.8397	28.6327	28.8397	28.7129	28.6145
Oct,2004	27.9400	28.2140	28.2984	27.9719	28.2984	27.9793	27.8949
Nov,2004	27.5600	27.9241	28.2394	27.5976	28.2394	27.8637	27.5484

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันตก (ต่อ)

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Dec,2004	24.9800	25.0801	25.0864	24.9922	25.0864	24.9640	24.9577
Jan,2005	25.8400	26.0000	26.1940	25.8552	26.1940	26.0421	25.8481
Feb,2005	28.8800	29.1689	29.6102	28.9053	29.6102	29.3576	28.9163
Mar,2005	29.2800	29.6807	30.0313	29.3213	30.0313	29.6187	29.2681
Apr,2005	31.0600	31.3557	31.7755	31.0866	31.7755	31.5093	31.0895
May,2005	31.1200	31.2166	31.3752	31.1282	31.3752	31.2933	31.1347
Jun,2005	29.7400	30.0701	30.3933	29.7732	30.3933	30.0617	29.7384
Jul,2005	29.1600	29.3334	29.5550	29.1762	29.5550	29.3932	29.1715
Aug,2005	29.0600	29.2200	29.2580	29.0789	29.2580	29.0689	29.0310
Sep,2005	28.8000	28.8733	28.9585	28.8071	28.9585	28.8880	28.8028
Oct,2005	27.9600	28.1743	28.1957	27.9860	28.1957	27.9356	27.9141
Nov,2005	27.2200	27.3580	27.4553	27.2348	27.4553	27.3076	27.2103
Dec,2005	25.1000	25.1260	25.0409	25.1052	25.0409	24.9885	25.0736
Jan,2006	26.1600	26.1814	26.2744	26.1604	26.2744	26.2700	26.1770
Feb,2006	28.1600	28.1395	28.2492	28.1549	28.2492	28.3006	28.1910
Mar,2006	30.1000	30.4600	30.8101	30.1362	30.8101	30.4478	30.0976
Apr,2006	30.4600	30.5193	30.8127	30.4604	30.8127	30.8091	30.5157
May,2006	29.2600	29.4547	29.4956	29.2831	29.4956	29.2644	29.2234
Jun,2006	29.2600	29.4200	29.6288	29.2748	29.6288	29.4804	29.2716
Jul,2006	28.9400	29.1001	29.2238	28.9569	29.2238	29.0552	28.9314
Aug,2006	28.8200	29.0422	29.2028	28.8437	29.2028	28.9659	28.8053
Sep,2006	28.6800	28.8107	28.9916	28.6919	28.9916	28.8729	28.6920
Oct,2006	28.2000	28.3920	28.5343	28.2204	28.5343	28.3304	28.1882
Nov,2006	27.9800	28.2700	28.4338	28.0120	28.4338	28.1138	27.9500
Dec,2006	25.5400	25.6361	25.8581	25.5466	25.8581	25.7920	25.5700
Jan,2007	25.4800	25.2401	25.1482	25.4525	25.1482	25.4234	25.5152
Feb,2007	26.7400	26.9150	27.0730	26.7579	27.0730	26.8939	26.7359
Mar,2007	29.7400	29.9760	30.2098	29.7637	30.2098	29.9732	29.7395
Apr,2007	30.1600	30.3386	30.5091	30.1781	30.5091	30.3286	30.1581
May,2007	28.2400	28.5507	28.7361	28.2741	28.7361	28.3956	28.2102
Jun,2007	29.2000	29.3920	29.4654	29.2220	29.4654	29.2452	29.1718
Jul,2007	28.0400	28.2260	28.2959	28.0614	28.2959	28.0822	28.0124
MAPE		0.0066	0.0163	0.0015	0.0163	0.0060	0.0136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันออก

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Jan,2002	26.9400	26.5088	26.5458	26.0000	26.4987	26.2845	26.7208
Feb,2002	28.7200	28.7345	28.5458	28.8000	28.7001	28.4556	28.6083
Mar,2002	29.9400	29.2889	29.7083	30.2000	29.7843	29.8175	29.7958
Apr,2002	30.5600	30.9242	30.2917	31.0000	30.6940	30.5270	30.3917
May,2002	29.5400	29.5278	29.0875	29.2000	29.3388	29.2058	29.2875
Jun,2002	29.6400	29.7185	29.2333	29.3333	29.4813	29.3361	29.4333
Jul,2002	29.6600	29.5400	29.1542	29.0667	29.3552	29.1689	29.3667
Aug,2002	28.6000	28.6867	28.2667	28.3667	28.4800	28.4475	28.7260
Sep,2002	28.6800	28.4666	28.2667	28.2667	28.4200	28.3181	28.4417
Oct,2002	28.8800	28.5885	28.4625	28.4000	28.5828	28.4600	28.6375
Nov,2002	28.4800	28.1477	28.1875	27.9000	28.1788	27.9334	28.4313
Dec,2002	28.7000	27.9438	28.2292	27.9667	28.2099	27.9278	28.4417
Jan,2003	26.9400	26.4445	26.4792	25.9667	26.4576	26.1426	26.6542
Feb,2003	28.5200	28.4449	28.3375	28.4000	28.4256	28.3559	28.3625
Mar,2003	29.0400	29.2815	29.0417	29.1667	29.1325	29.1302	28.7302
Apr,2003	30.5800	31.0527	30.6208	30.8333	30.7717	30.8142	30.5583
May,2003	30.1000	30.4056	30.0125	30.2000	30.1795	30.2011	29.9875
Jun,2003	29.2200	29.5801	29.0708	29.1333	29.2511	29.1958	29.0833
Jul,2003	28.5000	28.8293	28.4125	28.5000	28.5605	28.5603	28.4000
Aug,2003	29.1600	29.1881	28.8500	28.9000	29.0245	28.8605	28.9375
Sep,2003	28.3000	28.4267	28.1792	28.2667	28.2931	28.2894	28.1792
Oct,2003	28.3200	28.3830	28.1375	28.2000	28.2601	28.1289	28.1750
Nov,2003	28.5200	28.4697	28.3125	28.0000	28.3255	28.0212	28.3500
Dec,2003	26.1200	25.7434	25.6875	25.2000	25.6877	25.4306	25.8500
Jan,2004	27.0600	26.8779	26.8417	26.5667	26.8365	26.6751	26.8917
Feb,2004	27.5600	27.3778	27.3000	27.2000	27.3595	27.2618	27.3875
Mar,2004	29.7600	30.1723	29.8167	30.0667	29.9539	29.9217	29.7292
Apr,2004	31.0200	31.3634	30.8875	31.2000	31.1177	30.9700	30.8625
May,2004	29.8600	29.5978	29.7917	29.8667	29.7790	29.8750	29.7792
Jun,2004	29.0000	29.1722	28.8292	28.8667	28.9670	28.9139	28.8417
Jul,2004	29.0800	29.2485	28.8875	29.0000	29.0540	28.9000	28.9000
Aug,2004	28.8800	29.0759	28.5917	28.6667	28.8036	28.6861	28.6542
Sep,2004	28.5000	28.6337	28.4625	28.5000	28.5241	28.4347	28.4125
Oct,2004	28.7400	28.5241	28.3250	28.2000	28.4473	28.1486	28.4125
Nov,2004	29.1000	28.6345	28.6167	28.5667	28.7295	28.3712	28.7417

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันออก (ต่อ)

