

ตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย

FORECASTING MODELS FOR MINIMUM TEMPERATURE
IN CHANGMAI AND LOEI PROVINCES

อภิรักษ์ชัย เกษไชยวงศ์
APILUCK KENCHAIWONG

ฉบับานิชพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่มหาวิทยาลัยสุรนารีวิจัยและพัฒนาโดย
สาขาวิชาสถิติประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสุรนารี

สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยสุรนารี

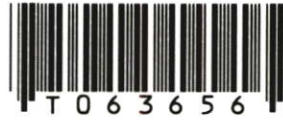
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2665-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย

FORECASTING MODELS FOR MINIMUM TEMPERATURE
IN CHAINGMAI AND LOEI PROVINCES



อภิรักษ์ณ์ เคนไชยวงศ์

APILUCK KENCHAIWONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 63656
วัน,เดือน,ปี 30 ส.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2665-2

**FORECASTING MODELS FOR MINIMUM TEMPERATURE
IN CHAINGMAI AND LOEI PROVINCES**

APILUCK KENCHAIWONG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED STATISTICS
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2665-2

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย
FORECASTING MODELS FOR MINIMUM TEMPERATURE IN CHAINGMAI
AND LOEI PROVINCES

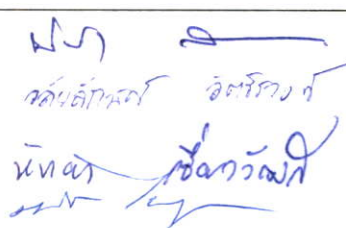
ชื่อนักศึกษา นายอภิสิทธิ์ เคนไชยวงศ์

รหัสประจำตัว 44065402

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สถิติประยุกต์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.มนัส ไพฑูรย์เจริญลาภ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.น้อมจิต	กิตติโชติพานิชย์	
ผศ.ดร.วลัยลักษณ์	อัคริรวงศ์	
ผศ.หัทธยา	เชี่ยววัฒน์	
ผศ.ดร.มนัส	ไพฑูรย์เจริญลาภ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 29 พฤษภาคม 2549 เวลา 9.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ห้อง 110

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๙.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๒๕๔๙

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัด เชียงใหม่และจังหวัดเลย
นักศึกษา	นายอภิสิทธิ์ เคนไชยวงศ์
รหัสประจำตัว	44065402
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถิติประยุกต์
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.มนัส ไพฑูรย์เจริญลาภ

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นสารประกอบอนุกรมวิธานที่ตรวจวัดได้ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่และสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเลย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ถึงปี พ.ศ. 2548 ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ทิศนวิสัย ความเร็วลมผิวพื้น จำนวนเมฆในท้องฟ้า ความยาวนานของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งทำการตรวจวัด ณ เวลาต่าง ๆ วันละ 8 เวลา คือ เวลา 01.00 น., 04.00 น., 07.00 น., 10.00 น., 13.00 น., 16.00 น., 19.00 น. และ 22.00 น. แบ่งเป็นตัวแปรต้น 59 ตัวแปร และตัวแปรตามคือ อุณหภูมิต่ำสุดของวัน

พหุนี้ โดยศึกษาการสร้างตัวแบบ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเดือนพฤศจิกายน 2537 ถึง กุมภาพันธ์ 2547 ส่วนรูปแบบที่ 2 วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเดือนพฤศจิกายน 2547 เพิ่มขึ้นอีก 1 เดือน คือใช้ข้อมูลเดือนพฤศจิกายน 2537 ถึงพฤศจิกายน 2547 วิธีการศึกษาใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อจัดกลุ่มตัวแปรสารประกอบอนุกรมวิธานและสร้างตัวแปรใหม่ และใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ โดยใช้ Stepwise ในการคัดเลือกตัวแปรเพื่อสร้างตัวแบบ นำตัวแบบที่ได้ไปพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAD) และค่ากำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของค่าตัวเศษเหลือเพื่อใช้วัดค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ และทำการเปรียบเทียบความถูกต้องในการพยากรณ์ระหว่างตัวแบบทั้งสองและการพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบทั้งสองรูปแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลยที่สร้างขึ้นให้ค่าความถูกต้องของการพยากรณ์มากกว่าการพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด คือตัวแบบรูปแบบที่ 2 ทั้งจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\hat{Y} = 16.704 + 1.548F_1 - 0.608F_2 + 1.846F_3 + 0.328F_4 + 0.559F_5 + 0.246F_6 + 0.502F_7 - 0.123F_8 \quad (1)$$

$$\hat{Y} = 16.611 + 2.382F_1 + 0.336F_2 - 0.369F_3 - 0.562F_5 - 0.139F_6 - 0.149F_7 + 0.149F_9 \quad (2)$$

Thesis Title	Forecasting Models for Minimum Temperature in Chiangmai and Loei Provinces
Student	Mr. Apiluck Kenchaiwong
Student ID.	44065402
Degree	Master of Science
Programme	Applied Statistics
Year	2006
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Manat Pithuncharurnlap

ABSTRACT

The objective of this study was to create forecasting models for minimum temperature in Chiangmai and Loei provinces. The data used in this study as meteorology compounds that measured at Meteorological Station in Chiangmai province and Loei province during 1994 to 2005. It consisted of dry temperature, dewpoint temperature, relative humidity, air pressure, visibility, surface wind speed, cloud octa, solar radiation, maximum temperature and minimum temperature which made the measure at various time and got the measure 8 time per day, that is ; 01.00, 04.00 07.00, 10.00, 13.00,16.0000, 19.00 and 22.00, and it divided into 59 independent variables and dependent variable, that is ; minimum temperature for tomorrow. This study made two models, that is; the first of model analyzed by using the data during on November 1994 to February 2004. The second of model analyzed by using the data during on November 2004 that added one month. The study used in factor analysis to arrange the variable groups of independent variable and made new variable, and use the multiple linear regression analysis by using Stepwise in selection the variable to make the models. Bring the models to forecast the minimum temperature. There are the value calculation of MAD and MSE to measure the accuracy in forecasting and to compare the accuracy in forecasting during the both models, and forecasting used by Dynamic and forecaster's experiences.

The results of the study revealed that : There was significant difference in the both models for forecasting minimum temperature in Chiangmai province, and Loei province, that gave the value of accuracy more than forecasting by the way of Dynamic and forecaster's experiences at .05 level. With the appropriate model for forecasting the minimum temperature in Chiangmai province, and Loei province, that is; the second of model, both two provinces.

There are the first of equation for Chaingmai province and the second equation for Loei province as follows:

$$\hat{Y} = 16.704 + 1.548F_1 - 0.608F_2 + 1.846F_3 + 0.328F_4 + 0.559F_5 + 0.246F_6 + 0.502F_7 - 0.123F_8 \quad (1)$$

$$\hat{Y} = 16.611 + 2.382F_1 + 0.336F_2 - 0.369F_3 - 0.562F_5 - 0.139F_6 - 0.149F_7 + 0.149F_9. \quad (2)$$

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. มนต์ไพฑูรย์เจริญลาภ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และความเมตตาจากท่าน จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.หทัยา เชี่ยววัฒนิกี ดร.น้อมจิต กิตติโชติพานิชย์ และ รศ.ดร. วลัยลักษณ์ อัครีรวงศ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนชี้แนะในข้อบกพร่องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.อุมาพร จันทสร ผศ.ดร.ณหทัย ราตรี ผศ.วราวัฒน์ รัตนเมธิ และอาจารย์ภาควิชาสถิติประยุกต์ทุกท่านซึ่งมีส่วนช่วยให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้

ขอขอบพระคุณนักอุดมศึกษาและเจ้าหน้าที่อุดมศึกษา สังกัดกรมอุดมศึกษา ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับการพยากรณ์อุณหภูมิค่าสุด และค่าชี้แนะต่าง ๆ รวมทั้งอนุเคราะห์ข้อมูลสารประกอบอุดมศึกษาเพื่อนำมาศึกษาวิจัย และขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นนักเรียนอุดมศึกษารุ่นที่ 17 ที่สนับสนุนและให้กำลังใจมาตลอด จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบใจให้แก่บิดาผู้ล่วงลับไปแล้ว และมารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อภิรักษ์ณ์ เกนไชยวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	6
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 สารประกอบอตุณิยมวิทยา.....	8
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอตุณิยมต่ำสุดกับสารประกอบอตุณิยมวิทยา.....	16
อื่นๆ	
2.3 การพยากรณ์อากาศ.....	17
2.4 การพยากรณ์อตุณิยมต่ำสุดโดยอาศัยหลักวิธีทางพลศาสตร์.....	21
และประสบการณ์ของนักพยากรณ์	
2.5 ทฤษฎีสถิติที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ	22
2.6 การหาค่าความถูกต้องและการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง	44
ในการพยากรณ์	
2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	47
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	47
3.2 การกำหนดตัวแปรในการศึกษา.....	48
3.3 แนวคิดในการสร้างตัวแบบ	50

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบ.....	50
3.5 คำนวณค่าความถูกต้องและการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง ในการพยากรณ์	53
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	55
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์ อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่	55
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์ อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเลย	69
4.3 ผลการคำนวณค่าความถูกต้องและการเปรียบเทียบความถูกต้องในการพยากรณ์	83
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	87
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	88
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	89
บรรณานุกรม	90
ภาคผนวก	92
ประวัติผู้เขียน	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเชียงใหม่.....56 รูปแบบที่ 1	
4.2 ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเชียงใหม่.....63 รูปแบบที่ 2	
4.3 ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเลย.....71 รูปแบบที่ 1	
4.4 ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเลย.....79 รูปแบบที่ 2	
4.5 แสดงค่า MADและ MSE ของค่าตัวเศษเหลือ รายวัน ของสมการการถดถอยของ.....87 จังหวัดเชียงใหม่ ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคมพ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548	
4.6 แสดงค่า MADและ MSE ของค่าตัวเศษเหลือ รายวัน ของสมการการถดถอยของ.....89 จังหวัดเลย เดือนพฤศจิกายน, ธันวาคมพ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงลักษณะของค่าความคลาดเคลื่อน กรณีค่าความแปรปรวน.....40 (ก) คงที่ (ข) เพิ่มขึ้น และ (ค) ลดลง
4.1	กราฟ NPP ของค่าตัวเศษเหลือของสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด.....61 ของจังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 1
4.2	กราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือ (e) กับค่าประมาณของ $Y (\hat{Y})$ ของตัวแบบ.....62 จังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 1
4.3	กราฟ NPP ของค่าตัวเศษเหลือของสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด.....68 ของจังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 2
4.4	กราฟระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน (e) กับค่าประมาณของ $Y (\hat{Y})$70 ของตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 2
4.5	กราฟ NPP ของค่าความคลาดเคลื่อนของสำหรับตัวแบบพยากรณ์อุณหภูมิ76 ต่ำสุดของจังหวัดเลย รูปแบบที่ 1
4.6	กราฟระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน (e) กับค่าประมาณของ $Y (\hat{Y})$78 ของตัวแบบจังหวัดเลย รูปแบบที่ 1
4.7	กราฟ NPP ของค่าความคลาดเคลื่อนของสำหรับตัวแบบพยากรณ์อุณหภูมิ84 ต่ำสุดของจังหวัดเลย รูปแบบที่ 2
4.8	กราฟระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน (e) กับค่าประมาณของ $Y (\hat{Y})$86 ของตัวแบบจังหวัดเลย รูปแบบที่ 2

บทที่ 1

บทนำ

1. 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาพอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดทั้งปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีของประเทศไทยมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามอุณหภูมิจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล พื้นที่ที่อยู่ลึกเข้าไปในพื้นที่ซึ่งห่างไกลจากทะเลบริเวณตั้งแต่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาวและระหว่างกลางวันกับกลางคืน โดยในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิสูงสุดในช่วงบ่ายจะสูงเกือบ 40 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านั้นในช่วงเดือนมีนาคมถึงต้นเดือนพฤษภาคม โดยเฉพาะเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบปี ส่วนฤดูหนาวโดยปกติจะมีระยะเวลา 4 เดือน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมเป็นต้นไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ประเทศไทยได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งมาจากประเทศจีน ทำให้บริเวณประเทศไทยมีอากาศเย็นลงเป็นลำดับตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม และอากาศจะหนาวเย็นมากในเดือนธันวาคมและมกราคม โดยอุณหภูมิอากาศลดลงจนอยู่ในเกณฑ์หนาวจัดและลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (0 องศาเซลเซียส) ในบริเวณที่สูง เช่น ยอดภูเรือ จังหวัดเลย ยอดดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น มีสถิติอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยทั่วประเทศ 19.8 องศาเซลเซียส และสถิติอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตามภาคต่าง ๆ เป็นดังนี้ ภาคเหนือ 17.0 องศาเซลเซียส ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 17.6 องศาเซลเซียส ภาคกลาง 20.7 องศาเซลเซียส ภาคตะวันออก 21.4 องศาเซลเซียส และภาคใต้ 22.4 องศาเซลเซียส โดยมีสถิติอุณหภูมิต่ำที่สุดของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นดังนี้ ภาคเหนือ ที่สถานีอากาศเกษตรน่าน วัดได้ -1.0 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 2 มกราคม 2517 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่สถานีอากาศเกษตรสกลนคร วัดได้ -1.4 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 2 มกราคม 2517 (กรมอุตุนิยมวิทยา.2545)

อากาศที่หนาวจัดทำให้ประชาชนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับความเดือดร้อน ขาดแคลนเครื่องห่มกันหนาว เจ็บป่วยถึงขั้นล้มตายเป็นจำนวนไม่น้อยในแต่ละปี โดยเฉพาะในเด็กและผู้สูงอายุซึ่งมีร่างกายอ่อนแออยู่แล้ว ในปี พ.ศ.2546 ถึง 2547 มีประชาชนได้รับความเดือดร้อนจากอากาศหนาวจัด ถึง 840,000 ครอบครัว จำนวน 4,200,000 คน ภาครัฐต้องให้ความช่วยเหลือราษฎรที่ประสบภัยหนาวแยกเป็น ภาคเหนือ 17 จังหวัด โดยการแจกผ้าห่มกันหนาว จำนวน 73,120 ชิ้น คิดเป็นเงินงบประมาณ 11,700,000 บาท ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 10 จังหวัดช่วยเหลือโดยการแจกผ้าห่มกันหนาว จำนวน 63,435 ชิ้น คิดเป็นเงินงบประมาณ 10,150,000 บาท และภาคเอกชน เช่น บริษัทเบียร์ไทย จำกัด สภาอากาศไทย และมูลนิธิต่าง ๆ ได้เข้ามามีส่วนร่วม

ในการจัดหาผ้าห่มกันหนาวช่วยเหลือราษฎรผู้ประสบภัย ดังนี้ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางตอนบน ทั้งหมด 46 จังหวัด ได้ช่วยเหลือโดยการแจกผ้าห่มกันหนาว จำนวน 276,765 ชิ้น มูลค่า 44,250,000 บาท (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย.2547) อีกทั้งอากาศที่หนาวเย็นยังก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคปอดบวม โรคปอดอักเสบ โรคไข้หวัดใหญ่ ในปี 2546 ประชาชนคนไทยป่วยเป็นโรคปอดบวมและปอดอักเสบ ทั้งหมด 135,768 คน ซึ่งแยกเป็นผู้ป่วยที่ป่วยในช่วงฤดูหนาว คือ ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ จำนวน 46,949 คน คิดเป็นร้อยละ 35 ของคนที่ป่วยเป็นโรคนี้นี้ตลอดทั้งปี โดยแยกเป็นผู้ป่วยซึ่งเป็นประชาชนในจังหวัดเชียงใหม่ 4,584 คน เสียชีวิต 18 คน และผู้ป่วยซึ่งเป็นประชาชนในจังหวัดเลย 1,478 คน เสียชีวิต 10 คนและป่วยเป็นโรคไข้หวัดใหญ่ ทั้งหมด 42,371 คน ซึ่งแยกเป็นผู้ป่วยที่ป่วยในช่วงฤดูหนาว คือ ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ จำนวน 15,776 คน คิดเป็นร้อยละ 38 ของคนที่ป่วยเป็นโรคนี้นี้ตลอดทั้งปี แยกเป็นผู้ป่วยซึ่งเป็นประชาชนในจังหวัดเชียงใหม่ 4,361 คน และผู้ป่วยซึ่งเป็นประชาชนในจังหวัดเลย 2,178 คน (กองระบาดวิทยา.2547)

ในอีกด้านหนึ่งในช่วงฤดูหนาวของแต่ละปี อากาศที่หนาวเย็นเป็นสิ่งดึงดูดใจให้นักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศให้เข้าไปสัมผัสกับอากาศหนาวในหลายพื้นที่ ของจังหวัดทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กันเป็นจำนวนมากเช่น ดอยสุเทพ จังหวัดเชียงใหม่ ภูกระดึง จังหวัดเลย เป็นต้น โดยมีสถิติการท่องเที่ยวที่น่าสนใจ เช่น ปี พ.ศ.2546 จังหวัดเชียงใหม่มีนักท่องเที่ยวเข้าไปท่องเที่ยว จำนวน 761,196 คน ในจำนวนนี้เข้าไปท่องเที่ยวในฤดูหนาวเป็นจำนวน 143,245 คน คิดเป็นร้อยละ 19 จังหวัดเลย มีนักท่องเที่ยวเข้าไปท่องเที่ยว จำนวน 643,213 คน ในจำนวนนี้เข้าไปท่องเที่ยวในฤดูหนาวเป็นจำนวน 125,245 คน คิดเป็นร้อยละ 19.47 (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย.2546:310)

การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงฤดูหนาวจึงเป็นที่สนใจของประชาชนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งนักท่องเที่ยวเป็นอย่างมากกว่าอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเช้าตรู่ของวันต่อไปจะมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลงกว่าวันนี้ ซึ่งจะมีผลต่อการเตรียมตัวให้พร้อมที่จะประสบกับสภาวะอากาศหนาว เช่น การเตรียมเครื่องห่มกันหนาวให้พร้อม การเผื่อระวังเด็กและผู้สูงอายุที่ช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ โดยเฉพาะผู้สูงอายุซึ่งมักจะเสียชีวิตจากการหนาวตายในตอนกลางคืนถึงเช้าตรู่ของวันต่อไป การเตรียมเชื้อเพลิงในการก่อไฟเพื่อให้ความอบอุ่น เป็นต้น โดยมีกรณีตัวอย่างคือ มีราษฎรชาวบ้านหนองแก้ว ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ชื่อ นายปิ่น ไทยใหม่ ได้เสียชีวิตเนื่องจากอากาศหนาวจัดและนอนไม่ห่มผ้าเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2547 (คมชัดลึก. 22 ธันวาคม 2547) ดังนั้นการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดที่ให้ค่าพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่จะเกิดขึ้นจริงมากที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเตรียมตัวดังกล่าวและเป็นที่เชื่อถือของประชาชน

การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในปัจจุบันเป็นหน้าที่อย่างหนึ่งของกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยจะทำการออกประกาศค่าพยากรณ์ในเวลา

12.00 น. ทุกวัน ทางสื่อมวลชนทุกแขนง โดยเฉพาะวิทยุ และ โทรทัศน์ ซึ่งเป็นการพยากรณ์อุณหภูมิ
ต่ำสุดที่จะเกิดขึ้นตั้งแต่เวลา 12.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์ จนถึงเวลา 12.00 น. ของวันรุ่งขึ้น
โดยใช้วิธีการพยากรณ์ที่ใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ ซึ่งเป็นวิธีที่มี
ขั้นตอนที่ยุ่งยากและใช้เวลามากในการพยากรณ์โดยใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง เริ่มต้นจากการ
เขียนแผนที่อากาศ 4 ประเภท คือ แผนที่อากาศผิวพื้น (Synoptic Chart) แผนที่ความกดอากาศเปลี่ยน
(Pressure Change Chart) แผนที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างเปลี่ยน (Dewpoint Change Chart) และแผนที่ลม
ชั้นบน (Upper Wind Chart) แผนที่แต่ละชนิดจะใช้ข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยาเวลา 07.00 น.
ของวันที่ทำการพยากรณ์มาเขียนสัญลักษณ์ทางอุตุนิยมวิทยาลงในแผนที่ แต่จะใช้ข้อมูล (ตัวแปร)
ที่แตกต่างกันในการเขียนแผนที่แต่ละประเภท เมื่อเขียนแผนที่อากาศเสร็จแล้วขั้นต่อไปจะต้องทำ
การวิเคราะห์แผนที่อากาศแต่ละประเภทเพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบอากาศที่ปกคลุม
พื้นโลกและบริเวณประเทศไทย และขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด เป็นหน้าที่
ของนักอุตุนิยมวิทยาที่ทำหน้าที่ในขั้นตอนที่ 2 โดยต้องใช้ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดของวันที่ทำการ
พยากรณ์ของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ต้องการพยากรณ์ เป็นหลัก แล้วใช้วิจารณ์ญาณของนักอุตุนิยม-
วิทยา ในการใช้แผนที่อากาศทั้ง 4 ชนิดมาประกอบ เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันถัดจากวันที่
ทำการพยากรณ์ 1 วัน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าแนวโน้มความแรงของบริเวณความกดอากาศสูงที่ปกคลุม
ประเทศไทยมีแนวโน้มแรงขึ้น อุณหภูมิต่ำสุดจะมีแนวโน้มลดลง จะลดลงมากน้อยเพียงใดต้องใช้
แผนที่ความกดอากาศเปลี่ยนประกอบในการพิจารณา คือถ้าค่าความกดอากาศ ณ สถานีอุตุนิยม-
วิทยา ในจังหวัดนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นมากอุณหภูมิต่ำสุดจะลดลงมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าความกด
อากาศมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยอุณหภูมิต่ำสุดจะลดลงน้อยด้วย ขณะเดียวกันก็ต้องพิจารณาแผนที่อุณหภูมิ
จุดน้ำค้างเปลี่ยน ถ้าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดที่ต้องการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด
มีค่าลดลงมากค่าอุณหภูมิต่ำสุดในวันต่อไปก็จะมีโอกาสลดลงมากตาม สุดท้ายจะพิจารณา
แผนที่ลมชั้นบนซึ่งจะพิจารณาว่าถ้าลมชั้นบนมีกำลังแรงมากและลักษณะของลมเป็นลมในลักษณะ
กดลงด้านต่ำ (convergence) ก็จะเป็นการแสดงให้เห็นว่ามวลอากาศเย็นหรือบริเวณความกดอากาศ
สูงจะมีกำลังแรงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าลดลง เป็นต้น ส่วนการจะพยากรณ์ว่าค่าอุณหภูมิ
ต่ำสุดจะสูงขึ้น หรือต่ำลงจากค่าอุณหภูมิต่ำสุดของวันที่ทำการพยากรณ์ ก็องศาเซลเซียสนั้นขึ้นอยู่กับ
กับวิจารณ์ญาณและประสบการณ์ของนักอุตุนิยมวิทยาที่ทำหน้าที่ในการพยากรณ์ในวันนั้น และ
ต้องทำเช่นนี้จนครบทั้ง 76 จังหวัด จึงจะสามารถออกคำพยากรณ์ได้ ซึ่งขั้นตอนนี้ก็ต้องใช้เวลา
ประมาณ 1-2 ชั่วโมง

จากขั้นตอนการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วยวิธีการใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และ
ประสบการณ์ของนำพยากรณ์ที่กล่าวมานั้นยังมีข้อจำกัดหลายประการดังนี้