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Dec,2004	26.6000	26.0096	26.0208	25.6333	26.0659	25.7987	26.2083
Jan,2005	26.6800	26.5556	26.5000	26.5000	26.5589	26.4734	26.5125
Feb,2005	29.4800	29.8282	29.5250	30.1000	29.7333	29.7034	29.4500
Mar,2005	29.3400	29.5800	29.4083	29.8333	29.5404	29.5148	29.3083
Apr,2005	30.5000	31.0260	30.5833	30.9333	30.7607	30.8506	30.4583
May,2005	30.6200	31.1057	30.6958	31.2333	30.9137	30.9814	30.5708
Jun,2005	29.8600	30.2286	29.9583	30.2333	30.0701	30.1925	29.8458
Jul,2005	29.2000	29.4278	29.0958	29.1333	29.2142	29.1521	29.0833
Aug,2005	29.1000	29.3000	28.8583	28.8333	29.0229	28.8961	28.9083
Sep,2005	28.5600	28.5011	28.3583	28.4333	28.4632	28.4770	28.3833
Oct,2005	28.6800	28.6893	28.4250	28.4000	28.5486	28.3445	28.4750
Nov,2005	28.0000	27.8149	27.7708	27.7333	27.8298	27.7345	27.8458
Dec,2005	25.9800	25.6394	25.6333	25.4333	25.6715	25.5092	25.7583
Jan,2006	27.2000	26.8686	26.9458	26.8333	26.9619	26.7590	27.0083
Feb,2006	28.9400	28.9112	28.8000	28.9000	28.8878	28.6398	28.7875
Mar,2006	29.7800	29.8763	29.6625	30.0000	29.8297	29.7228	29.6500
Apr,2006	30.1600	30.2896	29.9750	30.2000	30.1562	30.0634	30.0000
May,2006	29.5800	29.7056	29.3708	29.6333	29.5724	29.5058	29.3333
Jun,2006	29.3000	29.5734	29.1375	29.4000	29.3527	29.3233	29.1125
Jul,2006	29.1600	29.0611	28.7542	28.7667	28.9355	28.7367	28.8667
Aug,2006	28.7200	28.7982	28.3667	28.4667	28.5879	28.4536	28.4542
Sep,2006	28.4200	28.4300	28.2542	28.3667	28.3677	28.5800	28.2792
Oct,2006	28.7200	28.5948	28.4125	28.5000	28.5568	28.3783	28.4875
Nov,2006	28.9800	28.7345	28.6083	28.6333	28.7390	28.4856	28.7083
Dec,2006	27.0000	26.5927	26.3958	26.2333	26.5555	26.2889	28.4833
Jan,2007	26.6800	26.3283	26.1500	25.9000	26.2646	25.9046	26.3125
Feb,2007	27.1200	27.3593	26.8708	26.9333	27.0709	26.9928	26.9333
Mar,2007	29.3400	29.8633	29.0500	29.3000	29.3883	29.2749	29.1250
Apr,2007	28.9800	29.4582	28.7958	29.0333	29.0668	29.1366	28.8208
May,2007	28.4400	28.4896	28.0500	28.1000	28.2699	28.2006	28.1625
Jun,2007	29.0400	29.3167	28.6667	28.7667	28.9475	28.7900	28.7958
Jul,2007	28.0600	28.2878	27.5667	27.5667	27.8703	27.6992	27.7417
MAPE		0.0087	0.0091	0.0116	0.0062	0.0103	0.0072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Jan,2002	23.5692	24.1762	22.5746	24.4733	23.6983	23.7736	23.5667
Feb,2002	26.4417	27.0442	25.0844	27.1100	26.4201	26.7100	26.4200
Mar,2002	28.8077	29.1000	26.9663	29.1627	28.5092	28.9781	28.5444
Apr,2002	30.4077	30.7525	28.9213	30.5100	30.1479	30.4875	30.1389
May,2002	29.3308	29.1038	28.3990	29.2600	29.0234	29.4038	29.2133
Jun,2002	29.2385	29.4933	28.3381	29.4667	29.1341	29.4742	28.9878
Jul,2002	28.8769	29.0200	27.8236	29.0280	28.6871	29.0938	28.8779
Aug,2002	27.9667	28.1850	27.2500	28.1647	27.8916	28.1075	27.9078
Sep,2002	27.4769	27.7660	26.8809	27.7333	27.4643	27.5742	27.3567
Oct,2002	27.4538	27.7330	26.2147	27.8380	27.3099	27.5268	27.3789
Nov,2002	26.1846	26.5330	25.0695	26.5800	26.0918	26.2297	25.9778
Dec,2002	25.8154	26.1600	24.4061	26.2953	25.6692	25.9369	25.4534
Jan,2003	22.9385	23.7089	21.6397	24.1284	23.1039	23.0725	22.8778
Feb,2003	26.6923	26.9886	24.5167	27.4584	26.4140	26.9076	26.7689
Mar,2003	27.7154	28.0793	26.4542	28.3401	27.6472	27.9100	27.5334
Apr,2003	30.6385	30.7653	29.3310	30.6960	30.3577	30.7493	30.1334
May,2003	30.5615	30.7370	29.1177	30.5833	30.2499	30.6147	30.2494
Jun,2003	29.2154	29.3040	28.0456	29.2101	28.9438	29.4001	28.9438
Jul,2003	29.0615	29.1090	27.9223	29.0460	28.7847	29.1244	28.7886
Aug,2003	28.5923	28.7757	27.7095	28.7267	28.4510	28.7380	28.2335
Sep,2003	27.8462	28.0856	27.1738	27.9520	27.7644	27.9167	27.3226
Oct,2003	27.5308	27.9200	26.6720	27.9000	27.5057	27.6475	27.2554
Nov,2003	26.3538	26.9019	25.1631	27.1050	26.3810	26.4883	25.7900
Dec,2003	22.9462	23.4499	21.7837	23.8801	23.0150	23.4713	22.9789
Jan,2004	24.0846	24.6620	22.4371	24.9934	24.0443	24.3226	24.1223
Feb,2004	24.3923	25.0350	23.0310	25.1099	24.3921	24.6838	24.6766
Mar,2004	29.0692	29.3934	27.2843	29.4167	28.7909	29.2728	28.7000
Apr,2004	30.1000	30.6461	28.8623	30.8334	30.1104	30.3609	29.8800
May,2004	29.5231	29.6361	28.2754	29.4087	29.2108	29.6469	29.2108
Jun,2004	28.7000	28.8050	27.5413	28.7667	28.4532	28.8548	28.1578
Jul,2004	28.1615	28.4273	27.8567	28.5634	28.2522	28.3333	27.9667
Aug,2004	28.4231	28.6360	27.8236	28.5833	28.3665	28.5357	27.9067
Sep,2004	27.8308	28.0250	27.5167	28.0960	27.8671	27.9533	27.4567
Oct,2004	26.8154	27.2250	26.7521	27.8150	27.1519	26.9906	27.1519
Nov,2004	26.1462	26.4320	25.6667	27.4000	26.4112	26.3825	25.9867