1. กระบวนการในการพยากรณ์ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานานในการพยากรณ์แต่ละครั้ง โดยใช้เวลาในการพยากรณ์ไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง จึงจะสามารถออกประกาศคำพยากรณ์ได้ครบทั้ง 76 จังหวัด

2. ยังไม่มีสมการสำหรับการพยากรณ์ การตัดสินใจในการพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ขึ้นอยู่กับดุลพินิจและประสบการณ์ของนักอุตุนิยมวิทยาที่ทำหน้าที่ในการพยากรณ์ในแต่ละวัน

3. ต้องใช้ข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยาจากหลายสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วโลก จึงจะสามารถทำการพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุดได้

จากข้อจำกัดของการพยากรณ์ด้วยวิธีดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้คิดหาวิธีแก้ปัญหาค่าความยุ่งยากของการพยากรณ์เพื่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว ลดขั้นตอนในกระบวนการพยากรณ์ ให้มีสมการสำหรับพยากรณ์ และใช้ข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดที่ต้องการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดเพียงสถานีเดียวก็สามารถพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดนั้นได้ ซึ่ง (Attri et.al.1994) ได้เคยศึกษาเพื่อหาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงฤดูหนาวของเมือง Gangtok ประเทศอินเดีย ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ โดยมีตัวแปรอิสระคือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง จำนวนเมฆในท้องฟ้า อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่บันทึกไว้ ในเวลา 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์ ตัวแปรตามคืออุณหภูมิต่ำสุดในวันถัดไปจากวันที่ทำการพยากรณ์ 1 วัน ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน คือ พฤศจิกายน ถึง มีนาคม เดือนละ 1 ตัวแบบ และตัวแบบรวมทั้ง 5 เดือนใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 1969 ถึง 1992 ในการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแบบ และใช้ข้อมูลปี 1993 ถึง 1994 ในการพยากรณ์และเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จริง ผลปรากฏว่าค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบในแต่ละเดือนมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับตัวแบบของแต่ละเดือน คือเดือน พฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม, กุมภาพันธ์และมีนาคม เป็น 1.05, 1.13, 1.33, 0.85 และ 0.93 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนตัวแบบรวมทั้ง 5 เดือน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดจริงของเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม, กุมภาพันธ์และมีนาคม เป็น 1.06, 1.15, 1.34, 0.86 และ 0.93 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาของ Attri และคณะ จะเห็นว่าเป็นการเจาะจงที่จะใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพียง 4 ชนิด คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง จำนวนเมฆในท้องฟ้า อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำการตรวจวัดเวลา 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์เท่านั้น ซึ่งในทางอุตุนิยมวิทยาไม่มีทฤษฎีรองรับว่าข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดได้ในเวลาใดจากที่ทำการตรวจวัดทั้งหมด 8 เวลา ใน 1 วัน คือเวลา 01.00, 04.00, 07.00, 10.00, 13.00, 16.00, 19.00 และ 22.00 น. มีอิทธิพลต่อค่าอุณหภูมิต่ำสุดของวันถัดจากวันที่ทำการพยากรณ์ 1 วัน มากที่สุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงฤดูหนาวของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย ซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ซึ่งได้รับผลกระทบจากสภาวะอากาศหนาวและเป็นจังหวัดที่มีสถิติอุณหภูมิต่ำสุดที่ค่อนข้างต่ำกว่าจังหวัดอื่น ๆ โดยจังหวัดเชียงใหม่มีสถิติอุณหภูมิต่ำที่สุด 0 องศาเซลเซียส

ที่ยอดค้อย่างขาง เมื่อวันที่ 2 มกราคม 2517 จังหวัดเลยมีสถิติอุณหภูมิต่ำที่สุด -1.0 องศาเซลเซียส
 ที่ยอดภูเรือ เมื่อวันที่ 2 มกราคม 2517 โดยการสร้างตัวแบบจะใช้ข้อมูลสารประกอบอตุณนิยมวิทยา
 ของสถานีอตุณนิยมวิทยาในจังหวัดที่ต้องการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดเพียงสถานีเดียวมาประกอบการ
 พยากรณ์ ตามแนวคิดของ Attri และคณะ แต่จะใช้ข้อมูลอตุณนิยมวิทยาเพิ่มมากขึ้น คือ อุณหภูมิ
 อากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ทิศนวิสัย ความเร็วลมผิวพื้น จำนวน
 เมฆในท้องฟ้า ความยาวนานของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด และใช้ข้อมูลที่
 ตรวจวัดได้หลาย ๆ เวลามาประกอบการพยากรณ์ให้มากที่สุด คือ จะใช้ข้อมูลสารประกอบอตุณนิยม
 วิทยา ที่ทำการตรวจวัด ณ เวลา 13.00, 16.00, 19.00 และ 22.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์
 1 วัน และเวลา 01.00, 04.00, 07.00 และ 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์ เนื่องจาก เราไม่สามารถ
 ที่จะระบุได้ว่าข้อมูลสารประกอบอตุณนิยมวิทยาที่ทำการตรวจวัด ณ เวลาใด มีอิทธิพลต่อค่าอุณหภูมิ
 ต่ำสุดของวันถัดจากวันที่ทำการพยากรณ์ 1 วัน มากที่สุด โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor
 Analysis) ในการรวมกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเป็นการแก้ปัญหา
 การสัมพันธ์กันเองของตัวแปรอิสระ (Multicollinearity) จากนั้นจึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์การ
 ถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) มาสร้างสมการสำหรับการ
 พยากรณ์ โดยตัวแปรอิสระจะเป็นค่าคะแนนปัจจัย (Factor Score) ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์
 ปัจจัย ซึ่งเป็นตัวแปรใหม่ที่เกิดจากการรวมกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ด้วยกัน และตัวแปร
 ตามคือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดถัดจากวัดที่ทำการพยากรณ์ 1 วัน เมื่อได้สมการสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด
 จังหวัดละ 1 สมการแล้วทำการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดเพื่อวัดค่าความถูกต้องในการพยากรณ์
 โดยการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดขึ้นจริง และเปรียบเทียบความถูกต้องในการพยากรณ์
 อุณหภูมิต่ำสุดกับวิธีการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วยวิธีใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์
 ของนักพยากรณ์ที่กรมอตุณนิยมวิทยาใช้พยากรณ์อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งถ้าตัวแบบที่สร้างขึ้นมีค่าความ
 ถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดมากกว่าหรือเท่ากับค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ของ
 วิธีใช้หลักทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ ก็จะถือว่าสมการที่ได้มีความเหมาะสม
 ที่จะนำไปในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งจะช่วยให้ได้ค่าพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดอย่างรวดเร็ว
 และวิธีการที่ได้ สามารถพัฒนาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดอื่น ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย
 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple
 Regression Analysis)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดจะทำการศึกษาเฉพาะจังหวัด เชียงใหม่ และจังหวัดเลขในช่วงฤดูหนาว คือ เดือน พฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์ เท่านั้น

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

สารประกอบอุตุนิยมวิทยา หมายถึง บรรดาข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากการตรวจวัดสภาวะของบรรยากาศในบริเวณหนึ่ง ณ เวลาหนึ่ง ทั้งการดูด้วยตา และการใช้เครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยาทำการตรวจวัด

อุณหภูมิอากาศ หมายถึง ค่าระดับความร้อน-หนาวของอากาศที่ทำการวัดค่าได้ ด้วยเทอร์โมมิเตอร์(ดุ่มแห้ง) ภายในเรือนเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งสูงจากพื้นดิน 1.50 เมตร มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หมายถึง อุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นน้ำค้าง เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณจากอุณหภูมิดุ่มแห้งและดุ่มเปียกภายในเรือนเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งสูงจากพื้นดิน 1.50 มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงกับมวลของไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน ได้จากการคำนวณจากอุณหภูมิดุ่มแห้งและดุ่มเปียกภายในเรือนเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งสูงจากพื้นดิน 1.50 มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

ความกดอากาศ หมายถึง ความกดดันเนื่องจากน้ำหนักของอากาศ ที่วัดค่าได้จากเครื่องมือ บาริโอมิเตอร์ มีหน่วยเป็น เฮกโตปาสกาล (hPa)

ทัศนวิสัย หมายถึงระยะทางที่สามารถมองเห็นได้ไกลสุด ด้วยตาเปล่า มีหน่วยเป็น กิโลเมตร (km)

ความเร็วลมผิวพื้น หมายถึง ความเร็วของการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในแนวราบ ซึ่งวัดได้เครื่อง แอนนิโมมิเตอร์ ซึ่งตั้งอยู่กลางแจ้ง สูงจากพื้นดิน 12 เมตร มีหน่วยเป็น น็อต

จำนวนเมฆในท้องฟ้า หมายถึง จำนวนเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ณ เวลาที่ทำการตรวจวัด ซึ่งได้จากการคาดคะเนด้วยสายตา โดยแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 8 ส่วน (octa)

ความยาวนานของแสงอาทิตย์ หมายถึง ระยะเวลารวมทั้งแสงอาทิตย์ส่องลงมายังพื้นโลก ตั้งดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงดวงอาทิตย์ตก ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเวลา 19.00 น.

อุณหภูมิสูงสุด หมายถึง ค่าอุณหภูมิอากาศที่สูงที่สุดในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 19.00 น.วันนี้ ถึง 19.00 น.ของวันพรุ่งนี้ ทำการตรวจวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์สูงสุด และเก็บรวบรวมข้อมูลเวลา 19.00 น.

อุณหภูมิต่ำสุด หมายถึง ค่าอุณหภูมิกาศที่ต่ำที่สุดในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 07.00 น.วันนี้ ถึง 07.00 น.ของวันพรุ่งนี้ ทำการตรวจวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ต่ำสุดและเก็บรวบรวมข้อมูลเวลา 07.00 น.

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ตัวแบบสำหรับใช้พยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย ซึ่งการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดที่มีความถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วจะช่วยให้การเตรียมการป้องกันภัยอันอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากอากาศหนาวของประชาชนและนักท่องเที่ยวได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งที่จะศึกษาเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในประเทศไทย ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ดังนี้

- 2.1 สารประกอบอุตุนิยมวิทยา
- 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดกับสารประกอบอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ
- 2.3 การพยากรณ์อากาศ
- 2.4 การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด โดยอาศัยหลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์
- 2.5 ทฤษฎีสถิติที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ
 - 2.5.1 การวิเคราะห์ปัจจัย
 - 2.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ
- 2.6 การหาค่าความถูกต้องและการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์
- 2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารประกอบอุตุนิยมวิทยา

สารประกอบอุตุนิยมวิทยา หมายถึง สิ่งที่เป็นข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากสภาวะของบรรยากาศในบริเวณหนึ่ง ณ เวลาหนึ่ง ซึ่งจะรู้ได้จากการตรวจอากาศจากการดูด้วยตา และการใช้เครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยาทำการตรวจวัด (ไสว สุวรรณพงศ์. 2529) เนื่องจากบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกเรามีความหนาหลายร้อยไมล์ ดังนั้นการตรวจอากาศจึงต้องทำการตรวจทั้งที่ผิวโลกและในระดับสูงจากพื้นโลกขึ้นไป เพื่อนำผลมาใช้ในการพยากรณ์อากาศและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาต่อไป ในการตรวจสอบสารประกอบอุตุนิยมวิทยาที่ผิวพื้นและตรวจอากาศชั้นบน จะทำการตรวจสอบสารประกอบอุตุนิยมวิทยา ดังต่อไปนี้ จำพวกตรวจด้วยตา ได้แก่ ชนิดและจำนวนเมฆ (Cloud) สถานะลมฟ้าอากาศ (State of the Weather) ทิศนวิสัย (Visibility) จำพวกตรวจด้วยเครื่องมือตรวจอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Temperature) ความชื้น (Humidity) จุดน้ำค้าง (Dew point) ความกดอากาศ (Pressure) ทิศทางลมและความเร็วลม (Wind Direction and Velocity) ความสูงของฐานเมฆ (Ceiling) ปริมาณน้ำฝน (Precipitation) รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum Temperature) และอุณหภูมิสูงสุด (Maximum Temperature)

2.1.1 อุณหภูมิของอากาศ (Temperature)

อุณหภูมิของอากาศ หมายถึงระดับความร้อน-หนาวของอากาศ ที่วัดได้จากเครื่องมือที่เรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) แสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลกทำให้อากาศร้อน ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าจึงมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของอากาศในแต่ละวันและแต่ละฤดูกาล ในฤดูร้อนโลกจะเอียงหันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ทำให้พื้นผิวโลกได้รับความร้อนมาก อุณหภูมิของอากาศจะสูงเพราะแสงแดดส่องตรงลงมายังพื้นโลก ส่วนในฤดูหนาวโลกหันขั้วเหนือออกจากดวงอาทิตย์ แสงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนพื้นโลกจึงเฉียงทำให้อุณหภูมิอากาศต่ำจะไม่ร้อนมาก อุณหภูมิของอากาศมีความสำคัญต่อการหมุนเวียนของอากาศในแต่ละวันมาก ณ สถานที่ต่างกัน อุณหภูมิก็จะมีความต่างกันด้วยวัน เครื่องมือที่ใช้วัดที่เรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) มีหน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส (ไสว สุวรรณพงศ์.2530)

2.1.1.1 ปัจจัยที่ทำให้อุณหภูมิแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1) ระดับละติจูด ระดับละติจูดจะสัมพันธ์กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังพื้นโลกในแต่ละฤดูกาลซึ่งรังสีจากดวงอาทิตย์เป็นตัวการหนึ่งที่สำคัญทำให้อุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไป

2) ความสูงของพื้นที่ ในชั้นบรรยากาศที่สูงกว่าพื้นดินขึ้นไปประมาณไม่เกิน 12 กิโลเมตร ที่เรียกว่าชั้น “โทรโพสเฟียร์” นั้น อุณหภูมิในบรรยากาศจะลดต่ำลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น กล่าวคืออุณหภูมิของอากาศจะลดลงประมาณ 6.5 องศาเซลเซียส ต่อ 1 กิโลเมตร โดยเฉลี่ย ซึ่งก็หมายความว่า ถ้าอุณหภูมิที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลางเป็น 15 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะลดลงเหลือประมาณ 15 องศาเซลเซียส ที่ความสูง 5 กิโลเมตร ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อความสูงจะเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ รวมถึงการเคลื่อนไหวของอากาศในแนวอนและแนวโค้งด้วย

3) ลม ลมคืออากาศที่เคลื่อนที่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ผิวพื้นโลกจากบริเวณความกดอากาศสูง (อุณหภูมิต่ำ) ไปยังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ (อุณหภูมิสูง) ลมจะไม่พัดเป็นเส้นตรงเนื่องจากการหมุนของโลก ในซีกโลกเหนือลมจะพัดในทิศทางเฉียงไปทางขวา ส่วนในซีกโลกใต้ ลมจะพัดในทิศทางต่างกัน คือ เฉียงไปทางซ้าย

4) ลักษณะของพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมিরะหว่างพื้นดินกับพื้นน้ำจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือพื้นที่ซึ่งเป็นดินจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะร้อนและเย็นเร็วกว่าน้ำ ถึงแม้ว่าจะได้รับจากแสงอาทิตย์ในปริมาณเท่ากันก็ตาม กล่าวคือ ในเวลากลางวันพื้นดินได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนกลางคืน พื้นดินจะคลายความร้อนและเย็นลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณใต้ผิวดินตื้น ๆ เท่านั้น ทั้งนี้เพราะแสงอาทิตย์ผ่านพื้นดินได้ยาก สำหรับพื้นน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะคลายความร้อน

ช้ากว่าพื้นดินเพราะน้ำเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เช่น แม่น้ำที่ไหลผ่านภูเขาสูงจะเย็น ส่วนน้ำที่ไหลจากภูเขาลงมาสู่ที่ต่ำจะอุ่นขึ้น

5) กระแสน้ำ กระแสน้ำในมหาสมุทรที่ไหลเลียบชายฝั่งไม่ว่าจากเขตร้อนไปยังบริเวณละติจูดสูงหรือจากขั้วโลก มายังบริเวณศูนย์สูตรจะมีผลต่ออุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ บริเวณที่กระแสน้ำไหลผ่าน

6) เมฆ เมื่อน้ำในมหาสมุทร ห้วย หนอง คลอง บึง ระเหยขึ้นไปในอากาศชั้นบนจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ รวมตัว และก่อตัวเป็นเมฆ ซึ่งเมฆจะมีรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศในขณะนั้น เมฆในท้องฟ้าเป็นสิ่งที่ช่วยกันแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องพื้นโลกในเวลากลางวันมากในวันใดที่มีเมฆมากปกคลุมท้องฟ้าจะพบว่าอุณหภูมิของอากาศในวันนั้นจะไม่สูงมากส่วนในตอนกลางคืนเมฆก็จะช่วยป้องกันไม่ให้ความร้อนจากพื้นดินและอากาศสูญหายไปรวดเร็วอุณหภูมิของอากาศในคืนที่เมฆมากจึงลดลงช้า

2.1.1.2 การผันแปรของอุณหภูมิของอากาศบนพื้นโลกในรอบวัน หากได้มีการบันทึกอุณหภูมิของอากาศไว้ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมงหรือทุก ๆ ชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำอุณหภูมิที่ได้นั้นจดบันทึกลงในกระดาษกราฟ จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศประจำวันที่ผิวพื้นอย่างชัดเจน ซึ่งปรากฏว่าช่วงที่มีอากาศมีอุณหภูมิต่ำสุดจะเป็นในช่วงเช้ามืดใกล้เวลาที่ดวงอาทิตย์จะขึ้นเหนือขอบฟ้า เหตุเพราะพื้นผิวโลกเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วหลังดวงอาทิตย์ตก อุณหภูมิจะลดลงเรื่อย ๆ ส่วนช่วงเวลาที่อุณหภูมิของอากาศสูงสุด จะเป็นเวลาบ่ายหลังเที่ยงวันไปแล้ว (ประมาณ 14.00-16.00 น.)

สำหรับอุณหภูมิของอากาศบริเวณเหนือท้องทะเล หรือมหาสมุทร ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยกว่าเหนือพื้นดิน โดยปกติจะน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส ส่วนบริเวณชายฝั่งทะเลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับทิศทางลม นั่นคือ บริเวณชายฝั่งจะได้รับลมทะเลในตอนกลางวันอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าลมบกพัดออกสู่ทะเลในตอนกลางคืนอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้น ลมบกและลมทะเลที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืนลงได้

ในท้องฟ้าที่มีเมฆ เมฆจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิประจำวันได้โดยไม่ว่า ณ ตำแหน่งใด ๆ บนพื้นโลก ในช่วงเวลากลางวันท้องฟ้ามีเมฆ เมฆจะดูดหรือส่งผ่านปริมาณของรังสีจากดวงอาทิตย์ได้เพียงเล็กน้อย รังสีส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับขึ้นไปสู่นอกบรรยากาศโดยไม่ลงมาถึงผิวโลกและในช่วงกลางคืนเมฆจะดูดรังสีคลื่นยาวที่แผ่ขึ้นจากผิวโลกแล้วจะสะท้อนพลังงานความร้อนส่วนใหญ่ที่ได้รับกลับมายังผิวโลกอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น อุณหภูมิอากาศผิวพื้นในวันที่สภาพของท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีค่าน้อย อย่างไรก็ตามนอกจากการผันแปรต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วสภาพภูมิประเทศที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกันก็มีผลกระทบต่อถึงกันด้วย เพราะ

อุณหภูมิ ณ ที่แห่งหนึ่ง อาจได้รับอิทธิพลจากการไหลของอากาศเย็น หรืออากาศอุ่นบริเวณใกล้เคียงได้

2.1.1.3 การวัดอุณหภูมิของอากาศ ในทางอุตุนิยมวิทยาจะทำการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ ดังนี้ (ไสว สุวรรณพงศ์.2530)

3.1) อุณหภูมิอากาศผิวพื้น (Surface Temperature) เป็นค่าอุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ภายในตู้สกรีนที่ระดับสูงจากพื้นดิน 1.50 เมตร โดยจะทำการตรวจวัดทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมงคือเวลา 01.00, 04.00, 07.00, 10.00, 13.00, 16.00, 19.00 และ 22.00 น. ทุกวัน

3.2) อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum Temperature) หมายถึงค่าของอุณหภูมิอากาศที่มีค่าต่ำที่สุดในช่วงเวลา 01.00 – 24.00 น.ของแต่ละวัน โดยปกติค่าอุณหภูมิอากาศจะมีค่าต่ำที่สุดในช่วงเวลา 04.00 น. – 07.00 น. และจะทำการวัดค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ต่ำสุด(Minimum Termometer) ในเวลา 07.00 น. ทุกวัน

3.3 อุณหภูมิสูงสุด(Maximum Temperature) หมายถึงค่าของอุณหภูมิอากาศที่มีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 01.00 – 24.00 น.ของแต่ละวัน โดยปกติค่าอุณหภูมิอากาศจะมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 14.00 น. – 16.00 น. และจะทำการวัดค่าจากเทอร์โมมิเตอร์สูงสุด(Maximum Termometer) ในเวลา 19.00 น. ทุกวัน

2.1.2 ความชื้น(Humidity)

จากการทดลองปรากฏว่า ณ อุณหภูมิขีดหนึ่งอากาศสามารถรับไอน้ำไว้ได้จนถึงขีดสูงจำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น ถ้าเกินกว่าขีดสูงจำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น ถ้าเกินกว่าขีดสูงจำกัดค่านี้แล้วอากาศไม่สามารถรับไอน้ำไว้ได้อีกเลย จำนวนไอน้ำนี้จะเพิ่มค่าได้ในเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ณ อุณหภูมิขีดหนึ่งเมื่ออากาศมีจำนวนไอน้ำสูงสุดตามขีดจำกัดนี้แล้ว ไอน้ำนี้จะทำให้ความกดอากาศขยายตัวออก และ ณ จุดนี้จะมีความกดอากาศสูงสุด เมื่อเป็นเช่นนี้เรียกว่า “อากาศนั้นอิ่มตัว” ถ้าอากาศยังไม่อิ่มตัว ไอน้ำจะเป็นเพียงก๊าซอิสระที่ผสมอยู่กับอากาศแห้ง ไอน้ำนี้จะช่วยให้ความกดอากาศขยายตัวออกเช่นกับก๊าซอื่น ๆ ดังนั้นในการสร้างบาโรมิเตอร์ปรอทสำหรับวัดความกดอากาศจะต้องคิดเอาส่วนของความกดของไอน้ำรวมเข้ากับความกดของอากาศแห้งด้วย

การวัดความชื้น ตามปกติจำนวนไอน้ำจริง ๆ ที่มีอยู่ในอากาศนั้นจะน้อยกว่าจำนวนไอน้ำเมื่ออากาศอิ่มตัวเราจะหาค่าของจำนวนของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศได้หลายวิธีด้วยกันดังนี้ คือ ความกดไอน้ำ (Vapor pressure) อุณหภูมิคุ้มเปียก (Wet bulb temperature) ความชื้นแท้ (Absolute humidity) จุดน้ำค้าง (Dew point) ความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) แต่ที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน คือความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

2.1.2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงกับมวลของไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมินั้น ความชื้นสัมพัทธ์สามารถคิดเป็นอัตราส่วนหรือ

ร้อยละ ดังนั้นหน่วยในการวัดความชื้นสัมพัทธ์จึงนิยมใช้หน่วย เปอร์เซ็นต์(%)การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ใช้เครื่องมือ ที่เรียกว่า “ไซโครเมตรดุ่มแห้ง-ดุ่มเปียก” (ไอศว สุวรรณพงศ์.2530)