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ต่อ)

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Dec,2004	23.2231	23.6240	22.3627	23.9540	23.2909	23.4442	23.1567
Jan,2005	24.2308	24.7040	22.1790	25.0440	24.0394	24.5912	24.2323
Feb,2005	28.5462	28.7934	26.3805	29.0453	28.1913	28.7567	28.3668
Mar,2005	27.9308	28.4307	25.6292	28.7260	27.6792	28.1497	27.6792
Apr,2005	30.3769	30.6860	28.4984	30.8000	30.0903	30.5376	30.0903
May,2005	30.4769	30.7500	29.1564	30.9000	30.3208	30.5766	30.3208
Jun,2005	29.2154	29.3367	27.8002	29.3500	28.9256	29.3058	28.9256
Jul,2005	28.6077	28.8634	27.2812	28.8833	28.4089	28.7342	28.1007
Aug,2005	28.0231	28.3640	26.8391	28.3820	27.9020	28.3022	27.9020
Sep,2005	27.9538	28.0950	26.8169	28.0500	27.7289	28.0531	27.7289
Oct,2005	27.5846	27.9500	26.5623	28.0500	27.5367	27.6265	27.5367
Nov,2005	26.3500	26.6880	24.8220	26.8200	26.1700	26.3999	25.9666
Dec,2005	23.1923	23.8089	22.0988	24.1750	23.3187	23.4400	22.9801
Jan,2006	24.4077	24.9134	22.5381	25.1353	24.2486	24.5517	23.8666
Feb,2006	26.6615	27.2377	25.0085	27.3880	26.5739	26.8815	26.5739
Mar,2006	28.9923	29.4840	26.8464	29.5300	28.7132	29.0473	28.7132
Apr,2006	29.7231	29.2441	28.1960	30.0001	29.2908	29.8501	29.2908
May,2006	29.1385	29.2361	27.4647	29.3368	28.7940	29.2901	28.7940
Jun,2006	29.6692	29.7101	28.1931	29.7101	29.3206	29.7451	28.9776
Jul,2006	28.5385	27.7460	27.4829	28.8050	28.1431	28.6906	27.8444
Aug,2006	28.1231	28.3453	27.2421	28.3286	28.0098	28.3234	27.6777
Sep,2006	28.0308	28.1550	26.7768	28.1427	27.7763	28.0658	27.7763
Oct,2006	27.4154	27.7494	26.4216	27.9274	27.3784	27.5367	27.3784
Nov,2006	27.1923	27.4174	25.5740	27.6533	26.9593	27.2361	26.9593
Dec,2006	23.7923	25.5824	22.3996	24.6440	24.1046	24.0892	23.6713
Jan,2007	22.8538	23.6059	22.3996	24.3384	23.2994	23.1275	22.4593
Feb,2007	26.2538	26.4441	21.8107	26.5167	25.2563	26.5064	25.2599
Mar,2007	29.0615	29.2791	24.4133	29.4300	28.0460	29.2673	28.5644
Apr,2007	29.2615	29.6200	27.2857	29.2934	28.8652	29.3293	29.0126
May,2007	28.2231	28.3374	27.8490	28.2734	28.1707	28.3075	28.1707
Jun,2007	29.0000	29.1714	27.7885	29.1440	28.7760	29.1360	28.7760
Jul,2007	28.5077	28.6197	27.1853	28.5873	28.2250	28.5928	28.1328
MAPE		0.0132	0.0487	0.0166	0.0077	0.0079	0.0428