ซึ่งติดตั้งอยู่ในเรือนเทอร์โมมิเตอร์ หรือ ตู้สกรีน เทอร์โมเมตรดุ่มเปียกใช้เทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา แต่ที่ดุ่มปรอทหุ้มด้วยผ้าฝ้ายลินค้ายดิบซึ่งโตเท่ากำนัไม้ขีดไฟผูกโยงไปยังแก้วน้ำให้หน้าซิมมาตามค้ายดิบจนถึงผ้าฝ้ายลิน คราบไคที่อากาศยังไม่มีการอิมตัว (ความชื้นไม่ถึง 100%) น้ำที่ผ้าฝ้ายลินจะระเหยออก ในการระเหยออกนี้ ต้องการให้ความร้อนจำนวนหนึ่งซึ่งก็ได้มาจากภายในเทอร์โมเมตรนั่นเอง ดังนั้นเทอร์โมเมตรดุ่มเปียกจึงมักอ่านได้ค่าต่ำกว่าดุ่มแห้งอยู่เสมอ ค่าที่เทอร์โมเมตรดุ่มเปียกต่ำกว่าดุ่มแห้งนี้ขึ้นอยู่กับการระเหย ถ้าอัตราการระเหยมีมากก็ต่ำกว่ากันมาก ถ้าน้อยก็ต่ำกว่ากันน้อย เมื่ออากาศอิมตัว (ความชื้น 100%) อากาศโดยรอบจะไม่สามารถรับเอาไอน้ำไว้ได้อีกเลย ดังนั้นถ้าผ้าฝ้ายลินจึงไม่มีการระเหยออก ค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมเมตรทั้งสองจึงชี้เท่ากัน ผลต่างของเทอร์โมเมตรดุ่มแห้งกับดุ่มเปียกนำไปเปิดหาค่าของความชื้นสัมพัทธ์ได้จากตารางสำเร็จ ซึ่งมีใช้ประจำสถานีตรวจ

2.1.2.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint Temperature) ถ้าอากาศเย็นลงโดยความกดคงที่ เพื่ออากาศนั้นจะได้มี ความอิมตัวกันอย่างสมบูรณ์แล้ว ณ ชีตอุณหภูมิจึงอากาศได้มีความอิมตัวอย่างสมบูรณ์นั้น เราเรียกว่า “จุดน้ำค้าง” หรืออาจกล่าวได้ว่าจุดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิ ณ ชีตที่อากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นน้ำค้าง ในเมื่ออากาศนั้นเย็นตัวลง ค่าของจุดน้ำค้างก็จะเปลี่ยนไปตามความชื้นจำเพาะ ถ้าเอาภาชนะใส่น้ำแข็งตั้งทิ้งไว้ จำนวนความชื้นก็จะรวมกันเกาะอยู่บริเวณรอบนอกภาชนะนั้นอุณหภูมิจึงของภาชนะใส่น้ำแข็งนั้นจะต่ำกว่าอุณหภูมิจึงของจุดน้ำค้างของอากาศที่อยู่โดยรอบ ถ้าจะหาค่าจุดน้ำค้างก็ได้โดยลากเส้นโค้งของความชื้นแห้งลงมาหาเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% จุดที่ตัดกันนั้นเป็นของค่าน้ำค้าง ถ้าไม่มีความชื้นเพิ่มเข้าหรือออกไปจากอากาศ จะไม่มีการขยายตัว หรือหดตัวของจุดน้ำค้างจะยังคงที่อยู่ในขณะที่มันเย็นลง ณ ผิวพื้นของโลกในลักษณะนี้หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงจุดน้ำค้างแล้วอากาศก็จะอิมตัว ต่อจากนี้ถ้ามีการเย็นตัวลงอีกความชื้นในอากาศก็จะกลั่นตัวเป็นหมอก หรือน้ำค้าง การวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะหาได้จากเครื่องมือที่ใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ คือ ไซโครเมตร แล้วหาค่าโดยเปิดตารางอุณหภูมิจุดน้ำค้าง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส($^{\circ}C$)

2.1.3 ความกดอากาศ (Pressure)

บรรยากาศที่หุ้มห่อโลกนี้เป็นของไหล ซึ่งประกอบด้วยก๊าซชนิดต่าง ๆ การไหลนั้นก็อยู่ในอำนาจของความโน้มถ่วง (Gravity) มีน้ำหนักกดลงสู่เบื้องล่าง โดยที่บรรยากาศจะมีน้ำหนักกดลงบนผิวโลกเป็นเนื้อที่ ที่ซ้อนกันจากเบื้องล่างเป็นลำดับสูงขึ้น ไปจนสุดเขตของบรรยากาศ เหตุนี้ตามผิวโลกจึงมีความกดอากาศมากที่สุดและน้อยลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น บนยอดเขาสูง ๆ จะมีความกดอากาศต่ำกว่าที่ระดับน้ำทะเล ความกดอากาศ ณ ตำบลหนึ่ง ๆ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้

เสมอ ทั้งนี้เนื่องจากผลของลมและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งทำให้ค่าความกดอากาศไม่คงที่ ถ้าจะกล่าวได้อีกอย่างว่า “ความกดอากาศคือแรงที่กระทำบนหนึ่งหน่วยพื้นที่”

2.1.3.1 การวัดความกดอากาศ เครื่องมือที่ใช้วัดความกดอากาศเรียกว่า บาโรมิเตอร์ (Barometer) แปลว่า เครื่องวัดน้ำหนัก มี 2 แบบคือ บาโรมิเตอร์ปรอท และบาโรมิเตอร์แอนเนอโรอิด มีหน่วยเป็น มิลลิบาร์ (mb) หรือ เฮกโตปาสคาล (hPa)

2.1.3.2 การเปลี่ยนแปลงประจำของความกดอากาศ

1) การเปลี่ยนแปลงความกดอากาศประจำวัน จากการผลตรวจอากาศพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศ 2 ครั้ง ในชั่วโมงเวลา 24 ชั่วโมง คือ ครั้งที่ 1 ค่าความกดอากาศมีค่าสูงสุดประมาณ 09.30 น. และต่ำสุด 16.30 น. และครั้งที่ 2 ค่าความกดอากาศมีค่าสูงสุดประมาณ 22.00 น. และต่ำสุด 04.00 น. และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความกดอากาศสูงสุด ถึงต่ำสุด สำหรับประเทศไทยมีค่าเปลี่ยนแปลง Amplitude ตามปกติไม่เกิน 4 มิลลิบาร์

2) การเปลี่ยนแปลงความกดอากาศประจำปี เมื่อเอาค่าปกติของความกดอากาศประจำเดือนที่ได้โดยเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยประจำเดือนมาเขียนลงบนกราฟ เราจะได้เส้นโค้งของการเปลี่ยนแปลงประจำปี จากเส้นโค้งจะเห็นว่า สถานีที่อยู่ในแผ่นดินไกลจากฝั่งทะเลจะมีค่าความกดสูงกว่าค่าปกติในฤดูหนาวและต่ำกว่าค่าปกติในฤดูร้อน ส่วนสถานีที่อยู่บนเกาะ หรือกลางมหาสมุทรกลับตรงกันข้าม ในฤดูหนาวความกดอากาศต่ำกว่าค่าปกติ และในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าปกติ ลักษณะเช่นนี้อธิบายได้ว่า “ในฤดูร้อนแผ่นดินในทวีปร้อนกว่าในมหาสมุทรอากาศเหนือทวีปจึงขยายตัวออก และมีความกดเบากว่าอากาศเหนือมหาสมุทร และปรากฏการณ์จะตรงข้ามในฤดูหนาว”

2.1.3.3 ระบบความกดอากาศแบบต่าง ๆ จะทำการเขียนค่าความกดอากาศ ณ ระดับน้ำ ทะเลปานกลางของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ทำการตรวจวัดความกดอากาศในแผนที่อากาศผิวพื้นแล้วเขียนเส้นความกดเท่า (Isobars) แต่ละเส้นมีค่าต่างกัน 2 มิลลิบาร์ (บางแห่งใช้ 4 มิลลิบาร์) จะมีรูปร่างของเส้นความกดเท่าต่างกันแสดงถึงรูปร่างของความกดอากาศ (Pressure system) มีพอสังเขป 5 แบบ

1) บริเวณความกดอากาศสูง (High Pressure area) หมายถึง บริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่าบริเวณข้างเคียง เมื่อลากเส้นไอโซบาร์(เส้นความกดอากาศเท่า) เป็นวงปิดแล้วเส้นไอโซบาร์จะมีค่าความกดอากาศสูงที่สุดอยู่ตรงกลาง เขียนด้วยตัวว่า “H” ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะตัวคือเป็นบริเวณที่อากาศจะมีน้ำหนักมากและจมลงสู่เบื้องล่าง อากาศจะหนาวเย็น มีความชื้นในอากาศน้อยท้องฟ้าแจ่มใส บริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือจะมีลมพัดออกจากศูนย์กลางในทิศตามเข็มนาฬิกา ส่วนในซีกโลกใต้ลมจะพัดออกจากศูนย์กลางในทิศทวนเข็มนาฬิกา

2) บริเวณความกดอากาศต่ำ (Low Pressure area) หมายถึง บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง เมื่อลากเส้นไอโซบาร์(เส้นความกดอากาศเท่า) เป็นวงปิด แล้วเส้น

ไอโซบาร์จะมีค่าความกดอากาศต่ำที่สุดอยู่ตรงกลาง เขียนตัวย่อว่า “L” ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะตัว คือ เป็นบริเวณที่อากาศจะเบาและลอยตัวสูงเบื้องบน อากาศร้อนอบอ้าว มีความชื้นในอากาศสูง ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก และมักจะมีฝนหรือฝนฟ้าคะนองเกิดขึ้น บริเวณความกดอากาศต่ำในซีกโลกเหนือจะมีลมพัดเข้าหาศูนย์กลางในทิศทวนเข็มนาฬิกา ส่วนในซีกโลกใต้ลมจะพัดเข้าหาศูนย์กลางในทิศตามเข็มนาฬิกา

3) Col คือบริเวณที่อยู่ระหว่าง High 2 จุด และ Low 2 จุด

4) Trough (ร่องความกดอากาศต่ำ) คือบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำเป็นแนวหรือร่องเดียวกันซึ่งเรียกว่า Trough line ในแนวนี้เส้นความกดอากาศต่ำจะมีลักษณะทวนเข็มนาฬิกา (ในซีกโลกเหนือ) หรือเรียกว่า Cyclonic curvature

5) Ridge หรือลิ้มความกดอากาศสูง คือบริเวณแนวความกดอากาศสูงเรียกว่า Ridge line แนวนี้จะมีลักษณะเส้นความกดอากาศต่ำเบี่ยงเบนเป็นรูปตามเข็มนาฬิกา (ในซีกโลกเหนือ) หรือเรียกว่า Anticyclonic curvature (ไอส์ สุวรรณพงศ์.2529)

2.1.4 เมฆ (Cloud)

เมฆ คือปรากฏการณ์ที่สำคัญของลมฟ้าอากาศอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในบรรยากาศโลกที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพทางฟิสิกส์ของบรรยากาศอย่างชัดเจน เมฆเกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของไอน้ำในขณะที่ยอดตัวขึ้นและเย็นลงสิ่งที่จะช่วยให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นก้อนเมฆ คือ ฝุ่นผงเล็ก ๆ หรือเกลือในอากาศที่มีคุณสมบัติดูดน้ำในบรรยากาศได้ดี เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่าอนุภาคกลั่นตัว (Condensation nuclei) ซึ่งการกลั่นตัวของไอน้ำในบรรยากาศจะไม่เกิดขึ้นหากบรรยากาศปราศจากฝุ่นผงแม้ว่าไอน้ำอิ่มตัวแล้วก็ตาม

ผลทางการวิเคราะห์สภาพลมฟ้าอากาศสำหรับการพยากรณ์ โดยใช้ความสูงของมาตรฐานเป็นหลักในการแบ่งชนิดแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้ เมฆชั้นสูง (High Cloud) เมฆชั้นกลาง (Medium Cloud) เมฆชั้นต่ำ (Low Cloud) และเมฆก่อตัวในทางตั้ง (Vertical development cloud) ซึ่งลักษณะของเมฆแต่ละชนิดนั้นสามารถที่จะบอกให้ทราบถึงแนวโน้มของลักษณะของสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นล่วงหน้าได้ เช่น ถ้าในท้องฟ้ามีเมฆก่อตัวทางแนวตั้งแสดงว่าอากาศกำลังลอยตัวขึ้น หมายถึง สภาวะของอากาศก่อนที่จะเกิดลมพายุ หรือถ้าเมฆในท้องฟ้าก่อตัวทางแนวตั้งสูงใหญ่ มียอดเป็นรูปทั่ง จะหมายถึงลักษณะของเมฆพายุ ฟ้าคะนอง ที่เรียกว่า เมฆคิวมูโลนิมบัส ฝนจะตกหนักและมีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง บางครั้งอาจมีฟ้าผ่าลงมายังพื้นดินด้วย ซึ่งเมฆพายุฟ้าคะนองนี้เป็นอันตรายต่อเครื่องบินขนาดเล็กเป็นอันมาก

การตรวจวัดชนิดและจำนวนเมฆในทางอุตุนิยมวิทยาจะทำการตรวจวัดชนิดและจำนวนเมฆด้วยสายตา โดยจะระบุชนิดของเมฆเป็นรหัสที่กำหนดโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก เช่น Cb คือเมฆคิวมูโลนิมบัส เป็นต้น ส่วนจำนวนเมฆ จะแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วน (Octa) ในการตรวจวัดจะประมาณว่าขณะที่ทำการตรวจนั้นมีเมฆในท้องฟ้าเป็นกี่ส่วน ใน 10 ส่วน

2.1.5 ลม(Wind)

ลมคือ อากาศที่เคลื่อนที่ตามแนวราบ(Horizontal motion) ส่วนอากาศที่เคลื่อนที่แนวในดิ่งเรียกว่า กระแสอากาศ(Current) การเกิดลมนั้นเกิดจากการที่อุณหภูมิของอากาศบริเวณหนึ่งเพิ่มขึ้น ความกดอากาศข่อมลดลง และสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมีย่อมจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและเป็นผลให้ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงด้วย ความหนาแน่นอากาศจะลดลงหรืออากาศเบาและลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน ซึ่งเป็นผลทำให้อากาศจากบริเวณอื่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่า ซึ่งเป็นอากาศที่หนักกว่าและจมตัวลงสู่เบื้องล่างไหลเข้ามาแทนที่จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศที่เรียกว่า ลม การตรวจวัดทิศทางและความเร็วลม(Wind Direction and Wind Speed Measurement) การตรวจวัดทิศทางและความเร็วลม มีหน่วยในการวัดทิศทางลม คือ องศา(degree) ส่วนการวัดความเร็วลมในทางอุตุนิยมวิทยา มีหน่วยเป็น น็อต(knot) ซึ่งทำการตรวจวัด 2 ลักษณะ คือ

- 1) การตรวจวัดทิศทางและความเร็วลมผิวพื้นจะทำการตรวจวัดในระดับความสูง 12 เมตร จากพื้นดิน โดยเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจวัดทิศทางและความเร็วลมผิวพื้น คือ แอนนีโมมิเตอร์(Anemometer)ซึ่งมีหลายแบบ
- 2) การตรวจวัดทิศทางและความเร็วลมชั้นบนจะทำการตรวจวัดในระดับสูงกว่า 12 เมตร ขึ้นไปซึ่งมีหลายระดับ โดยใช้เครื่องมือในการตรวจอากาศชั้นบน คือ ไพลอบอลลูน และ เรวินซอนที่ผูกติดไปกับบอลลูน

2.1.6 รังสีดวงอาทิตย์(Solar Radiation)

ดวงอาทิตย์แผ่รังสีมายังโลกของเราทุก ๆ วันในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันไป ดวงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นในช่วงเวลากลางวัน ดวงอาทิตย์ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ทางอากาศ หรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติขึ้นในทุก ๆ วันด้วย ดังนั้นการตรวจวัดรังสีของดวงอาทิตย์เพื่อการศึกษาถึงต้นเหตุของการผันแปรของสภาวะอากาศ จึงได้มีการตรวจวัดแถบรังสีที่ผ่านเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศของโลก

2.1.6.1 ประเภทของรังสีจากดวงอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

- 1) รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์(Direction radiation) คือรังสีที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง โดยไม่สะท้อนวัตถุใด ๆ
- 2) รังสีแห่งโลก (Global radiation) คือรังสีที่สะสมในพื้นที่ดินและสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ
- 3) รังสีท้องฟ้า(Sky radiation) เป็นรังสีที่ตกกระทบอนุภาคต่าง ๆ ในอากาศแล้วสะท้อนมายังพื้นโลก
- 4) รังสีของดวงอาทิตย์ที่สะท้อน(Reflected solar radiation) คือรังสีดวงอาทิตย์

ที่สะท้อนโดยพื้นดิน ซึ่งเป็นรังสีที่ไม่ได้สะสมไว้ที่พื้นดิน

2.1.6.2 การตรวจวัดรังสีจากดวงอาทิตย์ การตรวจวัดรังสีจากดวงอาทิตย์ในทางอุตุนิยมวิทยา จะทำการตรวจวัด 2 ลักษณะ คือ

- 1) วัดความยาวนานของแสงแดดที่ส่องลงมายังพื้นโลก ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดคือ Campbell Stokes Recorder มีหน่วยเป็น ชั่วโมง ทำการตรวจวัดตลอดทั้งวันตั้งแต่เวลา 06.00 น. และทำการอ่านค่าในเวลา 19.00 น. ทุกวัน
- 2) วัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดคือ Pyranometer มีหน่วยเป็น จูล (Joule)

2.1.7 ททัศนวิสัย (Visibility)

ทัศนวิสัย เป็นการวัดระยะทางที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนในแนวราบ จากการมองด้วยตาเปล่า มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ในช่วงฤดูหนาวการเกิดหมอกในตอนเช้าทำให้ทัศนวิสัยลดลง การเกิดหมอกนั้นมีผลจากการที่บริเวณความกดอากาศสูงแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทย ช่วงที่ความกดอากาศสูงอ่อนกำลังระยะแรก ๆ จะทำให้เกิดหมอกหนาได้

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดกับสารประกอบอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ

2.2.1 ความกดอากาศกับอุณหภูมิต่ำสุด

ความกดอากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้อุณหภูมิกอากาศในแต่ละวันมีค่าสูงหรือต่ำ เนื่องจากความกดอากาศเป็นคุณสมบัติหนึ่งของมวลอากาศที่ห่อหุ้มโลก กล่าวคือมวลอากาศร้อน (Warm airmass) เป็นมวลอากาศที่มีค่าความกดอากาศต่ำหรือเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำ อากาศในบริเวณนั้นจะร้อนอบอ้าวและมีความชื้นในอากาศสูง อากาศลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อีกมวลอากาศหนึ่งคือมวลอากาศเย็น (Cold airmass) เป็นมวลอากาศที่มีค่าความกดอากาศสูง หรือเป็นบริเวณความกดอากาศสูง อากาศในบริเวณนั้นจะหนาวเย็น ความชื้นในอากาศต่ำ ท้องฟ้าแจ่มใส ดังนั้นค่าของอุณหภูมิต่ำสุด ณ ที่แห่งหนึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับ ค่าความกดอากาศ ณ ที่แห่งนั้น กล่าวคือ ถ้าความกดอากาศมีค่าสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิกอากาศจะลดลงทำให้ค่าอุณหภูมิต่ำสุดลดลงด้วย ตรงกันข้ามถ้าความกดอากาศมีค่าต่ำลง ค่าอุณหภูมิกอากาศจะสูงขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิต่ำสุดสูงขึ้นด้วย สำหรับฤดูหนาวในประเทศไทยอุณหภูมิต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันผันแปรไปตามจังหวัดที่บริเวณความกดอากาศสูง (High Pressure) จากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทย เมื่อบริเวณความกดอากาศสูงมีกำลังแรงและปกคลุมลงมาทางใต้ยิ่งเต็มที่อุณหภูมิกบริเวณประเทศไทยจะลดต่ำลงมาก

2.2.2 อุณหภูมิต่ำสุดกับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

อุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็นตัวบ่งชี้ว่าขณะนั้นอากาศมีความชื้นมากน้อยเท่าไรซึ่งจะมีผลต่อการอึมตัวของอากาศและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่เรียกว่า หยดน้ำค้าง กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิจุดน้ำค้างน้อยแสดงว่าอากาศในขณะนั้นมีความชื้นน้อย การที่อากาศจะอึมตัวและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ อุณหภูมิของอากาศจะต้องมีค่าน้อยด้วยซึ่งอุณหภูมิอากาศต่ำสุดก็จะน้อยด้วย ในทางตรงข้ามถ้าอุณหภูมิจุดน้ำค้างมีค่ามากแสดงว่าอากาศในขณะนั้นมีความชื้นมาก การที่อากาศจะอึมตัวและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำก็จะเป็นไปได้ง่ายกว่าในระดับอุณหภูมิของอากาศที่สูงขึ้น อุณหภูมิอากาศต่ำสุดก็จะสูงด้วย โดยจะสังเกตเห็นว่าการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของไอน้ำในอากาศมักจะเกิดขึ้นตอนเช้าตรู่ของแต่ละวันซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำสุดด้วย

2.2.3 อุณหภูมิต่ำสุดกับจำนวนเมฆในท้องฟ้า

ณ สถานที่ใดสถานที่หนึ่ง ณ เวลาใดเวลาหนึ่งบนพื้นโลก ถ้าท้องฟ้ามีเมฆมากก็จะส่งผลให้การถ่ายเทรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์สู่พื้นโลกด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นไปได้ยาก ทำให้พื้นโลกได้รับรังสีความร้อนน้อยลง จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศจะต่ำลง และอุณหภูมิต่ำสุดก็จะต่ำลงด้วย ในทางตรงข้ามถ้าท้องฟ้ามีเมฆน้อยก็จะส่งผลให้การถ่ายเทรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์สู่พื้นโลกได้มากขึ้น จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าสูงขึ้นด้วย

2.2.4 อุณหภูมิต่ำสุดกับความเร็วลม

ถ้าลมผิวพื้นมีความเร็วมากก็จะทำการถ่ายเทความร้อนจากที่แห่งหนึ่งไปยังอีกที่แห่งหนึ่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้อุณหภูมิของอากาศลดต่ำลงได้ อีกทั้งในช่วงฤดูหนาวลมที่พัดผ่านบริเวณประเทศไทยจะเป็นลมที่พัดพาเอาความหนาวเย็นมาด้วยจึงทำให้อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าลดลงไปด้วย

2.2.5 อุณหภูมิต่ำสุดกับความยาวนานของแสงแดด

ถ้าพื้นโลกได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีเป็นเวลานานย่อมทำให้พื้นดินบริเวณนั้นสะสมพลังงานไว้ในรูปของพลังงานความร้อนได้มากและจะสะท้อนกลับสู่บรรยากาศในรูปของการแผ่รังสีแห่งโลกจะทำให้อุณหภูมิอากาศได้รับผลกระทบจากความร้อนที่แผ่ออกมาซึ่งถ้าพลังงานมีมากการแผ่รังสีก็จะต่อเนื่องและมีผลต่ออุณหภูมิอากาศจนถึงช่วงเช้าของวันต่อไปทำให้อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงและอุณหภูมิต่ำสุดก็จะมีค่าสูงกว่าวันที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นเวลาน้อย

2.3 การพยากรณ์อากาศ

2.3.1 ความหมายของการพยากรณ์อากาศ

การพยากรณ์อากาศ (Forecasting) หมายถึง การคาดหมายสภาวะของลมฟ้าอากาศ รวมทั้งปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาข้างหน้า (รุจิราพรธ รุ่งรอด. 2543 : 80)

เช่น การคาดหมายว่าวันพรุ่งนี้หรืออีกสามวันข้างหน้าลมฟ้าอากาศจะมีลักษณะอย่างไร อาทิเช่น ท้องฟ้าจะมีลักษณะอย่างไร จะมีฝนหรือฝนฟ้าคะนองได้หรือไม่ ลมจะพัดมาจากทิศไหน ด้วยความเร็วเท่าไร อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดประจำวันจะเป็นเท่าใด เมื่อต้องการพยากรณ์อากาศบริเวณใดจำเป็น ต้องทราบสถานะของบรรยากาศที่ครอบคลุมบริเวณนั้นว่าประกอบด้วยระบบของลมฟ้าอากาศเช่นไร และระบบลมฟ้าอากาศเหล่านั้นจะมีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงรุนแรงไปอย่างไร ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจะก่อให้เกิดลักษณะอากาศประเภทใด

2.3.2 การพยากรณ์อากาศในประเทศไทย

หน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบในการพยากรณ์อากาศ คือ กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีและสารสนเทศ การพยากรณ์อากาศแบ่งได้เป็น 2 วิธี

2.3.2.1 การพยากรณ์เชิงจิตพิสัย (Subjective Forecast) เป็นการคาดหมายลักษณะลมฟ้าอากาศโดยอาศัยวิธีการใช้การตัดสินใจและทักษะ ประสบการณ์ของผู้พยากรณ์เป็นสำคัญ เป็นการพยากรณ์อากาศด้วยวิธีคาดหมายอย่างมีประสบการณ์ (Subjective Experience) หลักของการพยากรณ์อากาศแบบนี้ คือ การวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนตัวของมวลอากาศต่าง ๆ เช่น บริเวณความกดอากาศสูง (High) บริเวณความกดอากาศต่ำ (Low) และตัวการสำคัญอื่น ๆ โดยใช้แผนที่อากาศที่แล้วมาประกอบกับแผนที่อากาศปัจจุบัน (ในวันหนึ่ง ๆ จะมีการเขียนแผนที่อากาศ หลาย ๆ เวลา) โดยจะพิจารณาทิศทางและความเร็วของการเคลื่อนตัวของมวลอากาศเหล่านั้นในเวลาที่แล้วมา และมวลอากาศที่จะเคลื่อนที่ไปนั้นจะมีผลกระทบต่อลมฟ้าอากาศที่มีอยู่เดิมโดยจะทำให้เกิดลักษณะอากาศชนิดใด วิธีนี้ผู้พยากรณ์จะต้องมีความชำนาญและคุ้นเคยกับลมฟ้าอากาศในบริเวณที่พยากรณ์อากาศมานานพอสมควร

2.3.2.2 การพยากรณ์เชิงวัตถุวิสัย (Objective Forecast) คือการคาดหมายลักษณะลมฟ้าอากาศ โดยอาศัยการประยุกต์กฎทางพลศาสตร์ (Dynamics) และ/หรือ อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และ/หรือ ทางสถิติศาสตร์ เป็นหลักสำคัญ ทั้งนี้เพื่อกำจัดส่วนที่ต้องใช้การตัดสินใจของผู้พยากรณ์ออกไป

2.3.3 ระยะเวลาของการพยากรณ์อากาศ

การพยากรณ์อากาศในปัจจุบัน แบ่งเป็น 3 ระยะ โดยถือช่วงเวลาพยากรณ์เป็นหลัก ดังนี้

2.3.3.1 การพยากรณ์อากาศระยะสั้น (Short-Range-Forecast) จะเป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลาไม่เกิน 72 ชั่วโมง โดยแบ่งช่วงเวลาเป็น 3 ระยะ

1) พยากรณ์อากาศปัจจุบัน (Now -Forecast) เป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลาดังแต่ 0-2 ชั่วโมง และลักษณะอากาศในปัจจุบัน

2) พยากรณ์อากาศระยะสั้น (Very Short-Range-Forecast) เป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลาดังแต่ 0 - 12 ชั่วโมง

3) พยากรณ์อากาศระยะสั้น (Short-Range-Forecast) เป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลาดังแต่ 12 - 72 ชั่วโมง

2.3.3.2 การพยากรณ์อากาศระยะปานกลาง (Medium-Range-Forecast) เป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลาที่มากกว่า 72 ชั่วโมงขึ้นไป จนถึง 10 วัน

2.3.3.3 การพยากรณ์อากาศระยะยาว หรือระยะนาน (Long-Range -Forecast) เป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลาที่มากกว่า 10 วันขึ้นไป

2.3.4 ขั้นตอนในการพยากรณ์อากาศ

กระบวนการพยากรณ์อากาศของประเทศไทย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.4.1 การตรวจอากาศ การตรวจอากาศทางอุตุนิยมวิทยา คือ การตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยาและสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ทิศทางลม ความเร็วลม จำนวน และชนิดความสูงของเมฆ ทิศนวิสัย ความกดอากาศ ปริมาณน้ำฝน และสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ในทางอุตุนิยมวิทยามีการตรวจอากาศหลายประเภท ได้แก่ การตรวจอากาศผิวพื้น การตรวจอากาศชั้นบน การตรวจอากาศด้วยเรดาร์ การตรวจอากาศด้วยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา การตรวจด้านอุตุนิยมวิทยาอุทก การตรวจอากาศเกษตร การตรวจอากาศการบินและการตรวจอากาศชนิดพิเศษ (การตรวจบรรยากาศ เรดาร์ โอโซน ฯลฯ) เป็นต้น หน่วยงานอุตุนิยมวิทยาของทุกประเทศ จะต้องจัดตั้งสถานีตรวจอากาศเพื่อทำการตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยาของทุกประเทศ และสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization) ได้กำหนดให้สถานีตรวจอากาศผิวพื้นมีระยะห่างกันไม่เกิน 150 กิโลเมตรสำหรับสถานีบนบก สถานีตรวจอากาศชั้นบนระยะห่างประมาณ 300 กิโลเมตร (สุวพันธ์ นิลายน.2514) เมื่อรวมสถานีตรวจอากาศของทุก ๆ ประเทศเข้าด้วยกันก็จะได้สถานีตรวจอากาศเป็นตาข่ายครอบคลุมส่วนของโลกที่เป็นพื้นดิน สำหรับลมฟ้าอากาศในบริเวณทะเลและมหาสมุทรนั้น ได้อาศัยเรือพาณิชย์ขนาดใหญ่ที่สัญจรไปมาในทะเลทำหน้าที่ตรวจอากาศในมหาสมุทร นอกจากนั้นเครื่องบินพาณิชย์ระหว่างประเทศยังทำหน้าที่ตรวจอากาศชั้นบนให้อีกด้วย

การตรวจอากาศผิวพื้น เป็นการตรวจสภาวะอากาศที่ระดับสูงไม่เกิน 12 เมตรจากพื้นโลก ซึ่งสถานีอุตุนิยมวิทยาทุกแห่งจะทำการตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยาพร้อมกันตามเวลาที่องค์การอุตุนิยมวิทยาโลกกำหนด ทุก ๆ 3 ชั่วโมงตามเวลาสากล คือ 0000, 0300, 0600, 0900, 1200, 1500, 1800 และ 2100 GMT. ตามลำดับ ซึ่งตรงกับเวลาในประเทศไทย คือ 01.00, 04.00, 07.00, 10.00, 13.00, 16.00, 19.00 และ 22.00 น. ตามลำดับ โดยจะทำการตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดและจำนวนเมฆในท้องฟ้า สถานะลมฟ้าอากาศ ทิศนวิสัย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความกดอากาศ ทิศทางลมและความเร็วลม ปริมาณน้ำฝนและความยาวนานของแสงแดด

2.3.4.2 การรับส่งข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เป็นการสื่อสารข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยา และข่าวอากาศทุกประเภทที่ตรวจวัดได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาประจำจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ ซึ่งจะถูกส่งถึงส่วนกลางคือกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร โดยผ่านทางระบบสื่อสารโทรคมนาคมอุตุนิยมวิทยา เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์สภาพอากาศและการพยากรณ์ลักษณะลมฟ้าอากาศบริเวณประเทศไทยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตระยะต่าง ๆ อีกทั้งมีการสื่อสารข้อมูลระหว่างประเทศทั่วโลกเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน ที่จะเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์อากาศและการเตือนภัยต่าง ๆ ที่จะเกิดสภาพอากาศเลวร้าย

การรับส่งข้อมูลข่าวสารอุตุนิยมวิทยากับหน่วยอุตุนิยมวิทยาทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ นับว่ามีความสำคัญยิ่งต่อการวิเคราะห์เพื่อการพยากรณ์อากาศที่ถูกต้อง สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นศูนย์กลางการสื่อสารของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้ได้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารกับประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก (Global Telecommunication System - GTS.) โดยผ่านทางระบบโทรคมนาคมเชื่อมกับเครือข่ายรอบโลก ชนิดจุดต่อจุด (Point - to Point Link) อย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข่าวภายในประเทศ ระหว่างกรมอุตุนิยมวิทยาส่วนกลางกับสถานีอุตุนิยมวิทยาในส่วนภูมิภาคทั่วประเทศ ทั่วโลกจะถูกส่งผ่านดาวเทียม "ไทยคม" เข้าประมวลผลในคอมพิวเตอร์ให้ทันเหตุการณ์ปัจจุบันและถูกต้องต่อไป ด้วยระบบ VSAT โดยใช้คอมพิวเตอร์ Computer เครือข่ายอุตุนิยมวิทยาผ่านดาวเทียมเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลข่าวสารภายในประเทศและต่างประเทศให้มาปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยความรวดเร็วทันเหตุการณ์อยู่เสมอเป็นไปด้วยความถูกต้องทันสมัย

2.3.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการพยากรณ์อากาศ ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

- 1) การเขียนแผนที่อากาศ นำข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยาที่ได้รับทั้งหมดทั้งจากภายในประเทศและจากต่างประเทศ มาเขียนลงบนแผนที่ทางอุตุนิยมวิทยาชนิดต่าง ๆ เช่น แผนที่อากาศผิวพื้น แผนที่อากาศชั้นบน เป็นต้น ด้วยสัญลักษณ์มาตรฐานทางอุตุนิยมวิทยา
- 2) การวิเคราะห์สภาพอากาศ วิเคราะห์สภาวะของอากาศในแผนที่อากาศที่ได้จากหัวข้อ 3.1) เพื่อศึกษามวลอากาศที่ปกคลุมบริเวณประเทศไทย และมวลอากาศของโลก โดยการลาก เส้นค่าองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา เช่น เส้นความกดอากาศเท่า(Isobar) ที่ระดับผิวพื้น และที่ระดับความสูงต่าง ๆ เพื่อแสดงลักษณะอากาศในระดับบน และเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามความสูงเพื่อแสดงเสถียรภาพของบรรยากาศซึ่งเป็นปัจจัยของการเกิดเมฆและฝน
- 3) ขั้นตอนการคาดหมายการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนตัวของระบบลมฟ้าอากาศ จากวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.2) ทำให้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ

4) ขั้นตอนการออกคำพยากรณ์ ณ บริเวณพื้นที่ที่ต้องการพยากรณ์ เช่น บริเวณ กรุงเทพมหานคร และโดยออกคำพยากรณ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ของการพยากรณ์ ดังนี้

- 4.1) การพยากรณ์อากาศเป็นรายวันทุก ๆ วัน ละ 4 ครั้ง คือ 07.00 น., 12.00 น., 17.00 น. และ 22.00 น.
- 4.2) การพยากรณ์อากาศช่วง 7 วัน สัปดาห์ละ 2 ครั้ง
- 4.3) การพยากรณ์อากาศประจำเดือน เดือนละ 1 ครั้ง
- 4.4) การพยากรณ์อากาศประจำฤดู ฤดูละ 1 ครั้ง
- 4.5) การพยากรณ์อากาศเฉพาะด้าน ประกอบด้วย การพยากรณ์อากาศเพื่อการบิน และการพยากรณ์อากาศเพื่อการเกษตรและอุตุนิยมวิทยาอุทก

2.3.5 ประโยชน์ของการพยากรณ์อากาศ

ประโยชน์ของการพยากรณ์อากาศมีด้วยกันหลายด้าน ได้แก่ ด้านเกษตรกรรม ด้านการประมง ด้านการเดินเรือ ด้านการท่องเที่ยวด้าน ด้านการบิน ด้านการทหาร (สงคราม) ด้านการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย และการประกอบอาชีพต่าง ๆ เช่น การก่อสร้าง การถ่ายทำภาพยนตร์ วิดีโอ ถ่ายแบบ ฯลฯ นอกจากนี้แล้วข้อมูลการพยากรณ์อากาศ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประกอบการวางแผนการปฏิบัติงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศด้วย (ณรงค์ ปิยะพันธ์. 2536)

2.4 การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดโดยอาศัยหลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์

เป็นการพยากรณ์เชิงวัดอุณหภูมิต่ำสุดโดยอาศัยหลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ระยะสั้น(short range) เป็นการพยากรณ์ล่วงหน้าในระยะ 24 ชั่วโมง โดยจะออกประกาศคำพยากรณ์โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ในเวลา 12.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนการพยากรณ์ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเขียนแผนที่อากาศ การเขียนแผนที่อากาศเป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่อุตุนิยมวิทยา โดยการนำข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยาที่ทำการตรวจวัด ณ เวลา 07.00 น. ของสถานีอุตุนิยมวิทยา ทุกสถานีทั่วโลก ซึ่งรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา มาพล็อตลงในแผนที่อากาศ เพื่อให้ทราบถึงสภาวะของมวลอากาศที่ปกคลุมโลก ซึ่งแผนที่อากาศมีหลายประเภท แต่ที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด ได้แก่ แผนที่อากาศผิวพื้น(Synoptic Chart) แผนที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างเปลี่ยน(Dewpoint Change Chart) แผนที่ความกดอากาศเปลี่ยน(Pressure Change Chart) และแผนที่ลมชั้นบน(Upper Wind Chart) ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องใช้เวลาพล็อต ประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์แผนที่อากาศ การวิเคราะห์แผนที่อากาศเป็นหน้าที่ของนักอุตุนิยมวิทยา ซึ่งทำหน้าที่พยากรณ์อากาศในวันนั้น โดยจะทำการวิเคราะห์ตามวิธีของแผนที่แต่ละชนิด เช่น แผนที่อากาศผิวพื้น จะทำการลากเส้นความกดอากาศเท่า (isobar) เพื่อให้ทราบสภาวะของมวลอากาศ ถ้าเป็นช่วงฤดูหนาวมวลอากาศที่ปกคลุมประเทศไทยจะเป็นมวลอากาศเย็น หรือบริเวณความกดอากาศสูง จากนั้นจะวิเคราะห์ถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่มีกำลังแรงขึ้นหรือลดลง จะทำการวิเคราะห์แผนที่เช่นนี้จนครบทั้ง 4 ชนิด ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องใช้เวลา ประมาณ 2-3 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชำนาญของนักอุตุนิยมวิทยาที่ทำหน้าที่ในวันนั้น

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด เป็นหน้าที่ของนักอุตุนิยมวิทยาที่ทำหน้าที่ในขั้นตอนที่ 2) การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดจะทำได้โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดของวันที่ทำการพยากรณ์ คือ วันที่ i ; $i=1,2,\dots,30$ ของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ต้องการพยากรณ์ เป็นหลัก แล้วใช้วิจารณ์ญาณของนักอุตุนิยมวิทยาในการใช้แผนที่อากาศทั้ง 4 ชนิดมาประกอบ เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันถัดไป คือวันที่ $i+1$ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าแนวโน้มความแรงของบริเวณความกดอากาศสูงที่ปกคลุมประเทศไทยมีแนวโน้มแรงขึ้น อุณหภูมิต่ำสุดจะมีแนวโน้มลดลง จะลดลงมากน้อยเพียงใดต้องใช้แผนที่ความกดอากาศเปลี่ยนแปลงประกอบในการพิจารณา คือถ้าค่าความกดอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นมากอุณหภูมิต่ำสุดจะลดลงมาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าความกดอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยอุณหภูมิต่ำสุดจะลดลงน้อยด้วย ขณะเดียวกันก็ต้องพิจารณาแผนที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างเปลี่ยน ถ้าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดที่ต้องการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด มีค่าลดลงมากค่าอุณหภูมิต่ำสุดในวันต่อไปก็จะมีโอกาสลดลงมากตามสุดท้ายจะพิจารณาแผนที่ลมชั้นบน ซึ่งจะพิจารณาว่า ถ้าลมชั้นบนมีกำลังแรงมากและลักษณะของลมเป็นลมในลักษณะกดลงด้านล่าง (convergence) ก็จะเป็นการแสดงให้เห็นว่ามวลอากาศเย็นหรือบริเวณความกดอากาศสูงจะมีกำลังแรงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าลดลง เป็นต้น ส่วนการจะพยากรณ์ว่าค่าอุณหภูมิต่ำสุดจะสูงขึ้น หรือต่ำลงจากค่าอุณหภูมิต่ำสุดของวันที่องศาเซลเซียสนั้นขึ้นอยู่กับวิจารณ์ญาณและประสบการณ์ของนักอุตุนิยมวิทยาที่ทำหน้าที่ในการพยากรณ์ในวันนั้น และต้องทำเช่นนี้จนครบทั้ง 76 จังหวัด จึงจะสามารถออกคำพยากรณ์ได้ ซึ่งขั้นตอนนี้ก็ต้องใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง (ณรงค์ ปิยะพันธ์, 2536)

2.5 ทฤษฎีสถิติที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ

2.5.1 การวิเคราะห์ปัจจัย

การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เป็นเทคนิคในการรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือปัจจัยเดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดย

ความสัมพันธ์นั้นอาจจะเป็นทางบวกหรือทิศทางลบก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละปัจจัยจะไม่มี ความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

2.5.1.1 หลักการและวิธีการ

ในการวิเคราะห์ปัจจัย ตัวแปรต่าง ๆ ที่จะถูกจัดเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกันนั้นจะต้องมี สื่อกกลางบางอย่างร่วมกัน ซึ่งโดยปกติแล้วไม่อาจทราบได้ว่าสื่อกลางหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเข้า กลุ่มนั้น คืออะไร ต่อเมื่อจัดเข้ากลุ่มเสร็จแล้วและค่อย ๆ ตรวจสอบคุณสมบัติของสมาชิกภายในกลุ่มดู โดยละเอียดจึงจะรู้ได้ ด้วยเหตุนี้ ในการวิเคราะห์ปัจจัยถือว่าตัวแปรต่าง ๆ นั้นต่างก็มีปัจจัย ร่วม หรือตัวกลางร่วม (factor) ต่าง ๆ แฝงอยู่ และปัจจัยดังกล่าวเป็นสิ่งที่ไม่ทราบและสังเกตไม่ได้ (unobservable) แต่แม้จะสังเกตค่าไม่ได้ก็มีอิทธิพลที่ไมอาจมองข้ามได้ กำหนดให้ตัวแปรหนึ่ง ๆ เกี่ยวข้องอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังนี้ (Johnson and Wichern.1992 : 397-434)

$$X_i = \mu_i + l_{11} F_1 + l_{12} F_2 + \dots + l_{1m} F_m + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

เมื่อ μ_i = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ X_i ; $i=1,2,\dots,p$

F_j = ปัจจัยร่วม (common factor) ตัวที่ j ; $j=1,2,\dots,m$

l_{ij} = น้ำหนักปัจจัย (loading) ของตัวแปรที่ i ; $i=1,2,\dots,p$ ปัจจัยร่วมที่ j ; $j=1,2,\dots,m$

ε_i = error หรือ ปัจจัยเฉพาะ (specific factor) ตัวที่ i ซึ่งสัมพันธ์กับ X_i เท่านั้น ; $i=1,2,\dots,p$

เราสามารถจัดสมการ (2.1) ในรูประบบสมการ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} X_1 - \mu_1 &= l_{11} F_1 + l_{12} F_2 + \dots + l_{1m} F_m + \varepsilon_1 \\ X_2 - \mu_2 &= l_{11} F_1 + l_{12} F_2 + \dots + l_{1m} F_m + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ X_p - \mu_p &= l_{11} F_1 + l_{12} F_2 + \dots + l_{1m} F_m + \varepsilon_p \end{aligned} \quad (2.2)$$

หรือ เขียนในรูปของเมตริกซ์ ได้เป็น

$$X - \mu = L F + \varepsilon$$

(2.3)

$$(px1) \quad (pxm)(mx1) \quad (px1)$$

- เมื่อ $\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu}$ = เวกเตอร์ขนาด $p \times 1$ ของตัวแปรที่ปรับค่าด้วยค่าเฉลี่ย (deviated form)
 \mathbf{L} = เมตริกซ์ของน้ำหนักปัจจัย (matrix of factor loading) ขนาด $p \times m$
 \mathbf{F} = เวกเตอร์ขนาด $m \times 1$ ของปัจจัยร่วมที่สังเกตค่าไม่ได้
 $\boldsymbol{\varepsilon}$ = เวกเตอร์ขนาด $p \times 1$ ของค่าความคลาดเคลื่อน(error) หรือ specific factor
 ซึ่งไม่อาจวัดค่าได้เช่นกัน

\mathbf{F} และ $\boldsymbol{\varepsilon}$ เป็นเวกเตอร์สุ่มที่ไม่สามารถสังเกตค่าได้ ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไข ดังนี้

$$E(\mathbf{F}) = \mathbf{0}_{(m \times 1)}$$

$$\text{Cov}(\mathbf{F}) = E(\mathbf{F}\mathbf{F}') = \mathbf{I}_{(m \times m)}$$

$$E(\boldsymbol{\varepsilon}) = \mathbf{0}_{(p \times 1)}$$

$$\text{Cov}(\boldsymbol{\varepsilon}) = E(\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}') = \boldsymbol{\Psi}_{(p \times p)} = \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \psi_p \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

และให้ \mathbf{F} และ $\boldsymbol{\varepsilon}$ เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น

$$\text{Cov}(\boldsymbol{\varepsilon}, \mathbf{F}) = E(\boldsymbol{\varepsilon}\mathbf{F}') = \mathbf{0}_{(p \times m)}$$

จากสมการ(2.3) สามารถอธิบายโครงสร้างของความแปรปรวนร่วมสำหรับเมตริกซ์ \mathbf{X} ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Sigma &= E[(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})'] \\ &= E[(\mathbf{L}\mathbf{F} + \boldsymbol{\varepsilon})(\mathbf{L}\mathbf{F} + \boldsymbol{\varepsilon})'] \\ &= E[(\mathbf{L}\mathbf{F} + \boldsymbol{\varepsilon})(\mathbf{L}\mathbf{F})' + \boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}'] \\ &= E[(\mathbf{L}\mathbf{F})(\mathbf{L}\mathbf{F})' + \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{L}\mathbf{F})' + (\mathbf{L}\mathbf{F})\boldsymbol{\varepsilon}' + \boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}'] \\ &= E[\mathbf{L}\mathbf{F}\mathbf{F}'\mathbf{L}' + \boldsymbol{\varepsilon}\mathbf{F}'\mathbf{L}' + \mathbf{L}\mathbf{F}\boldsymbol{\varepsilon}' + \boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}'] \\ &= \mathbf{L}E(\mathbf{F}\mathbf{F}')\mathbf{L}' + \mathbf{L}'E(\boldsymbol{\varepsilon}\mathbf{F}') + \mathbf{L}E(\mathbf{F}\boldsymbol{\varepsilon}') + E(\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}') \end{aligned}$$