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคใต้

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Jan,2002	26.9700	26.4833	26.7958	26.9789	27.0188	26.9466	26.8750
Feb,2002	27.5100	27.2411	27.5438	27.5911	27.4125	27.4044	27.2840
Mar,2002	28.5600	28.4166	28.6063	28.9256	28.5563	28.5821	28.4153
Apr,2002	29.3300	29.2400	29.3188	29.6178	29.3875	29.4106	29.2243
May,2002	29.0900	28.9839	28.9708	29.1022	29.1750	29.1980	29.0424
Jun,2002	29.0300	28.9567	28.7188	29.1367	29.2938	29.1959	29.0326
Jul,2002	29.0300	29.0317	28.6813	29.4000	29.4375	29.1788	29.1021
Aug,2002	28.5500	28.0545	28.0292	28.6000	28.8250	28.7172	28.5660
Sep,2002	28.1200	28.1956	27.7750	28.2578	28.4125	28.3187	28.1875
Oct,2002	28.0200	27.9933	27.9458	28.2678	28.2313	28.1310	27.9701
Nov,2002	27.2500	26.8944	27.2229	27.4600	27.3125	27.2294	27.1208
Dec,2002	27.8100	27.2789	27.7417	27.6233	27.7563	27.8245	27.6396
Jan,2003	27.3700	26.5833	27.1625	27.1283	27.3813	27.3793	27.1708
Feb,2003	27.9000	26.0738	27.9938	28.2467	28.0000	27.9845	27.7646
Mar,2003	28.7700	28.6044	28.6292	28.8389	28.7438	28.7154	28.5944
Apr,2003	29.2700	29.5940	29.4271	29.8067	29.4750	29.3832	29.2167
May,2003	29.0700	29.1128	29.0521	29.3600	29.2375	29.1387	29.0257
Jun,2003	28.7900	28.5667	28.7646	29.1334	29.0750	28.9922	28.8014
Jul,2003	28.1700	28.0379	28.0771	28.2156	28.4375	28.4549	28.2326
Aug,2003	28.5300	28.7210	28.3375	28.4578	28.6625	28.6468	28.5313
Sep,2003	28.2100	28.2112	27.9354	28.0289	28.3875	28.3635	28.2243
Oct,2003	27.2800	27.0833	27.2104	27.1233	27.3188	27.3393	27.2292
Nov,2003	27.2700	27.2600	27.4417	27.6489	27.3625	27.3460	27.1049
Dec,2003	26.6100	26.1961	26.5396	26.7444	26.7125	26.6682	26.3799
Jan,2004	27.6900	27.0466	27.5667	27.3578	27.5375	27.6411	27.4361
Feb,2004	27.8222	27.2200	27.6000	27.4656	27.5688	27.7031	27.4951
Mar,2004	28.8700	28.7167	28.8354	28.7334	28.7375	28.8665	28.6528
Apr,2004	29.6300	29.9556	29.6646	30.0278	29.8063	29.8236	29.5917
May,2004	29.1600	28.9706	28.9688	29.1289	29.2375	29.1798	29.0958
Jun,2004	28.6200	28.7560	28.5188	28.5656	28.7813	28.8189	28.6396
Jul,2004	28.1600	28.3422	28.1500	28.2600	28.4625	28.3297	28.1771
Aug,2004	28.5900	28.3700	28.2604	28.3056	28.6813	28.6638	28.4743
Sep,2004	28.0100	27.9666	28.1667	28.0600	28.0875	28.1337	27.9451
Oct,2004	27.6800	26.9000	27.4833	27.6622	28.1125	28.0964	27.7424
Nov,2004	27.7300	27.0513	27.5021	27.2167	27.4688	27.6688	27.3701