ดังนั้น
$$\text{Cov}(\mathbf{X}) = \Sigma = \mathbf{L}\mathbf{L}' + \Psi \quad (2.5)$$

และ

$$\begin{aligned} V(X_i) &= \ell_{i1}^2 + \ell_{i2}^2 + \cdots + \ell_{im}^2 + \psi_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, p \\ &= \sum_{j=1}^m \ell_{ij}^2 + \psi_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \quad (2.6)$$

และให้ h_i^2 คือ ค่าความร่วมกัน (communality) ของตัวแปรที่ i ซึ่งเป็นปริมาณที่ชี้ให้เห็นว่าในบรรดาตัวแปรอิสระต่าง ๆ นั้น ตัวแปร X ตัวที่ i มีบทบาทหรือมีส่วนร่วมในปัจจัยต่าง ๆ ทั้ง m ตัว คือ F_1, F_2, \dots, F_m มากน้อยเพียงใด จะได้ว่า

$$h_i^2 = \ell_{i1}^2 + \ell_{i2}^2 + \cdots + \ell_{im}^2 \quad (2.7)$$

และ

$$\text{Cov}(X_i, X_k) = \ell_{i1}\ell_{k1} + \ell_{i2}\ell_{k2} + \cdots + \ell_{im}\ell_{km} \quad (2.8)$$

และโครงสร้างความแปรปรวนร่วมของตัวแปร X_i และปัจจัยร่วม F_j คือ

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\mathbf{X}, \mathbf{F}) &= E[(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{F} - E(\mathbf{F}))'] \\ &= E(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})\mathbf{F}' \\ &= E(\mathbf{L}\mathbf{F} + \boldsymbol{\varepsilon})\mathbf{F}' \\ &= \mathbf{L}E(\mathbf{F}\mathbf{F}') + E(\boldsymbol{\varepsilon}\mathbf{F}') \\ &= \mathbf{L} \end{aligned} \quad (2.9)$$

แสดงว่า \mathbf{L} คือเมตริกซ์ของสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_i กับปัจจัย F_j ดังนั้น

$$\text{Cov}(X_i, F_j) = \ell_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, p \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2.10)$$

จากสมการ (2.6) และ (2.8) แสดงให้เห็นว่าแท้ที่จริงแล้วสามารถแก้สมการหาค่า ℓ_{ij} และ ψ_i ได้ (คือ หา \mathbf{L} และ Ψ ได้) ซึ่งมีผลให้จัดกลุ่มตัวแปรอิสระต่าง ๆ ได้ หมายความว่าแม้ไม่ทราบ F_j เราก็สามารถหา ℓ_{ij} ได้ จากสมการ(2.6) และ (2.8) ส่วนสมการ (2.10) เป็นสมการที่

อธิบายความหมายของน้ำหนักปัจจัย คือ l_{ij} ว่า l_{ij} ก็คือค่าที่แสดงให้เห็นว่า X_i มีส่วนร่วมหรือผูกพัน กับสื่อกลางหรือปัจจัยร่วมที่ j คือ F_j มากน้อยเพียงใด ดังนั้นภาระกิจของการวิเคราะห์ปัจจัยก็คือ การประมาณค่า L และ Ψ ซึ่งอาศัยข้อมูลจาก Σ นั้นเอง

อย่างไรก็ตาม เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยจะมีประโยชน์เฉพาะเมื่อตัวแปร X 's มีความสัมพันธ์กัน คือ $\sigma_{ij} > 0$ หรือ $r_{ij} \rightarrow \pm 1$ เมื่อ $i \neq j$ ซึ่งจะมีผลให้เราจัดกลุ่มตัวแปรเข้าเป็นปัจจัยต่าง ๆ ได้ m ปัจจัย หากตัวแปร X 's เป็นอิสระต่อกันหรือเกือบจะเป็นอิสระต่อกัน คือ $\sigma_{ij} \rightarrow 0$ หรือ $r_{ij} \rightarrow 0$ เมื่อ $i \neq j$ เราจะไม่สามารถจัดกลุ่มตัวแปรเข้าเป็นกลุ่ม(ปัจจัย) ได้ กรณีแบบนี้หากมีตัวแปรอิสระทั้งหมด p ตัวแปร แต่ละปัจจัยก็จะประกอบด้วยตัวแปรเพียง 1 ตัวแปร ซึ่งจะไม่เกิดประโยชน์อะไรเลย (Johnson and Wichern. 1992 : 397-399)

2.5.1.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ของเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

การนำเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดกลุ่ม หรือจำแนกกลุ่มตัวแปร แบ่งเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1) แปลงข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X_{ij}) เป็นค่ามาตรฐาน Z_{ij} ดังสมการ(Henry and Dunteman. 1935)

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{s_j} \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad , j = 1, 2, \dots, p \quad (2.11)$$

เมื่อ X_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรที่ j ; $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, p$
 n คือจำนวนข้อมูล
 p คือจำนวนตัวแปรอิสระ
 \bar{X}_j คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตของตัวแปรที่ j
 s_j คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรที่ j

2) การสร้างเมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (Correlation matrix) ในขั้นแรกนี้จะหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระซึ่งแปลงเป็นค่ามาตรฐานแล้วโดยเขียนในรูปเมตริกซ์(R) เพื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัยในขั้นตอนต่อไป และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละคู่ยังใช้พิจารณาในขั้นต้นได้ว่าตัวแปรต่าง ๆ ตัวแปรใดบ้างควรอยู่ในปัจจัยร่วมเดียวกัน กล่าวคือถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคู่ใดมีค่าสูงคือ มีค่าใกล้ + 1 หรือ - 1 แสดงว่า ตัวแปรคู่นั้น มีความสัมพันธ์กันมากควรอยู่ในปัจจัยร่วมเดียวกันแต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคู่ใดมีค่าใกล้ 0 แสดงว่าแปรคู่นั้นไม่มี

ความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ควรอยู่คนละปัจจัยร่วม ในการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่าย โดยวิธีของ Pearson จากสูตร (Henry and Dunteman.1935 : 40)

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{Y})^2}} \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.12)$$

3) การสกัดปัจจัย (Factor Extraction) วัตถุประสงค์ของการสกัดปัจจัย คือ การหาจำนวนปัจจัยร่วม(common factor) ที่สามารถใช้แทนตัวแปรทั้งหมดทุกตัวได้ ในขั้นนี้จะทำการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย แล้วใช้ค่าน้ำหนักปัจจัยในการพิจารณาว่ามีตัวแปรใดบ้างที่ควรอยู่ในปัจจัยร่วมเดียวกัน การประมาณค่าน้ำหนักปัจจัยมี 2 วิธีใหญ่ๆ (กัลยา วาณิชยบัญชา.2544;260) ได้แก่

1. Principal component analysis (PCA)
2. Common Factor analysis (CFA) มีเทคนิคย่อย 6 เทคนิค ดังนี้
 - 2.1 Unweighted least square
 - 2.2 Generalized least square
 - 2.3 Maximum likelihood method
 - 2.4 Alpha method
 - 2.5 Image Factoring

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธี Principal Component Analysis ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดในทางปฏิบัติ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีเงื่อนไขว่า แต่ละปัจจัยร่วมจะต้องตั้งฉากกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแต่ละปัจจัยร่วมจะมีความเป็นอิสระต่อกันและจะทำให้ไม่เกิดปัญหา multicollinearity ในการหาตัวแบบโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ ต่อไป

การประมาณค่าน้ำหนักปัจจัยโดยวิธี (Principal Component Analysis :PCA) ในการวิเคราะห์ PCA จะสร้าง linear combination ของตัวแปร โดยที่ปัจจัยร่วมที่ 1 (factor1) จะเป็น linear combination แรกและมีรายละเอียดจากตัวแปรมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่ามีค่าความแปรปรวนสูงสุด ปัจจัยร่วมที่ 2

(factor 2) ก็เป็น linear combination ของตัวแปร เช่นกัน และสามารถนำรายละเอียดที่เหลืออยู่มากที่สุดจากตัวแปรมาอยู่ในปัจจัย โดยที่ปัจจัยร่วมที่ 2 จะต้องตั้งฉากกับ ปัจจัยร่วมที่ 1 หรือกล่าวได้ว่า ปัจจัยร่วมที่ 2 ไม่มีความสัมพันธ์กับ ปัจจัยที่ 1 ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาการเกิด

Multicollinearity ปัจจัยร่วมที่ 3 (factor3) เป็น linear combination ของตัวแปรเช่นกัน และไม่มี

ความสัมพันธ์กับปัจจัยร่วมที่ 1 และ 2 และสามารถนำ information ที่เหลือจากตัวแปรได้มากที่สุด
 ในทำนองเดียวกันการสร้าง ปัจจัยร่วมที่ 4,5,... ก็ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น

ในการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัยนั้น เลือกวิเคราะห์จากสมการ $R = LL' + \Psi$

ก็ได้ ซึ่งเราสามารถประมาณค่า ℓ_{ij} ; $i = 1, 2, \dots, p$, $j = 1, 2, \dots, m$ ได้จาก R ดังนี้

ให้ $\lambda_i = \text{eigenvalue}$ ของเมตริกซ์ R เมื่อ $i = 1, 2, \dots, p$

$V_i = \text{eigenvector}$ ของเมตริกซ์ R เมื่อ $i = 1, 2, \dots, p$

โดยที่ $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ และให้ $m < p$ คือจำนวนปัจจัยร่วม

สามารถประมาณค่าของ L และ Ψ ได้ดังนี้ (Johnson and Wichern. 1992 : 405)

$$\hat{L} = [\sqrt{\hat{\lambda}_1} \hat{v}_1 : \sqrt{\hat{\lambda}_2} \hat{v}_2 : \dots : \sqrt{\hat{\lambda}_m} \hat{v}_m] \quad (2.13)$$

$$\hat{\Psi} = S - \hat{L}\hat{L}'$$

$$= \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \psi_p \end{bmatrix}$$

$$\psi_i = r_{ii} - \sum_{j=1}^m \hat{\ell}_{ij}^2 = 1 - \sum_{j=1}^m \hat{\ell}_{ij}^2 \quad (2.14)$$

การตัดสินใจว่าปัจจัยร่วมหนึ่งควรประกอบไปด้วยตัวแปรใดบ้างนั้น พิจารณาจากค่า
 ของน้ำหนักปัจจัย (loading, ℓ_{ij}) กล่าวคือ ถ้าค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใด ๆ ในปัจจัยร่วมใดมีค่า
 สูง (เข้าสู่ +1 หรือ -1) ส่วนในปัจจัยร่วมอื่นมีค่าต่ำ (เข้าสู่ศูนย์) จะจัดตัวแปรให้อยู่ในปัจจัยร่วมที่มีค่า
 น้ำหนักปัจจัยสูงนั้น แต่ถ้าค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใด ๆ มีค่าสูงหรือต่ำพอ ๆ กัน หรือไม่
 แตกต่างกันชัดเจน ทำให้ไม่สามารถจัดตัวแปรเข้าอยู่ในปัจจัยร่วมใดปัจจัยร่วมหนึ่งได้ จึงควรทำ
 การหมุนแกนปัจจัย (กัลยา วานิชย์บัญชา. 2544 : 276 ; Johnson and Wichern 1992 : 406)

และในการพิจารณาว่าควรมีจำนวนปัจจัยกี่ปัจจัย ให้พิจารณาค่า (λ_j) เฉพาะที่มีค่า
 ตั้งแต่ 1 ขึ้นไป และเมื่อนำค่า eigenvalues มารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนตัวแปร ดังสมการ (2.14)
 เรียกว่าค่าสัดส่วนในความผันแปรรวมที่ปัจจัยร่วม ที่ j มีส่วนร่วมควบคุม (Proportion of total
 sample variance due to j th factor) ซึ่งเป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่าปัจจัยร่วมต่าง ๆ สามารถดูดซับเอาความ
 แปรปรวนของ X_i ไว้ได้เท่าไร จาก 100 % โดยการตัดสินใจว่าจะมีจำนวนปัจจัยเท่าไร ปัจจัย

เหล่านั้นต้องสามารถควบคุมความผันแปรได้ในระดับสูง ๆ เข้าใกล้ 100 % (Johnson and Wichern. 1992 : 412)

$$\text{(Proportion of total sample variance due to } j\text{th factor)} = \frac{\hat{\lambda}_j}{p} \quad ; j = 1, 2, \dots, m \quad (2.15)$$

เมื่อ $\hat{\lambda}_j$ = ผลรวมของค่า eigenvalue ของเมตริกซ์ R ที่มีค่ามากกว่า 1

P = ผลรวมของค่า eigenvalue ของเมตริกซ์ R ทั้งหมด = จำนวนตัวแปร

4) การหมุนแกนปัจจัย(Factor Rotation) ในบางครั้งการพิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัย (loading) เพื่อจัดกลุ่มตัวแปร อาจจะทำให้ไม่ชัดเจน กล่าวคือ ค่าน้ำหนักปัจจัยมีสูงหรือต่ำพอ ๆ กัน ในปัจจัยร่วมต่าง ๆ หากที่จะวินิจฉัยได้เด็ดขาดว่า ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งประกอบด้วยตัวแปรใดบ้าง จึงต้องทำการหมุนแกนปัจจัย ซึ่งทำได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีการหมุนแกนฉาก (Orthogonal Rotation) และวิธีการหมุนแกนมิใช่ฉาก(Oblique Rotation) โดยมีหลักเกณฑ์ทั่วไป ดังนี้

ถ้า \hat{L} เป็นเมตริกซ์ของค่าประมาณของน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ที่หาได้จากวิธี Principal component ซึ่งมีขนาด $p \times m$ แล้ว

$$\hat{L}^* = \hat{L}T \quad \text{โดยที่} \quad TT' = T'T = I \quad (2.16)$$

เป็นเวกเตอร์ ขนาด $p \times m$ ซึ่งได้จากการหมุนแกน (rotated) ของน้ำหนักปัจจัย อย่างไรก็ตามเมตริกซ์ของค่าประมาณความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix) หรือ เมตริกซ์สหสัมพันธ์(Correlation Matrix) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง นั่นคือ

$$\hat{L}\hat{L}' + \hat{\psi} = \hat{L}TT'\hat{L}' + \hat{\psi} = \hat{L}^*\hat{L}^{*'} + \hat{\psi} \quad (2.17)$$

อย่างไรก็ตามค่าความแปรปรวนเฉพาะ $\hat{\psi}$ ค่าความแปรปรวนร่วม \hat{h}_i^{*2} ก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุผลทางคณิตศาสตร์ \hat{L} และ \hat{L}^* จึงไม่แตกต่างกัน

ในกรณีที่ค่าน้ำหนักปัจจัย (loading) ยังไม่สามารถจัดกลุ่มตัวแปรได้อย่างชัดเจน เราจะทำการหมุนแกน (rotate) ไปจนกระทั่งได้โครงสร้างของกลุ่มตัวแปรที่ชัดเจน

4.1) การหมุนแกนฉาก (Orthogonal Rotation) พล็อตน้ำหนักปัจจัยร่วมของ 2 ปัจจัยของแต่ละตัวแปร ($\hat{e}_{i1}, \hat{e}_{i2}$) ทั้งหมด p จุด เท่ากับจำนวนตัวแปร การหมุนแกนจะหมุนไปเป็นมุมเท่ากับ ϕ หลังจากหมุนแกนแล้วจะได้ตัวประมาณค่าของน้ำหนักปัจจัยใหม่ เป็น \hat{e}_{i1} โดยหาได้จากสมการ (Johnson and Wichern. 1992 : 420)

$$\hat{\mathbf{L}}^* = \hat{\mathbf{L}} \mathbf{T} \quad (2.18)$$

(px2) (px2)(2x2)

เมื่อ

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \Phi & \sin \Phi \\ -\sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} \quad \text{clockwise rotation}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \Phi & -\sin \Phi \\ \sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} \quad \text{counterclockwise rotation}$$

กรณีถ้า $m > 2$ การหมุนแกนจะทำให้ยากขึ้น ซึ่งการหมุนแกนจาก มีหลายวิธี ได้แก่

1. วิธี Varimax
2. วิธี Quartimax
3. วิธี Equimax

ในการวิจัยครั้งนี้จะเลือกวิธีการหมุนแกนจาก วิธี Varimax ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมากในทางในทางปฏิบัติ ซึ่งมีหลักการดังนี้ ให้พิจารณาสมาชิกในสดมภ์ของ $\hat{\mathbf{L}}^*$ เป็นเกณฑ์ คือ ให้หมุนแกนทีละน้อยจนกว่าจะมีผลให้ v^* มีค่าสูงที่สุด โดยที่

$$v^* = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p \left[p \sum_{j=1}^m l_{ij}^{*4} - \left(\sum_{j=1}^m l_{ij}^{*2} \right)^2 \right] \quad (2.19)$$

ขอให้สังเกตว่า $\left[\sum_{j=1}^m l_{ij}^{*4} - \left(\sum_{j=1}^m l_{ij}^{*2} \right)^2 \right]$ คือ ผลต่างที่ได้รับมาจากสดมภ์ที่ 1 ถึง สดมภ์ที่ m เมื่อ

m คือ จำนวนปัจจัยร่วม ค่า v^* เรียกว่า raw varimax และเมื่อปรับปรุง raw varimax ให้เหมาะสมยิ่งขึ้นโดยถ่วงน้ำหนัก l_{ij}^* แต่ละตัวตามความสำคัญ คือ ถ่วงน้ำหนักด้วย communality (h_i^2)

ให้

$$X_{ij} = l_{ij}^* / \sqrt{h_i^2} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, m$$

ดังนั้นจึงเปลี่ยน v^* เป็น V ดังนี้ (Johnson and Wichern. 1992 : 422)

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p \left[p \sum_{j=1}^m X_{ij}^{*4} - \left(\sum_{j=1}^m X_{ij}^{*2} \right)^2 \right] \quad (2.20)$$

เรียก V ว่า normal varimax โดยให้ค้อย ๆ แปลค่า Φ ไปทีละน้อยจนกว่าจะมีผลให้ V มีค่าสูงสุด ซึ่งการกำหนดค่า Φ คราวหนึ่งจะได้ค่า rotated loading l_{ij}^* ครั้งหนึ่ง คือได้เมตริกซ์ L^*

4.2) การหมุนแกนมิใช่ฉาก (Oblique Rotation) สำหรับการหมุนแกนแบบไม่ฉาก ก็ปฏิบัติเช่นเดียวกันเพียงแต่หมุนแกนฉากเป็น 2 ระยะ คือ หมุนแกน F_1 ไป Φ_1 องศา หรือ $-\Phi_1$ องศา ได้แกน F_1^* กับหมุนแกน F_2 ไป Φ_2 องศา หรือ $-\Phi_2$ องศา ได้แกน F_2^* เมื่อ $\Phi_1 \neq \Phi_2$

5) การคำนวณหาค่าคะแนนปัจจัย (Factor Score) เนื่องจากงานวิเคราะห์ปัจจัยนั้นเรามีเป้าหมายเพื่อลดจำนวนตัวแปรอิสระซึ่งมีถึง p ตัว ให้เหลือเพียง m ตัว เมื่อ $m < p$ โดยรวมกลุ่มตัวแปรเข้าด้วยกันเป็นกลุ่ม ๆ ตามโยงใยที่พัวพันต่อกันที่เรียกว่าปัจจัยร่วม แล้วให้ชื่อปัจจัยร่วม แล้วให้ชื่อปัจจัยร่วมเหล่านั้นด้วยชื่อกลาง ๆ แล้วพยายามหาจุดเชื่อมโยงจากปัจจัยที่ได้ไปสู่การวิเคราะห์เรื่องอื่น คือหาทางนำเอาปัจจัยไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นการคำนวณหาค่าคะแนนปัจจัยทำได้ 2 วิธี คือ วิธี Weighted Least Square และวิธี Regression Method

5.1) การหาค่าคะแนนปัจจัย โดยวิธี Regression (Regression Method)

พิจารณาแบบจำลองของปัจจัย

$$X - \mu = L F + \varepsilon$$

เมื่อเมตริกซ์ของน้ำหนักปัจจัย L และ เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม Ψ หาค่าได้ และเมื่อ F และ ε มีการแจกแจงร่วมแบบปกติ $N_p(\mathbf{0}, LL' + \Psi)$ นอกจากนั้นการแจกแจงร่วมของ $(X - \mu)$ และ F เป็น $N_{m+p}(\mathbf{0}, \Sigma^*)$ เมื่อ

$$\Sigma^* = \begin{bmatrix} \Sigma = LL' + \Psi & L \\ (p \times p) & (p \times m) \\ L' & I \\ (m \times p) & (m \times m) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

และ $\mathbf{0}$ เป็นเวกเตอร์ที่มีขนาด $(m+p) \times 1$ เราสามารถหาการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของ F/x ซึ่งการแจกแจงแบบปกติแบบหลายตัวแปร ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เป็น

$$\text{Mean} = E(F/x) = \mathbf{L}' \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \mu) = \mathbf{L}' (\mathbf{L}\mathbf{L}' + \Psi)^{-1} (\mathbf{x} - \mu) \quad (2.22)$$

และความแปรปรวนร่วม เป็น

$$\text{Covariance} = \text{Cov}(F/x) = \mathbf{I} - \mathbf{L}' \Sigma^{-1} \mathbf{L} = \mathbf{I} - \mathbf{L}' (\mathbf{L}\mathbf{L}' + \Psi)^{-1} \mathbf{L} \quad (2.23)$$

$\mathbf{L}' (\mathbf{L}\mathbf{L}' + \Psi)^{-1}$ ในสมการ (2.20) คือสัมประสิทธิ์ของ factors ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายตัวแปร การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ในการหาค่า factor score จะคล้ายกับการประมาณค่าของค่าเฉลี่ยแบบมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายตัวแปร

ถ้ากำหนดให้ \mathbf{x}_j เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกต $\hat{\mathbf{L}}$ และ $\hat{\Psi}$ ได้จากการประมาณโดยวิธี maximum likelihood และหาค่าได้ จะได้เวกเตอร์ของ factor score ที่ j คือ

$$\hat{\mathbf{f}}_j = \hat{\mathbf{L}}' (\hat{\mathbf{L}}\hat{\mathbf{L}}' + \hat{\Psi})^{-1} (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{X}}) \quad , j=1,2,\dots,n \quad (2.24)$$

ในทางปฏิบัติเราใช้ \mathbf{S} (Sample covariance matrix) แทน $\hat{\Sigma}$

$$\hat{\mathbf{f}}_j = \hat{\mathbf{L}}' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{X}}) \quad , j=1,2,\dots,n \quad (2.25)$$

และเมื่อวิเคราะห์ด้วย correlation matrix , \mathbf{R} จะหาคะแนนปัจจัย จากสมการ (Johnson and Wichern. 1992 : 432)

$$\hat{\mathbf{f}}_j = \hat{\mathbf{L}}_Z' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Z}_j \quad , j=1,2,\dots,n \quad (2.26)$$

เมื่อ

$$\hat{\mathbf{L}}_Z = \hat{\mathbf{V}}^{-1/2} \mathbf{L}$$

$$\mathbf{Z}_j = \hat{\mathbf{V}}^{-1/2} (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{X}})$$

$$\hat{\mathbf{V}}^{-1/2} = \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{s_{11}}}, \frac{1}{\sqrt{s_{22}}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{s_{pp}}} \right]$$

ถ้าหาคะแนนปัจจัยโดยใช้ rotated loading $\hat{\mathbf{L}}^*$ โดยที่ $\hat{\mathbf{L}}^* = \hat{\mathbf{L}}\mathbf{T}$ ก็จะแทนที่ $\hat{\mathbf{L}}$ ด้วย $\hat{\mathbf{L}}^*$ ในสมการ (2.26)

2.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ(Multiple Linear Regression Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหนึ่งที่น่าสนใจ ได้แก่ Y เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) และตัวแปรอิสระ X (Independent Variable) ที่มีมากกว่า 1 ตัว ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของตัวแปรตาม Y

2.5.2.1 ตัวแบบของการถดถอย (Multiple Linear Regression Model)

ในการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรตาม(Y)และตัวแปรอิสระที่มีมากกว่า 1 ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k) เราเรียกรูปแบบความสัมพันธ์นี้ว่าตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ตัวแบบของสมการถดถอยสามารถเขียนได้เป็น (Neter et.al.1990 : 229)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad (2.27)$$

เมื่อ	Y_i	เป็นค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรตาม
	$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$	เป็นค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรอิสระ
	$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$	เป็นพารามิเตอร์ของตัวแบบ
	ε_i	เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ i

2.5.2.2 ข้อสมมติของตัวแบบ(Assumption)

- 1) ε_i มีการแจกแจงแบบปกติ(normal distribution)
- 2) $E(\varepsilon_i) = 0$ หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์
- 3) $E(\varepsilon_i^2) = \sigma^2$ หมายความว่า ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนคงที่เท่ากับ σ^2 ทุกค่าของ i
- 4) $E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$ เมื่อ $i \neq j$ หมายความว่าความคลาดเคลื่อนที่ i (ε_i) และความคลาดเคลื่อนที่ j (ε_j) เป็นอิสระกัน

2.5.2.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอย

ตามปกติการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอย หรือก็คือการหาค่าประมาณของ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ สามารถทำได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเพียงวิธีเดียวเท่านั้นคือวิธี

กำลังสองน้อยที่สุด(Least Squares Estimation) เพราะเป็นวิธีที่ให้ตัวประมาณของพารามิเตอร์ที่มีความแปรปรวนต่ำสุด (best) และ เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียง (unbiase)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด มีหลักการที่ว่าพยายามหาค่า $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ ที่จะทำให้ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน(SSE) มีค่าน้อยที่สุด หรือ $\sum e_i^2$ หรือ $\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ มีค่าน้อยที่สุด ซึ่ง

$$\begin{aligned} \text{SSE} &= \sum e_i^2 \\ &= \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \\ &= \sum (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k X_{ik})^2 \end{aligned}$$

การหาค่า $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ ที่จะทำให้ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด หรือ $\sum e_i^2$ หรือ $\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ มีค่าน้อยที่สุด โดยอาศัยเทคนิคทางแคลคูลัส(calculus) ทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum e_i^2}{\partial \hat{\beta}_0} &= -2 \sum (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k X_{ik}) = 0 \\ \frac{\partial \sum e_i^2}{\partial \hat{\beta}_1} &= -2 \sum X_{i1} (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k X_{ik}) = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial \sum e_i^2}{\partial \hat{\beta}_k} &= -2 \sum X_{ik} (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k X_{ik}) = 0 \end{aligned}$$

นั่นคือ ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัวในสมการจะได้สมการปกติ (normal equation) จำนวน k+1 สมการ ดังต่อไปนี้

$$\sum Y_i = n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum X_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum X_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum X_{ik} \quad (1)$$

$$\sum X_{i1} Y_i = \hat{\beta}_0 \sum X_{i1} + \hat{\beta}_1 \sum X_{i1}^2 + \hat{\beta}_2 \sum X_{i1} X_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum X_{i1} X_{ik} \quad (2)$$

$$\sum X_{i2} Y_i = \hat{\beta}_0 \sum X_{i2} + \hat{\beta}_1 \sum X_{i1} X_{i2} + \hat{\beta}_2 \sum X_{i2}^2 + \dots + \hat{\beta}_k \sum X_{i2} X_{ik} \quad (3)$$

\vdots

\vdots

$$\sum X_{ik} Y_i = \hat{\beta}_0 \sum X_{ik} + \hat{\beta}_1 \sum X_{i1} X_{ik} + \hat{\beta}_2 \sum X_{i1} X_{ik} + \dots + \hat{\beta}_k \sum X_{ik}^2 \quad (k+1)$$

จะเห็นว่าจากสมการ $k+1$ สมการ เราสามารถใช้วิธีพีชคณิตแก้สมการหาค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ ได้ แต่วิธีนี้ไม่ค่อยนิยมกันนัก เพราะถ้าตัวแปรอิสระมีจำนวนหลายตัวจะทำให้การคำนวณยุ่งยากและไม่สะดวกนัก ดังนั้นจึงมักอาศัยความรู้ทางเมทริกซ์(Matrix Algebra) เข้ามาช่วย ดังนี้

ถ้าหากว่าตัวแปรอิสระ X จำนวน k ตัว คือ X_1, X_2, \dots, X_k มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม Y โดยตัวแปร X และ Y มีจำนวนค่าสังเกตอย่างละ n ค่า เราจะได้ตัวแบบดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

เมื่อกระจายตัวแบบจะได้สมการ ดังนี้

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_{11} + \beta_2 X_{12} + \dots + \beta_k X_{1k} + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = \beta_0 + \beta_1 X_{21} + \beta_2 X_{22} + \dots + \beta_k X_{2k} + \varepsilon_2$$

$$\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots$$

$$Y_n = \beta_0 + \beta_1 X_{n1} + \beta_2 X_{n2} + \dots + \beta_k X_{nk} + \varepsilon_n$$

และสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์เป็น

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \qquad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ 1 & X_{31} & X_{32} & \dots & X_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \vdots \\ \beta_{k+1} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

เมื่อ Y เป็นเวกเตอร์แถวตั้งขนาด n ที่มีสมาชิกที่ i เป็น Y_i

β เป็นเวกเตอร์แถวตั้งขนาด $(k+1)$ ที่มีสมาชิกที่ i เป็น β_i

ε เป็นเวกเตอร์แถวตั้งขนาด n ที่มีสมาชิกที่ i เป็น ε_i

X เป็นเมตริกซ์ขนาด ขนาด $n \times (k+1)$

จากรูปแบบจำลองของสมการถดถอย เราสามารถเขียนในรูปของ matrix ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ 1 & X_{31} & X_{32} & \dots & X_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

หรือเขียนให้กระชับได้เป็น (Neter .1990: 237)

$$Y = X \beta + \varepsilon \quad (2.29)$$

และสามารถหา $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ ได้จากสมการ (Neter. 1990 : 238)

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y \quad (2.30)$$

2.5.2.4 ปัญหาของการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยจะทำตามตัวแบบการถดถอยและ ข้อสมมติของตัวแบบที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หากข้อสมมติของตัวแบบเป็นจริงการสรุปผลการวิเคราะห์จะทำได้ถูกต้อง แต่ถ้าข้อสมมติไม่เป็นจริงผลการวิเคราะห์จะผิดพลาดได้ ดังนั้นหากพบว่าข้อสมมติของตัวแบบการถดถอยไม่จริงควรมีการแปลงข้อมูล (transform) เพื่อให้ข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติของตัวแบบ ซึ่งหากข้อสมมติข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็นจริงจะมีผลทำให้ตัวประมาณที่ได้ไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวประมาณที่ดี และการสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์จะผิดพลาด นอกจากนี้ปัญหากรณีข้อสมมติเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนไม่เป็นจริงแล้วยังมีปัญหาอื่น ๆ อีก ได้แก่ รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไม่เป็นไปตามที่กำหนด และไม่ได้รวมตัวแปรอิสระบางตัวแปรที่สำคัญไว้ในรูปแบบ วิธีการตรวจสอบที่จะทำกับตัวเศษเหลือ (residual : ε_i)

เพราะตัวเศษเหลือ เป็นตัวประมาณของ e_i ที่ได้จากการถดถอยที่สร้างขึ้น ซึ่ง $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ ได้แก่

1) การทดสอบการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่

2) การทดสอบความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน

3) การทดสอบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่กำหนดเหมาะสมหรือไม่

1) การทดสอบการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ข้อสมมติของรูปแบบการถดถอยกำหนดว่า ค่าความคลาดเคลื่อนจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ จากการวิเคราะห์การถดถอยหากพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จะส่งผลให้การประมาณแบบช่วงและการทดสอบสมมติฐานทั้งแบบ t และแบบ F ที่เกี่ยวข้องกับการพารามิเตอร์ในรูปแบบจะไม่ถูกต้อง ผลสรุปที่ได้จะผิดพลาด การทดสอบสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1.1) การพล็อตแบบ NPP (Normal Probability Plot) เป็นการพล็อตค่าตัวเศษเหลือ(e_i) โดยทำการเรียงลำดับค่า e_i จากน้อยไปหามาก จะได้ค่า $e_{(i)}$ เป็นค่าตัวเศษเหลือที่เรียงลำดับที่ i (ordered observation) ของค่าตัวเศษเหลือ (residual) ในการพล็อต กราฟจะกำหนดให้ $e_{(i)}$ เป็นแกนตั้ง ส่วนแกนนอนจะเป็นค่าคาดหวังของ $e_{(i)}$ หรือ $E(e_{(i)})$ ซึ่งหาได้จากสมการ (Neter. 1990 : 111)

$$E(e_{(i)}) = \sqrt{\text{MSE}} \cdot Z \left(\frac{i - 0.375}{n + 0.25} \right) \quad (2.31)$$

เมื่อ $\sqrt{\text{MSE}}$ เป็นค่าประมาณของ σ^2 เมื่อ $\text{MSE} = \frac{\sum e_i^2}{n - 2}$

$Z(A)$ เป็นค่า Z ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ A ของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน
 n เป็นจำนวนค่าความคลาดเคลื่อน

การพิจารณาว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่จะพิจารณาจากจุด ($E(e_{(i)}), e_{(i)}$) ที่ได้จากการพล็อตในแผนภาพการกระจาย (scatter) คือ ถ้าจุด ($E(e_{(i)}), e_{(i)}$) อยู่ในแนวเส้นตรงจะสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ แต่ถ้าจุด ($E(e_{(i)}), e_{(i)}$) ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงค่าความคลาดเคลื่อนจะไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

1.2) การทดสอบของ Kolmogorov-Smirnov(K-S) การทดสอบ K-S เป็นการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลตัวอย่างเป็นไปตามทฤษฎีหรือที่คาดหวังหรือไม่ โดยอาศัยผลต่างระหว่าง observed cumulative histogram กับ cumulative distribution function

สมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติของการทดสอบคือ (Daniel. 1990 : 320)

$$D = \text{Max} \left\{ |S(X) - F(X)| \right\} \quad (2.32)$$

เมื่อ $S(X)$ คือ Observed Cumulative ของ residual ลำดับที่ i ในที่นี้คือ $\frac{i}{n}$

$F(X)$ ในที่นี้คือ Normal Cumulative Distribution หาได้จาก

$$F(e_{(i)}) = P \left(Z < \frac{e_{(i)} - \bar{e}}{S_e} \right) \quad (2.33)$$

เมื่อ $e_{(1)} < e_{(2)} < e_{(3)} < \dots < e_{(n)}$ คือ Ordered Observation ของ residual e_1, e_2, \dots, e_n

ค่าวิกฤตของ D หาได้จากตาราง K-S และจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ $D > D_\alpha$

แนวทางในการแก้ปัญหา

เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จะทำการแปลงข้อมูลของตัวแปรตาม โดยวิธี Box - Cox transformation (Neter. 1990 :134-135) Box and Cox ได้เสนอวิธีเพื่อช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการแปลงตามสมการ ดังนี้

$$Y' = Y^\lambda \quad (2.34)$$

เมื่อ λ คือค่าพารามิเตอร์ ซึ่งมีเงื่อนไขในการกำหนด λ คือ พยายามกำหนด λ ที่ทำให้ค่า sum square of error (SSE) มีค่าน้อยที่สุดในการนำ Y' ไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ซึ่งค่า Y' จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าการกำหนดค่า λ ดังนี้

$$\lambda = 2 \quad , \quad Y' = Y^2$$

$$\lambda = 0.5 \quad , \quad Y' = \sqrt{Y}$$

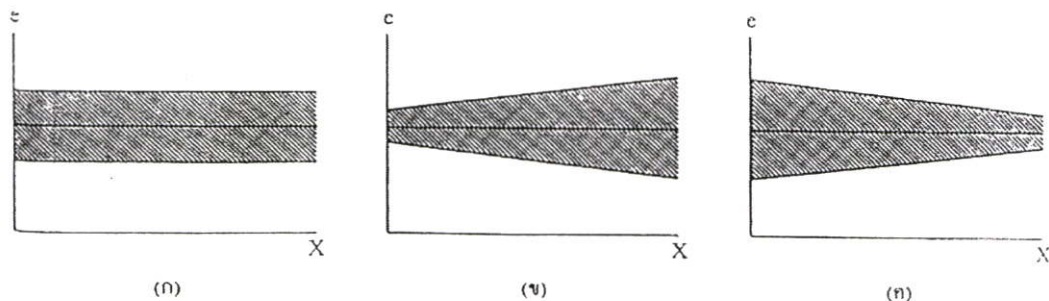
$$\lambda = 0 \quad , \quad Y' = \log_e Y$$

$$\lambda = -0.5 \quad , \quad Y' = \frac{1}{\sqrt{Y}}$$

$$\lambda = -1.0 \quad , \quad Y' = \frac{1}{Y}$$

2) การทดสอบความคงที่ของความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน (Heteroscedasticity) การที่ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ นั่นคือ $V(\varepsilon_i) \neq \sigma^2$ ซึ่งจะมีผลทำให้การหาช่วงความเชื่อมั่นและการทดสอบสมมติฐานทำได้ไม่ถูกต้อง ดังนั้นก่อนการวิเคราะห์การถดถอยควรตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนก่อนว่าคงที่หรือไม่ ซึ่งการทดสอบความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน กระทำด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

2.1) การพล็อตค่ามาตรฐานของตัวเศษเหลือ (e_i) กับค่าประมาณ \hat{Y}_i ถ้าพบว่ามีจุดต่าง ๆ ในแผนภาพกระจายเป็นแกนขนานดังแสดงในรูปที่ 2.1(ก) สรุปลงได้ว่าความแปรปรวนคงที่ แต่ถ้าพบเป็นรูปทรงอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ข) และ (ค) สรุปลงได้ว่าความแปรปรวนไม่คงที่ (ทรงศิริ แต่สมบัติ. 2539 : 163)



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของค่าความคลาดเคลื่อน กรณีค่าความแปรปรวน
(ก) คงที่ (ข) เพิ่มขึ้น และ (ค) ลดลง

2.2) การตรวจสอบความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน โดยวิธี Brown-Forsythe Test ดังนี้ (Neter et.al. 2004:116-117)

2.2.1) หาค่าตัวเศษเหลือ จากสมการ $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$

2.2.2) แบ่งค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็นสองกลุ่มเท่า ๆ กัน

2.2.3) ตั้งสมมติฐานของการทดสอบ คือ

H_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

H_1 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่

2.2.4) สถิติทดสอบ

$$t_{BF}^* = \frac{\bar{d}_1 - \bar{d}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.35)$$

เมื่อ \bar{d}_1 เป็นค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือกลุ่มที่ 1 = $\frac{\sum_{i=1}^{n_1} d_{i1}}{n_1}$

\bar{d}_2 เป็นค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือกลุ่มที่ 2 = $\frac{\sum_{i=1}^{n_2} d_{i2}}{n_2}$

โดย $d_{i1} = |e_{i1} - \bar{e}_1|$; $i = 1, 2, \dots, n_1$

$d_{i2} = |e_{i2} - \bar{e}_2|$; $i = 1, 2, \dots, n_2$

\bar{e}_1 เป็นค่าเฉลี่ยของค่าตัวเศษเหลือกลุ่มที่ 1 = $\frac{\sum_{i=1}^{n_1} e_{i1}}{n_1}$

โดย n_1 เป็นจำนวนค่าตัวเศษเหลือกลุ่มที่ 1

\bar{e}_2 เป็นค่าเฉลี่ยของค่าตัวเศษเหลือกลุ่มที่ 2 = $\frac{\sum_{i=1}^{n_2} e_{i2}}{n_2}$

โดย n_2 เป็นจำนวนค่าตัวเศษเหลือกลุ่มที่ 2

และ
$$s^2 = \frac{\sum (d_{i1} - \bar{d}_1)^2 + \sum (d_{i2} - \bar{d}_2)^2}{n - 1} \quad (2.36)$$

เปรียบเทียบค่า t_{BF}^* กับค่า t จากตารางการแจกแจง t ที่องศาอิสระ $n-2$ ถ้า $t_{BF}^* > t$ ตารางนี้จะปฏิเสธ H_0 ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าความแปรปรวนไม่คงที่

วิธีแก้ปัญหาค่า Heteroscedasticity

1. วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนัก (Weighted Least Square: WLS) เป็นเทคนิคที่ให้ความสำคัญหรือให้น้ำหนักแก่ข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน ดังนี้

$$W_{n \times n} = \begin{bmatrix} w_1 & & & 0 \\ & w_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & w_n \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

โดยที่ $w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$

และได้สมการในการประมาณค่าพารามิเตอร์เป็น $\hat{\beta}$

$$\hat{\beta} = (X W X)^{-1} X W Y \quad (2.38)$$

2. ทำการแปลงตัวแปรตาม Y เป็นตัวแปรใหม่ Y^λ โดยใช้วิธี Box-Cox ที่ได้กล่าวมาแล้ว ตามสมการ (2.28)

3) การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบความสัมพันธ์ ในขั้นต้นของการวิเคราะห์การถดถอยจะมีการกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งได้จากแผนภาพการกระจายของค่าสังเกตของตัวแปร เช่น กำหนดว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ซึ่งการกำหนดรูปแบบการถดถอยขั้นต้นอาจจะไม่เหมาะสมก็ได้ ดังนั้นควรต้องมีการตรวจสอบว่ารูปแบบที่กำหนดนั้นเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยการพล็อตค่ามาตรฐานของตัวเศษเหลือ (e_i) เป็นแกนนตั้ง กับค่าประมาณ \hat{Y}_i เป็นแกนนอน หากพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่า 0 ไม่มากนักและมีการเคลื่อนไหวในแนวนอนกับแกนนอน ดังรูปที่ 2.1 แสดงว่ารูปแบบเหมาะสมแล้ว

2.5.3.5 วิธีเลือกสมการที่ดีที่สุด (Selecting the Best Regression Equation)

1) การพิจารณาความเหมาะสมของสมการถดถอย ในการศึกษาการถดถอยของข้อมูลชุดใดก็ตาม สมการถดถอยจะดีมีประสิทธิภาพ ถ้ามีลักษณะดังนี้

1.1) มีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (R^2) สูงพอสมควร

1.2) มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย ($\hat{\beta}_i$) ต้องแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญที่

ระดับความเชื่อมั่นสูง

2) การเลือกตัวแปรอิสระ ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนั้นการใช้ตัวแปรอิสระหลาย ๆ ตัว บางครั้งทำให้เกิดความยุ่งยากทั้งในด้านการคำนวณ การนำไปใช้ประโยชน์ และยังทำให้เสียต้นทุนสูงอีกด้วย ทั้งนี้เพราะ ตัวแปรอิสระบางตัวที่ใส่เข้าไปในสมการอาจไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเลยก็ได้ ดังนั้น ในทางปฏิบัติ จึงหาทางขจัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสำคัญต่อ

ตัวแปรตามทั้งเสีย แล้วจัดลำดับตัวแปรอิสระตามความสำคัญ วิธีการจัดลำดับตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญต่อตัวแปรตามมีหลายวิธีด้วยกันในที่นี้จะเลือกใช้วิธีการเลือกตัวแปรอิสระแบบขั้นบันได

2.1) การเลือกรูปแบบการถดถอยแบบขั้นบันได (The Stepwise Regression Procedure) เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการถดถอยครั้งละหนึ่งตัวแปร ตัวแปรอิสระใดที่อยู่ในสมการแล้วจะต้องมีการทดสอบว่าตัวแปรนั้นยังมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y ขณะที่ตัวแปรอิสระอื่นอยู่ในสมการถดถอยหรือไม่ นั่นคือ ตัวแปรอิสระใดที่เข้าอยู่ในสมการถดถอยแล้วอาจถูกตัดออกได้ในภายหลัง สมมติว่า มีตัวแปรอิสระ 3 ตัว คือ X_1 , X_2 และ X_3 มีขั้นตอนการเพิ่มตัวแปรอิสระ ดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_i ทุกตัว (r_{Y_i}) และเลือกตัวแปรอิสระตัวแรกที่มีความสัมพันธ์กับ Y มากที่สุด ($\max(r_{Y_i})$) ใส่เข้าไปในสมการถดถอย เช่น เลือก X_1 เพราะ r_{Y_1} มีค่ามากที่สุด

ขั้นที่ 2 จากรูปแบบเต็ม $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$ ทำการทดสอบ $H_0: \beta_1 = 0$ กับ $H_1: \beta_1 \neq 0$ ด้วยการทดสอบ F ถ้ายอมรับ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_1 ไม่มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y และจะจบขั้นตอนการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการถดถอยเพียงเท่านี้และถือว่าไม่มีตัวแปรอิสระใดมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y แต่ถ้าปฏิเสธ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_1 มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y จึงเลือกตัวแปรอิสระ X_1 เข้าอยู่ในสมการและจะทำขั้นตอนที่ 3 ต่อไปเพื่อหาตัวแปรอิสระใหม่เข้าในสมการถดถอย

ขั้นที่ 3 เลือกตัวแปรอิสระตัวต่อไปที่ให้ค่าสหสัมพันธ์บางส่วน ($r_{Y_{i.1}}$) มากที่สุด สำหรับ $i = 2, 3$ นั่นคือเลือกตัวแปรอิสระ X_i ที่ให้ $\max(r_{Y_{i.1}})$ เช่น เลือก X_3 เข้าสมการถดถอย เพราะ $r_{Y_{3.1}}$ มีค่ามากที่สุด

ขั้นที่ 4 จากรูปแบบเต็ม $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$ ทำการทดสอบ $H_0: \beta_3 = 0$ กับ $H_1: \beta_3 \neq 0$ ด้วยการทดสอบ F บางส่วน ถ้ายอมรับ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_3 ที่เลือกเข้ามาในสมการใหม่ไม่มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y เมื่อมีตัวแปรอิสระ X_1 อยู่ในสมการ ก็จะเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระ X_1 เข้าสมการถดถอยและจบขั้นตอนการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการถดถอยเพียงเท่านี้ แต่ถ้าปฏิเสธ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_3 มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y เมื่อมีตัวแปรอิสระ X_1 อยู่ในสมการถดถอยแล้ว จากนั้นทำการทดสอบ $H_0: \beta_1 = 0$ กับ $H_1: \beta_1 \neq 0$ อีกครั้งด้วยการทดสอบ F บางส่วน เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรอิสระ X_1 นี้มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y หรือไม่ เมื่อมีตัวแปรอิสระ X_3 อยู่ในสมการถดถอยด้วย โดยถ้ายอมรับ H_0 หมายความว่า จะตัด

X_1 ออกจากรูปแบบการถดถอยแต่ถ้าปฏิเสธ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_1 ยังคงมีส่วนช่วยในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระ X_3 อยู่ในสมการถดถอยด้วย