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยวิธีการคำนวณต่าง ๆ ของภาคใต้ (ต่อ)

month/year	Real	Element_1node	Diff_1node	Element_2node	Diff_2node	Element_1/2node	Diff_1/2node
Dec,2004	27.0000	26.1699	26.7917	25.9334	26.9125	26.8550	26.4167
Jan,2005	27.0800	26.4910	26.8958	26.1110	27.0125	26.9398	26.5403
Feb,2005	28.3200	27.6328	28.2896	27.4778	28.1375	28.2107	27.7507
Mar,2005	28.7700	28.2044	28.7208	27.9933	28.5625	28.6504	28.2493
Apr,2005	29.7100	29.8300	29.6104	29.7089	29.8125	29.8593	29.5910
May,2005	29.2800	29.6122	29.2750	30.0778	29.6375	29.4945	29.3035
Jun,2005	28.8900	28.7134	28.6625	29.0556	29.1875	28.9544	28.7618
Jul,2005	28.7200	28.3867	28.4563	28.7000	28.9375	28.7224	28.5507
Aug,2005	28.8000	28.6639	28.5500	29.0000	29.1500	28.9405	28.8063
Sep,2005	28.4300	28.3378	28.0938	28.6311	28.5750	28.3942	28.3090
Oct,2005	27.5100	27.4694	27.5708	27.8356	27.6625	27.5544	27.4083
Nov,2005	27.2000	26.8622	27.2042	27.0311	27.2500	27.1614	27.0021
Dec,2005	25.9200	25.4505	25.9500	25.3733	25.8500	25.8668	25.6729
Jan,2006	26.9300	26.2333	26.8396	26.3156	26.9000	26.8264	26.5340
Feb,2006	27.8400	27.4533	27.8646	27.5933	27.9000	27.7378	27.5451
Mar,2006	28.4100	28.3489	28.4854	28.3933	28.4000	28.4090	28.1924
Apr,2006	28.7100	28.8066	28.8375	29.0089	28.7750	28.8301	28.6396
May,2006	28.3100	28.4577	28.3792	28.3756	28.2875	28.3712	28.1958
Jun,2006	28.3700	28.6634	28.3979	28.9778	28.5875	28.5792	28.4431
Jul,2006	28.5100	28.3389	28.2542	28.3056	28.5313	28.5334	28.4153
Aug,2006	28.5100	27.7826	28.1729	27.8667	28.4500	28.4898	28.3132
Sep,2006	27.9300	28.0189	27.9771	27.6600	27.9125	27.9677	27.7833
Oct,2006	27.7400	27.4722	27.7188	27.3311	27.4625	27.6306	27.4951
Nov,2006	27.8500	27.4828	27.7958	27.7178	27.5625	27.8280	27.4903
Dec,2006	27.2400	26.4122	27.1417	26.9556	27.0750	27.1582	26.9639
Jan,2007	26.5100	26.3283	26.4958	26.0778	26.3375	26.4902	26.3194
Feb,2007	27.0700	27.3593	27.0896	26.5867	26.8000	27.0103	26.8069
Mar,2007	27.8700	29.8500	28.0104	27.7334	27.8125	27.9815	27.7715
Apr,2007	28.2800	29.4723	28.4708	28.3467	28.3625	28.5538	28.3444
May,2007	27.8300	28.4896	27.9417	27.5444	27.7125	27.8442	27.7493
Jun,2007	27.9000	29.2945	28.0958	28.0678	28.0313	27.9618	27.8917
Jul,2007	27.6300	28.3130	27.5208	27.3333	27.5625	27.5779	27.5208
MAPE		0.0586	0.0048	0.0101	0.0053	0.0035	0.0102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้