ขั้นที่ 5 นำตัวแปรอิสระตัวสุดท้าย คือ X_2 เข้าสมการ ดังนั้นรูปแบบเต็ม คือ

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$ ทำการทดสอบ $H_0: \beta_2 = 0$ กับ $H_1: \beta_2 \neq 0$ ด้วยการทดสอบ F บางส่วน ถ้ายอมรับ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_2 ไม่มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y เมื่อมีตัวแปรอิสระ X_1 และ X_3 อยู่ในสมการถดถอย ก็จะเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระ X_1 และ X_3 เท่านั้นเข้าสมการถดถอยในกรณีที่ X_1 อยู่ในสมการถดถอยได้ตามขั้นตอนที่ 4 และจบขั้นตอนการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการการถดถอยเพียงเท่านี้ แต่ถ้าปฏิเสธ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_2 ยังคงอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรอิสระทั้ง X_1 และ X_3 อยู่ในสมการถดถอยแล้ว จึงเลือกตัวแปรอิสระ X_2 เข้าสมการถดถอย จากนั้นทำการทดสอบ $H_0: \beta_1 = 0$ กับ $H_1: \beta_1 \neq 0$ อีกครั้งด้วยการทดสอบ F บางส่วน เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรอิสระ X_1 จะยังมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y หรือไม่ เมื่อมี X_2 และ X_3 อยู่ในสมการแล้วโดยถ้ายอมรับ H_0 หมายความว่า จะตัด X_1 ออกจากสมการ แต่ถ้าปฏิเสธ H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระ X_1 ยังคงอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรอิสระทั้ง X_2 และ X_3 อยู่ในสมการถดถอยแล้ว จึงเลือกตัวแปรอิสระ X_1 เข้าสมการถดถอย และทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_3 = 0$ กับ $H_1: \beta_3 \neq 0$ อีกครั้งด้วยการทดสอบ F บางส่วน เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรอิสระ X_3 จะยังมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y หรือไม่ เมื่อมี X_1 และ X_2 อยู่ในสมการถดถอยแล้ว โดยถ้ายอมรับ H_0 หมายความว่า จะตัด X_3 ออกจากสมการ แต่ถ้าปฏิเสธ H_0 หมายความว่า X_3 ยังคงอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม Y ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรอิสระทั้ง X_1 และ X_2 อยู่ในสมการถดถอยแล้ว จึงเลือกตัวแปรอิสระ X_3 เข้าสมการถดถอย ดังนั้นรูปแบบการถดถอยที่เหมาะสม คือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

และการพิจารณาเลือกรูปแบบการถดถอยแบบขั้นบันได สำหรับกรณีตัวแปรอิสระมากกว่า 3 ตัวแปร จะทำได้ในทำนองเดียวกัน โดยเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการได้ครั้งละหนึ่งตัวแปร ตัวแปรอิสระใดที่เข้ามาอยู่ในสมการแล้วจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่งว่าอยู่ในสมการถดถอยพร้อมกับตัวแปรอิสระตัวอื่นที่เข้ามาใหม่ได้หรือไม่ ซึ่งตัวแปรอิสระที่เข้ามาในสมการก่อนอาจมีสิทธิถูกตัดออกจากสมการได้

2.6 การหาค่าความถูกต้องและการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

2.6.1 การหาค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

2.6.1.1 หาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือ (Mean Absolute Deviation : MAD) เป็นการวัดความถูกต้องที่วัดจากค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์โดยไม่คำนึงถึงทิศทางของค่าตัวเศษเหลือ จะเป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่า ค่าพยากรณ์แตกต่างจากค่าจริงโดยเฉลี่ยเท่าไร MAD มีหน่วยวัดเหมือนค่าสังเกตและหาได้จากสมการ (วิชิต หล่อจ๊ะระชุมห์กุล. 2537)

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (2.39)$$

เมื่อ Y คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดขึ้นจริง
 \hat{Y} คือ ค่าพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด
 i คือ วันที่ทำการพยากรณ์, $i=1,2,\dots,n$
 n คือ จำนวนวันที่ทำการพยากรณ์

2.6.1.2 หาค่ากำลังสองเฉลี่ย ค่ากำลังสองเฉลี่ยของค่าตัวเศษเหลือ (Mean Square Error : MSE) เป็นการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์จากค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ (sum square error : SSE) โดยที่

$$\text{SSE} = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

ซึ่งค่า MSE หาได้จากสมการ (วิชิต หล่อจ๊ะระชุมห์กุล. 2537)

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i)^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (2.40)$$

เมื่อ Y คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดขึ้นจริง
 \hat{Y} คือ ค่าพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด

i คือ วันที่ทำการพยากรณ์, $i=1,2,\dots,n$

n คือ จำนวนวันที่ทำการพยากรณ์

2.6.2 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

2.6.2.1 การเปรียบเทียบค่า MSE

การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ จะพิจารณาจากค่า MSE วิธีพยากรณ์ ให้ค่า MSE ต่ำกว่าจะถือว่ามีความถูกต้องมากกว่าวิธีพยากรณ์ที่ให้ค่า MSE สูงกว่า

2.6.2.2 ทดสอบโดยใช้ Sign Test (Siegel and Castellan. 1956 :80-84)

Sign Test เป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างของค่าพยากรณ์ที่ได้จากการพยากรณ์ 2 วิธี เพื่อเปรียบเทียบว่าการพยากรณ์จากวิธีไหนให้ค่าความถูกต้องมากกว่า โดยการทดสอบความแตกต่างจะนับจำนวนเครื่องหมายบวกและลบตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของค่าพยากรณ์ เช่น จะมีการเปรียบเทียบการพยากรณ์ด้วยวิธีที่ i และวิธีที่ j จะบันทึกเครื่องหมาย + เมื่อค่าสัมบูรณ์ของค่าพยากรณ์ด้วยวิธีที่ i มีค่ามากกว่าค่าสัมบูรณ์ของค่าพยากรณ์จากวิธีที่ j ตรงกันข้าม จะบันทึกเครื่องหมายเป็น - เมื่อค่าสัมบูรณ์ของค่าพยากรณ์ด้วยวิธีที่ i มีค่าน้อยกว่าค่าสัมบูรณ์ของค่าพยากรณ์จากวิธีที่ j

ถ้าให้ d = ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ ด้วยวิธีที่ i น้อยกว่าค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ ด้วยวิธีที่ j สมมติฐาน คือ

$$H_0 : d = \frac{1}{2}$$

$$H_1 : d > \frac{1}{2}$$

สถิติทดสอบคือ (Siegel and Castellan. 1956 :80-84)

$$Z = \frac{2n_1 - n}{\sqrt{n}} \quad (2.41)$$

เมื่อ n_1 = จำนวนครั้งที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ ด้วยวิธีที่ i น้อยกว่าค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการ

พยากรณ์ ด้วยวิธีที่ j

$n =$ จำนวนครั้งทั้งหมดที่ทำการพยากรณ์

การปฏิเสธ H_0 จะหมายถึงการพยากรณ์ด้วยวิธีที่ i ให้ค่าความถูกต้องมากกว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีที่ j

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Attri, Pandya และDubey (1994) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงฤดูหนาวของเมือง Gangtok อินเดีย ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ โดยมีตัวแปรอิสระคือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง จำนวนเมฆในท้องฟ้า อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่บันทึกไว้ ในเวลา 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์ ตัวแปรตามคืออุณหภูมิต่ำสุดในวันถัดไปจากวันที่ทำการพยากรณ์ 1 วัน ทำการศึกษาระยะเวลา 5 เดือน คือ พฤศจิกายน ถึง มีนาคม เดือนละ 1 ตัวแบบ และตัวแบบรวมทั้ง 5 เดือนใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 1969 ถึง 1992 ในการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแบบ และใช้ข้อมูลปี 1993 ถึง 1994 ในการพยากรณ์และเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จริง ผลปรากฏว่าค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบในแต่ละเดือนมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับตัวแบบของแต่ละเดือน คือเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม, กุมภาพันธ์และ มีนาคม เป็น 1.05, 1.13, 1.33, 0.85 และ 0.93 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนตัวแบบรวมทั้ง 5 เดือน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดจริงของเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม, กุมภาพันธ์ และ มีนาคม เป็น 1.06, 1.15, 1.34, 0.86 และ 0.93 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าตัวแบบรวมทั้ง 5 เดือน กับตัวแบบรายเดือนให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพยากรณ์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้นจึงใช้ตัวแบบรวม ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นข้อมูลสารประกอบอนุกรมวิธานที่ตรวจวัดได้ที่สถานีอนุกรมวิธานจังหวัดเชียงใหม่ และสถานีอนุกรมวิธานจังหวัดเลย ซึ่งเป็นข้อมูลประเภททุติยภูมิ ที่เก็บรวบรวมโดยกรมอนุกรมวิธาน กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยใช้ข้อมูลเฉพาะในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทยเท่านั้น คือข้อมูลในเดือน พฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ ของปี พ.ศ. 2537 ถึงปี พ.ศ. 2548 แบ่งเป็นข้อมูล 2 ลักษณะ คือ

3.1.1 ข้อมูลสารประกอบอนุกรมวิธานราย 3 ชั่วโมง ที่ทำการตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลทุก 3 ชั่วโมงคือ เวลา 13.00 , 16.00 , 19.00 และ 22.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน และข้อมูลสารประกอบอนุกรมวิธานที่ทำการตรวจวัดในเวลา 01.00, 04.00, 07.00 และ 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์ ได้แก่

- 1) อุณหภูมิอากาศ
- 2.) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง
- 3) ความชื้นสัมพัทธ์
- 4) ความกดอากาศ
- 5) ทิศนวิสัย
- 6) ความเร็วลมผิวพื้น
- 7) จำนวนเมฆในท้องฟ้า

3.1.2 ข้อมูลสารประกอบอนุกรมวิธานรายวัน ที่ทำการตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูล วันละ 1 ครั้ง ได้แก่

- 1) ความยาวนานของแสงอาทิตย์ ทำการตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลเวลา 19.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- 2) อุณหภูมิสูงสุด ทำการตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลเวลา 19.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- 3) อุณหภูมิต่ำสุด ทำการตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลเวลา 07.00 น. ของวันวันที่ทำการพยากรณ์

3.2 การกำหนดตัวแปรในการศึกษา

กำหนดให้ ทำการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันพรุ่งนี้ โดยดำเนินการพยากรณ์เมื่อเวลา 11.00 น. และทำการออกประกาศค่าพยากรณ์ในเวลา 12.00 น. ของวันนี้ ดังนั้นจึงกำหนดตัวแปรในการศึกษาจากข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องรวบรวมได้ในข้อ 3.1 ดังนี้

ตัวแปรอิสระ 59 ตัวแปร คือ

- X_1 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 13.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_2 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 16.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_3 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 19.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_4 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 22.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_5 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 01.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_6 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 04.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_7 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 07.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_8 = อุณหภูมิอากาศ เวลา 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_9 = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 13.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{10} = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 16.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{11} = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 19.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{12} = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 22.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{13} = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 01.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{14} = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 04.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{15} = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 07.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{16} = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เวลา 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{17} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 13.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{18} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 16.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{19} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 19.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{20} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 22.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{21} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 01.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{22} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 04.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{23} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 07.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{24} = ความชื้นสัมพัทธ์ เวลา 10.00 น. ของวันที่ทำการพยากรณ์
- X_{25} = ความกดอากาศ เวลา 13.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{26} = ความกดอากาศ เวลา 16.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน
- X_{27} = ความกดอากาศ เวลา 19.00 น. ของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน

ตัวแปรตาม 1 ตัวแปร คือ

Y = อุณหภูมิต่ำสุดของวันพรุ่งนี้

3.3 แนวคิดในการสร้างตัวแบบ

ในการศึกษาจะทำการสร้างตัวแบบ ทั้งหมด 2 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ตัวแบบที่ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2537 ถึง กุมภาพันธ์ 2547 เฉพาะข้อมูลของเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์ เท่านั้นในการวิเคราะห์เพื่อสร้างตัวแบบ และใช้พยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด เดือนพฤศจิกายนและธันวาคม ปี พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2548

รูปแบบที่ 2 เป็นตัวแบบรูปแบบที่สร้างขึ้นจากการปรับปรุงตัวแบบรูปแบบที่ 1 โดยเพิ่ม (update) ข้อมูล ในเดือน พฤศจิกายน 2547 จากข้อมูลเดิมที่ใช้วิเคราะห์ในการสร้างตัวแบบรูปแบบที่ 1 คือ ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2537 ถึง พฤศจิกายน 2547 ในการวิเคราะห์เพื่อสร้างตัวแบบ ทั้งนี้เพื่อศึกษาว่า ถ้ามีการปรับปรุงตัวแบบทุก 1 เดือน จะมีผลให้ค่าพยากรณ์มีความถูกต้องมากขึ้นหรือไม่ และจะใช้พยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด เดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2548

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบ

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS/PC⁺ for Windows (Statistical Package for the Social Science/Personal Computer Plus for Windows) ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบ ทั้งตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่ และตัวแบบของจังหวัดเลย มีขั้นตอนเหมือนกัน ดังนี้

1) การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เพื่อจัดตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกัน มีขั้นตอนดังนี้

1.1) ทำการแปลงค่าสังเกต X_{ij} ให้เป็นค่ามาตรฐาน (standardized) Z_{ij} เนื่องจากตัวแปรแต่ละตัวมีหน่วยที่ไม่เหมือนกัน ตามสมการ (2.11)

1.2) สร้างเมตริกซ์สหสัมพันธ์ (Correlation Matrix, R) หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรจากค่ามาตรฐานที่ได้จาก ข้อ 1) โดยวิธีของ Pearson ตามสมการ (2.12) เราจะได้เมตริกซ์สหสัมพันธ์สำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด ดังนี้

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1s} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \cdots & r_{2s} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \cdots & r_{3s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{s1} & r_{s2} & r_{s3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (59 \times 59) \quad (3.1)$$

1.3) สกัดปัจจัย ทำการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading, \hat{l}_{ij}) ด้วยวิธี Principal Component ตามสมการสมการ (2.12) และพิจารณาว่าจะมีจำนวนปัจจัยร่วมกี่ปัจจัย แต่ละปัจจัยร่วมประกอบด้วยตัวแปรอะไรบ้าง โดยใช้หลักการพิจารณาตามหัวข้อ 2.5.1.2 หัวข้อย่อย 3.1)

1.4) หมุนแกนปัจจัย ถ้าพิจารณาจำนวนปัจจัยร่วมหรือจัดตัวแปรเข้าอยู่ในปัจจัยร่วมต่าง ๆ ไม่ได้ ตามข้อ 2) จะทำการหมุนแกนปัจจัย โดยวิธี Varimax หรือระบบการหมุนแกนไม่ฉาก (oblique rotation) เพราะในบางกรณีวิธีหนึ่งอาจใช้จัดกลุ่มตัวแปรได้ผลดีกว่าอีกวิธีหนึ่ง ถ้ามีการหมุนแกนปัจจัย จะได้ค่าประมาณน้ำหนักปัจจัยใหม่ที่เกิดจากการหมุนแกนปัจจัย ที่คำนวณโดยใช้สมการ (2.17) ซึ่งจะใช้ค่าประมาณน้ำหนักปัจจัยนี้ในการจัดกลุ่มตัวแปรให้เข้าอยู่ในปัจจัยต่าง ๆ ได้

1.5) การคำนวณค่าคะแนนปัจจัย (factor score) เมื่อจัดตัวแปรเข้าอยู่ในปัจจัยร่วมได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคำนวณหาคะแนนปัจจัยด้วยวิธี Regression Method ตามสมการ (2.25) คะแนนปัจจัยจะถือว่าเป็นตัวแทนของแต่ละปัจจัยและถือว่าเป็นตัวแปรใหม่ที่จะนำไปวิเคราะห์หาสมการสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ ต่อไป

2) สร้างตัวแบบโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple linear Regression Analysis) เมื่อได้คะแนนปัจจัย (factor score) ซึ่งเป็นตัวแปรใหม่ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยทั้งหมด m ตัวแปร ได้แก่ $F_{s_1}, F_{s_2}, F_{s_3}, \dots, F_{s_m}$ นำตัวแปรใหม่ที่ได้มาวิเคราะห์หาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุ โดยถือว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม (Y) มีขั้นตอนดังนี้

2.1) ประมาณค่าพารามิเตอร์ของการถดถอย

ประมาณค่าของ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) จากสมการ (2.29) คือ

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$$

โดย

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & Fs_{1_1} & Fs_{2_2} & \cdots & Fs_{m_1} \\ 1 & Fs_{1_1} & Fs_{2_2} & \cdots & Fs_{m_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & Fs_{1_n} & Fs_{2_n} & \cdots & Fs_{m_n} \end{bmatrix}$$

จะได้สมการสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งอาจมีรูปแบบ ดังนี้

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1(Fs_1) + \hat{\beta}_2(Fs_2) + \dots + \hat{\beta}_m(Fs_m) \quad (3.2)$$

เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$

n = จำนวนวันในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด

2.2) นำตัวแบบที่ได้ในข้อ 1 มาพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนและ ธันวาคม ปี พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2548

2.3) หาตัวค่าเศษเหลือ (e_i) ของการพยากรณ์ นำค่าพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากข้อ 2) มาหาค่าตัวเศษเหลือจากสมการ

$$e_i = Y - \hat{Y} \quad (3.3)$$

เมื่อ Y คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดขึ้นจริง

\hat{Y} คือ ค่าพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด

2.4) ตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อน (assumption) และแก้ปัญหาของการวิเคราะห์การถดถอย ดังนี้

2.4.1) ทดสอบความเป็นปกติ (Tests of normality)

1. โดยการพล็อตกราฟแบบ NPP

2. โดยการทดสอบของ Kolmogorov – Smirnov ตามสมการ (2.32)

2.4.2) ตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (heteroscedasticity)

1. โดยการพล็อตกราฟระหว่าง ค่ามาตรฐานของตัวเศษเหลือ (e_i) กับค่าประมาณ \hat{Y}_i ถ้าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ กราฟที่ได้จะต้องแตกต่างจาก 0 ไม่มากนัก และมีความเคลื่อนไหวอยู่ในแนวขนานกับแกน X

2. โดยใช้ Brown-Forcethe Test ตามสมการ (2.35)

2.4.3) ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบความสัมพันธ์ โดยการพล็อตกราฟระหว่าง ค่ามาตรฐานของตัวเศษเหลือ (e_i) กับค่าประมาณ \hat{Y}_i และดูแนวโน้มจากกราฟ ถ้ารูปแบบเหมาะสมค่าความคลาดเคลื่อนจะต้องเคลื่อนไหวขนานกับแกน X

3.5 คำนวณค่าความถูกต้องและการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

3.5.1 การหาค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

นำสมการ รูปแบบที่ 1 ที่สร้างขึ้นมาพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ตั้งแต่วันที่ 2 พฤศจิกายน 2547 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เป็นรายวัน และรูปแบบที่ 2 พยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2547 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เป็นรายวัน ส่วนการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของการพยากรณ์ด้วยวิธีใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ จะนำค่าพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดที่ออกประกาศโดยกรมอุตุนิยมวิทยาในเวลา 12.00 น. ทุกวัน ซึ่งเก็บรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา มาหาค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ

1. หาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ (MAD) มีขั้นตอนดังนี้

1.1) หาค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์โดยใช้สมการ (3.3) เป็นรายวัน

1.2) หาค่า MAD ของการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของสมการแต่ละรูปแบบ แยกแต่ละเดือน ตามสมการ (2.39)

2. หาค่ากำลังสองเฉลี่ยของค่าตัวเศษเหลือ (MSE) มีขั้นตอนดังนี้

2.1) หาค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์โดยใช้สมการ (3.3) เป็นรายวัน

2.2) หาค่า MSE ของการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของสมการแต่ละรูปแบบ แยกแต่ละเดือน ตามสมการ (2.40)

3.5.2 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ จะทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง 2 วิธี คือ

1. เปรียบเทียบค่า MSE มีขั้นตอนดังนี้

1.1) นำค่า MSE ของการพยากรณ์แต่ละวิธีมาเปรียบเทียบเป็นรายเดือนและค่าเฉลี่ยของค่า MSE ทุกเดือนที่ทำการพยากรณ์ ถ้าค่า MSE ของการพยากรณ์วิธีที่ i มีค่าน้อยกว่าค่า MSE ของการพยากรณ์วิธีที่ j จะถือว่าการพยากรณ์วิธีที่ i ให้ค่าพยากรณ์ได้ถูกต้องมากกว่าการพยากรณ์วิธีที่ j

2. การทดสอบตามวิธี Sign Test

จะทดสอบค่าความแตกต่างของความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดแต่ละวิธี 3 ลักษณะ คือ

1) ทดสอบค่าความแตกต่างของความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 1 กับ รูปแบบที่ 2

2) ทดสอบค่าความแตกต่างของความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 1 กับวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์

3) ทดสอบค่าความแตกต่างของความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 2 กับวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์

การทดสอบความแตกต่างของความถูกต้องในการพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์สองวิธี จะใช้การทดสอบตามวิธี Sign Test มีขั้นตอนดังนี้

1) หาค่าตัวเศษเหลือของค่าพยากรณ์จากการพยากรณ์ทั้งสองแบบเป็นรายวัน

2) หาค่าตัวสมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของค่าพยากรณ์จากการพยากรณ์ทั้งสองแบบ

3) นับจำนวนครั้งที่ค่าสมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ด้วยวิธีที่ i น้อยกว่าค่าสมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ ด้วยวิธีที่ j

4) หาค่าสัดส่วนของจำนวนครั้งที่ค่าสมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ ด้วยวิธีที่ i น้อยกว่าค่าสมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือของการพยากรณ์ด้วยวิธีที่ j โดยหารจำนวนครั้งที่ได้ใน

ข้อ 3) ด้วยจำนวนครั้งที่ทำการพยากรณ์ทั้งหมด

5) ดำเนินการตามหัวข้อ 2.6.2.2

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบรูปแบบที่ 1

4.1.1.1 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

1) ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading, ℓ_{ij}) ทำการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัยโดยวิธี Principal Component และหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 1

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{19}	0.874	0.211		0.297	0.241				
Z_{20}	0.868		-0.211	0.349					
Z_{12}	0.865		-0.239	0.242					
Z_{11}	0.86		0.388	0.349					
Z_{21}	0.855			0.31					
Z_{16}	0.84			0.319					
Z_{13}	0.836		-0.319	0.364				-0.222	
Z_{10}	0.83		-0.314	0.358	0.235				
Z_{17}	0.813				0.387				
Z_9	0.81		-0.313	0.363				-0.218	
Z_{14}	0.809		-0.388	0.363				-0.284	
Z_{24}	0.808		0.353	0.2					
Z_{22}	0.802		-0.404					-0.245	
Z_{15}	0.782		-0.49		0.211			-0.222	
Z_{18}	0.770				0.493		0.21		

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{23}	0.756		-0.266						
Z_{29}		0.969					0.285		
Z_{30}		0.966				-0.271			0.287
Z_{31}		0.961							-0.251
Z_{28}		0.955							
Z_{32}		0.944					0.257		
Z_{27}		0.939					0.269		
Z_{26}		0.935							-0.304
Z_{25}		0.931				0.221	0.264		-0.34
Z_4		-0.26	0.877			0.31	0.26	-0.223	-0.352
Z_3		-0.248	0.838					-0.288	-0.227
Z_5			0.838		0.221			-0.212	
Z_8			0.834	0.219			-0.252	-0.21	
Z_6		0.279	0.775		0.251			-0.322	-0.311
Z_1			0.736		-0.33			-0.235	
Z_{59}		0.525	0.714		0.267		0.252	-0.268	-0.31
Z_7		0.205	0.711		0.275				
Z_{58}			0.638		-0.382				
Z_2	-0.286	-0.467	0.609		-0.455				
Z_{50}				0.848					
Z_{51}				0.816					
Z_{49}				0.809					
Z_{57}				-0.778			0.303		
Z_{52}				0.728			0.342		
Z_{53}	0.225			0.614					
Z_{37}					0.896				

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z ₃₆	0.217				0.892	0.201			
Z ₃₅					0.879				
Z ₃₈					0.87				
Z ₃₄	0.285				0.827				
Z ₃₃	-0.312				0.815				
Z ₃₉	0.206				0.751				
Z ₄₀	0.226				0.744	0.202			
Z ₄₆						0.761			
Z ₄₇						0.717			
Z ₄₈					0.296	0.582			0.218
Z ₄₅						0.578		0.368	
Z ₅₆	0.275				0.415		0.673		
Z ₅₅	0.217				0.477		0.653		
Z ₅₄	0.224				0.455	0.239	0.579		
Z ₄₃			0.237					0.692	
Z ₄₄						0.202		0.676	
Z ₄₂			0.206					0.259	0.76
Z ₄₁		0.201							0.741
eigenvalue	17.784	12.409	6.375	4.761	3.074	1.361	1.302	1.105	1.035
สัดส่วนของ ความ ผันแปรรวม สะสม	30.142	51.173	61.987	70.074	75.257	77.564	79.770	81.643	83.397

จากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยเมื่อทำการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax แล้ว พบว่า สามารถสกัดปัจจัยได้ปัจจัยที่สำคัญ 9 ปัจจัย เนื่องจาก ปัจจัยร่วมที่มีค่า eigenvalues ที่มากกว่า 1 อยู่ 9 ปัจจัย และมีค่าสัดส่วนของความผันแปรรวมสะสม 83.397 หมายความว่า ปัจจัยร่วมทั้ง 9 ควบคุมความผันผวนของตัวแปรทั้ง 59 ตัว ได้ 83.397 % และจัดตัวแปรเข้าตามปัจจัย

ร่วมต่าง ๆ โดยถ้าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใดมีค่าสูงเข้าใกล้ +1 หรือ -1 ในปัจจัยร่วมใด ส่วนในปัจจัยร่วมอื่นถ้าน้ำหนักปัจจัยมีค่าต่ำ ก็จะจัดตัวแปรเข้าในปัจจัยร่วมที่มีถ้าน้ำหนักปัจจัยสูงนั้น ซึ่งสามารถจัดได้ดังนี้ ปัจจัยร่วมที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16}, Z_{17}, Z_{18}, Z_{19}, Z_{20}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}$, และ Z_{24} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.756 ถึง 0.874 ปัจจัยร่วมที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{25}, Z_{26}, Z_{27}, Z_{28}, Z_{29}, Z_{30}, Z_{31}$ และ Z_{32} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.931 ถึง 0.969 ปัจจัยร่วมที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_{58}$ และ Z_{59} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.609 ถึง 0.877 ปัจจัยร่วมที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{49}, Z_{53}, Z_{54}, Z_{55}, Z_{56}$ และ Z_{57} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.614 ถึง 0.848 ปัจจัยร่วมที่ 5 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{33}, Z_{34}, Z_{35}, Z_{36}, Z_{37}, Z_{38}, Z_{39}$ และ Z_{40} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.744 ถึง 0.896 ปัจจัยร่วมที่ 6 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{41}, Z_{42}, Z_{43} และ Z_{44} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.578 ถึง 0.761 ปัจจัยร่วมที่ 7 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{50}, Z_{51} และ Z_{52} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.579, 653 และ 0.673 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 8 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{47} และ Z_{48} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.676 และ 0.692 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 9 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{45} และ Z_{46} ซึ่งมีถ้าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.741 และ 0.760 ตามลำดับ

2) ผลการหาสมการสำหรับคำนวณค่าคะแนนปัจจัย (factor score) ด้วยวิธี Regression Method ได้ผลดังนี้

กำหนดให้ $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8$ และ F_9 คือ ค่าคะแนนปัจจัยของปัจจัยที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ ปัจจัยที่ 9 ตามลำดับ

$$F_1 = 0.086Z_9 + 0.079Z_{10} + 0.081Z_{11} + 0.077Z_{12} + 0.068Z_{13} + 0.06Z_{14} + 0.054Z_{15} + 0.076Z_{16} + 0.088Z_{17} + 0.067Z_{18} + 0.094Z_{19} + 0.098Z_{20} + 0.101Z_{21} + 0.092Z_{22} + 0.095Z_{23} + 0.102Z_{24} \quad (4.1)$$

$$F_2 = 0.140Z_{25} + 0.135Z_{26} + 0.135Z_{27} + 0.142Z_{28} + 0.149Z_{29} + 0.151Z_{30} + 0.152Z_{31} + 0.146Z_{32} \quad (4.2)$$

$$F_3 = 0.129Z_1 + 0.108Z_2 + 0.138Z_3 + 0.141Z_4 + 0.118Z_5 + 0.095Z_6 + 0.180Z_7 + 0.143Z_8 + 0.113Z_{58} + 0.080Z_{59} \quad (4.3)$$

$$F_4 = 0.249Z_{49} + 0.274Z_{50} + 0.246Z_{51} + 0.160Z_{52} + 0.07Z_{53} - 0.214Z_{57} \quad (4.4)$$

$$F_5 = 0.153Z_{33} + 0.155Z_{34} + 0.165Z_{35} + 0.161Z_{36} + 0.163Z_{37} + 0.156Z_{38} \\ + 0.136Z_{39} + 0.128Z_{40} \quad (4.5)$$

$$F_6 = 0.265Z_{45} + 0.408Z_{46} + 0.378Z_{47} + 0.282Z_{48} \quad (4.6)$$

$$F_7 = 0.314Z_{54} + 0.391Z_{55} + 0.423Z_{56} \quad (4.7)$$

$$F_8 = 0.533Z_{43} + 0.503Z_{44} \quad (4.8)$$

$$F_9 = 0.575Z_{41} + 0.596Z_{42} \quad (4.9)$$

4.1.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Multiple Regression Analysis) เมื่อได้สมการคำนวณคะแนนปัจจัย(factor score) แล้วนำสมการที่หาได้ไปคำนวณหาค่าคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัย ของข้อมูล ตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2537 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2547 ซึ่งคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ถือว่าเป็นตัวแปรอิสระใหม่ 9 ตัวแปร และนำมาวิเคราะห์หาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดประมาณค่าพารามิเตอร์ของการถดถอย ประมาณค่าของ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) และเลือกสมการที่ดีที่สุดด้วยวิธีการเลือกรูปแบบการถดถอยแบบขั้นบันได (The Stepwise Regression Procedure) ได้สมการดังนี้

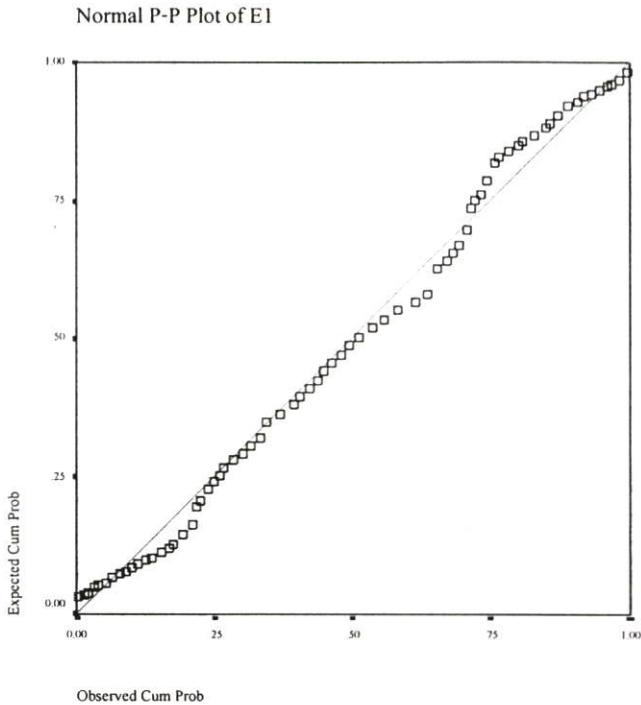
$$\hat{Y} = 16.645 + 1.559F_1 - 0.613F_2 + 1.83F_3 + 0.622F_4 + 0.324F_5 \\ + 0.252F_6 + 0.499F_7 - 0.116F_8 \quad (4.10)$$

และมีค่า $R^2 = 0.729$

4.1.1.3 ผลการตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อนำสมการ (4.10) ไปพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ตั้งแต่ 2 พฤศจิกายน 2547 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2548 และตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อนได้ผลดังนี้

1) ผลการตรวจสอบค่าความปกติของค่าความคลาดเคลื่อน

1.1) ผลการพล็อตกราฟ NPP



รูปที่ 4.1 กราฟ NPP ของค่าตัวเศษเหลือของสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 1

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟที่พล็อตค่าตัวเศษเหลือ(e_i) กับ $E(e_i)$ ผลการพล็อตกราฟจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ

1.2) ผลการทดสอบของ Kolmogorov – Smirnov ได้ผลดังนี้

สมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ

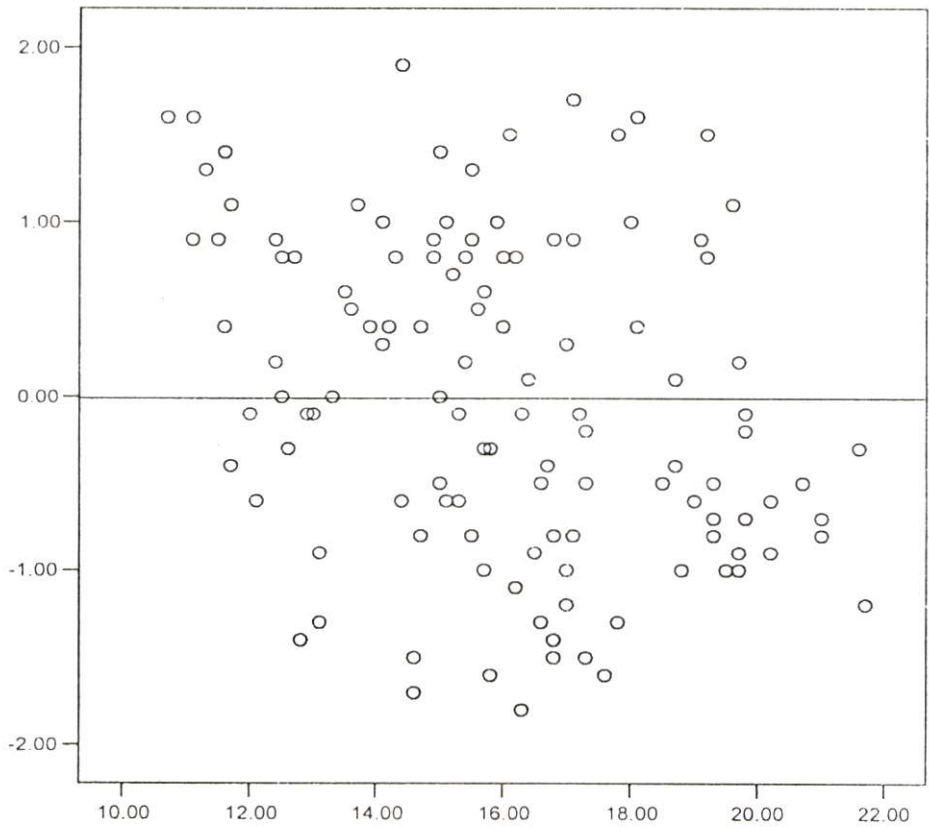
$$D = \text{Max} \left\{ \left| S(e) - F(e) \right| \right\} = 0.0801$$

และจากตาราง K-S ที่ $n > 35$, $\alpha = .01$ จะได้ $D_{.01} = 0.1063$

ค่า $D = .0801$ มีค่าน้อยกว่า 0.1063 จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่

(heteroscedasticity)

2.1) ผลการพล็อตกราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือกับค่าประมาณของ Y (\hat{Y})residual (e_i)

รูปที่ 4.2 กราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือ (e) กับค่าประมาณของ Y (\hat{Y}) ของตัวแบบ จังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 1

จากกราฟพบว่าค่าตัวเศษเหลือมีค่าต่างจาก 0 ไม่มากนักและเคลื่อนไหวอยู่ในแนวขนานกับแกน X จึงถือได้ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

2.2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ โดย

วิธี Brown-Forcythe Test

สมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : \text{ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่}$$

$$H_1 : \text{ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่}$$

สถิติทดสอบ

$$t_{BF}^* = \frac{\bar{d}_1 - \bar{d}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 0.02188$$

และจากตารางที่ $\alpha = .05$ ค่า $t(.975, 116) = 1.96$ จะเห็นว่า
 ค่า $t_{BF}^* = 0.02188 < 1.96$ จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความ
 คลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

3) ผลตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบความสัมพันธ์ จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า
 ค่าตัวเศษเหลือมีค่าสูงหรือต่ำกว่า 0 ไม่มากนัก และมีการเคลื่อนไหวอยู่ในแนวนานกับแกนนอน
 แสดงว่ารูปแบบการถดถอยเหมาะสมแล้ว

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบ รูปแบบที่ 2

4.1.2.1 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

1) ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading, \hat{l}_{ij}) ทำการประมาณค่า
 น้ำหนักปัจจัยโดยวิธี Principal Component และหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 2

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{19}	0.876	0.211		0.297	0.241				
Z_{20}	0.873		-0.211	0.349					
Z_{21}	0.863		-0.239	0.242					
Z_{12}	0.86		0.388	0.349					
Z_{11}	0.855			0.31					
Z_{16}	0.836			0.319					
Z_{13}	0.831		-0.319	0.364				-0.222	
Z_{10}	0.826		-0.314	0.358	0.235				
Z_{17}	0.812				0.387				
Z_{22}	0.811		-0.313	0.363				-0.218	
Z_{24}	0.809		-0.388	0.363				-0.284	
Z_9	0.807		0.353	0.2					

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{14}	0.803		-0.404					-0.245	
Z_{15}	0.777		-0.49		0.211			-0.222	
Z_{18}	0.767				0.493		0.21		
Z_{23}	0.765		-0.266						
Z_{29}		0.968					0.285		
Z_{30}		0.967				-0.271			0.287
Z_{31}		0.962							-0.251
Z_{28}		0.954							
Z_{32}		0.944					0.257		
Z_{27}		0.938					0.269		
Z_{26}		0.933							-0.304
Z_{25}		0.93				0.221	0.264		-0.34
Z_4		-0.269	0.88			0.31	0.26	-0.223	-0.352
Z_3			0.836					-0.288	-0.227
Z_5			0.822		0.221			-0.212	
Z_8			0.822	0.211			-0.252	-0.21	
Z_6		0.279	0.753		0.251			-0.322	-0.311
Z_1			0.737		-0.33			-0.235	
Z_{59}		0.525	0.687		0.267		0.252	-0.268	-0.31
Z_7		0.205	0.685		0.275				
Z_{58}			0.639		-0.382				
Z_2	-0.286	-0.467	0.604		-0.455				
Z_{37}				0.896					
Z_{36}				0.892					
Z_{35}				0.878					
Z_{38}				0.87			0.303		
Z_{34}				0.827			0.342		

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{33}	0.225			0.813					
Z_{39}				0.749					
Z_{40}	0.217			0.74	0.236	0.201			
Z_{50}					0.846				
Z_{51}					0.81				
Z_{49}	0.285				0.808				
Z_{57}	-0.312				-0.78				
Z_{52}	0.206				0.713				
Z_{53}	0.226				0.605	0.214			
Z_{46}						0.761			
Z_{47}						0.726			
Z_{48}					0.296	0.581			
Z_{45}						0.57			
Z_{56}	0.275				0.415		0.68		
Z_{55}	0.217				0.477		0.662		
Z_{54}	0.224				0.455	0.239	0.587		
Z_{43}			0.237					0.772	
Z_{44}						0.202		0.698	
Z_{42}			0.206					0.234	0.773
Z_{41}		0.201							0.748
eigenvalue	17.819	12.420	6.330	4.776	3.060	1.361	1.300	1.111	1.035
สัดส่วนของ ความผันแปร รวมสะสม	30.202	51.253	61.982	70.076	75.263	77.570	79.774	81.656	83.411

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยเมื่อทำการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax แล้วพบว่า สามารถสกัดปัจจัยได้ปัจจัยที่สำคัญ 9 ปัจจัย เนื่องจาก ปัจจัยรวมที่มีค่า eigenvalues ที่

มากกว่า 1 อยู่ 9 ปัจจัย และมีค่าสัดส่วนของความผันแปรรวมสะสม 83.411 หมายความว่า ปัจจัยร่วมทั้ง 9 ควบคุมความผันผวนของตัวแปรทั้ง 59 ตัว ได้ 83.411 % และจัดตัวแปรเข้าตามปัจจัยร่วมต่าง ๆ โดยถ้าย่านน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใดมีค่าสูงเข้าใกล้ +1 หรือ -1 ในปัจจัยร่วมใด ส่วนในปัจจัยร่วมอื่นค่าน้ำหนักปัจจัยมีค่าต่ำ ก็จะจัดตัวแปรเข้าในปัจจัยร่วมที่มีค่าน้ำหนักปัจจัยสูงนั้น สามารถจัดได้ดังนี้ ปัจจัยร่วมที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16}, Z_{17}, Z_{18}, Z_{19}, Z_{20}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}$ และ Z_{24} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.765 ถึง 0.876 ปัจจัยร่วมที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{25}, Z_{26}, Z_{27}, Z_{28}, Z_{29}, Z_{30}, Z_{31}$ และ Z_{32} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.930 ถึง 0.968 ปัจจัยร่วมที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_{58}$ และ Z_{59} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.604 ถึง 0.880 ปัจจัยร่วมที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{49}, Z_{50}, Z_{51}, Z_{52}, Z_{53}$ และ Z_{57} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.740 ถึง 0.896 ปัจจัยร่วมที่ 5 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{33}, Z_{34}, Z_{35}, Z_{36}, Z_{37}, Z_{38}, Z_{39}$ และ Z_{40} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.605 ถึง 0.846 ปัจจัยร่วมที่ 6 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{45}, Z_{46}, Z_{47} และ Z_{48} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.570 ถึง 0.761 ปัจจัยร่วมที่ 7 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{54}, Z_{55} และ Z_{56} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.578, 662 และ 0.680 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 8 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{43} และ Z_{44} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.698 และ 0.772 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 9 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{41} และ Z_{42} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.773 และ 0.778 ตามลำดับ

2) ผลการหาสมการสำหรับคำนวณค่าคะแนนปัจจัย(factor score) ด้วยวิธี Regression Method ได้ผลดังนี้

กำหนดให้ $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8$ และ F_9 คือ ค่าคะแนนปัจจัยของปัจจัยที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ ปัจจัยที่ 9 ตามลำดับ

$$F_1 = 0.085Z_9 + 0.077Z_{10} + 0.079Z_{11} + 0.076Z_{12} + 0.067Z_{13} + 0.059Z_{14} + 0.053Z_{15} + 0.076Z_{16} + 0.088Z_{17} + 0.067Z_{18} + 0.094Z_{19} + 0.100Z_{20} + 0.104Z_{21} + 0.095Z_{22} + 0.097Z_{23} + 0.103Z_{24} \quad (4.11)$$

$$F_2 = 0.140Z_{25} + 0.135Z_{26} + 0.135Z_{27} + 0.142Z_{28} + 0.149Z_{29} + 0.147Z_{32} \quad (4.12)$$

$$F_3 = 0.127Z_1 + 0.107Z_2 + 0.138Z_3 + 0.142Z_4 + 0.118Z_5 + 0.096Z_6 + 0.081Z_7 + 0.143Z_8 + 0.112Z_{58} + 0.081Z_{59} \quad (4.13)$$

$$F_4 = 0.153Z_{33} + 0.157Z_{34} + 0.165Z_{35} + 0.162Z_{36} + 0.164Z_{37} \\ + 0.157Z_{38} + 0.135Z_{39} + 0.127Z_{40} \quad (4.14)$$

$$F_5 = 0.253Z_{49} + 0.279Z_{50} + 0.246Z_{51} + 0.153Z_{52} + 0.065Z_{53} - 0.219Z_{57} \quad (4.15)$$

$$F_6 = 0.259Z_{45} + 0.409Z_{46} + 0.388Z_{47} + 0.281Z_{48} \quad (4.16)$$

$$F_7 = 0.308Z_{54} + 0.388Z_{55} + 0.418Z_{56} \quad (4.17)$$

$$F_8 = 0.560Z_{43} + 0.518Z_{44} \quad (4.18)$$

$$F_9 = 0.581Z_{41} + 0.609Z_{42} \quad (4.19)$$

4.1.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Multiple Regression Analysis) เมื่อได้สมการคำนวณคะแนนปัจจัย (factor score) แล้วนำสมการที่หาได้ไปคำนวณหาค่าคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัย ของข้อมูลตัวแปรทุกวัน ตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2537 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2547 ซึ่งคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ถือว่าเป็นตัวแปรอิสระใหม่ 9 ตัวแปร และนำมาวิเคราะห์หาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดประมาณค่าพารามิเตอร์ของการถดถอย ประมาณค่าของ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) และเลือกสมการที่ดีที่สุดด้วยวิธีการเลือกรูปแบบการถดถอยแบบขั้นบันได (The Stepwise Regression Procedure) ได้สมการดังนี้

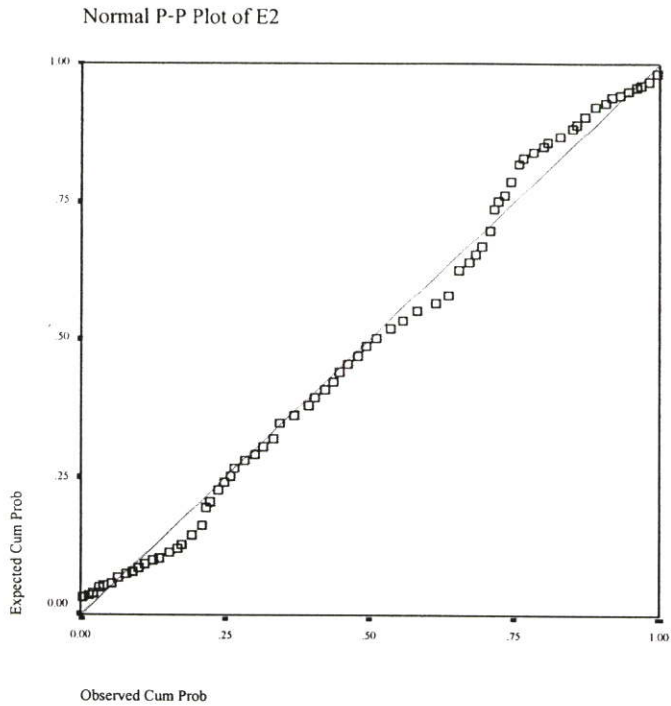
$$\hat{Y} = 16.704 + 1.548F_1 - 0.608F_2 + 1.846F_3 + 0.328F_4 + 0.559F_5 \\ + 0.246F_6 + 0.502F_7 - 0.123F_8 \quad (4.20)$$

มีค่า $R^2 = 0.732$

4.1.2.3 ผลการตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อนำสมการ (4.20) ไปพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ตั้งแต่ 1 ธันวาคม 2547 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2548 และตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อนได้ผลดังนี้

1) ผลการตรวจสอบค่าความปกติของค่าความคลาดเคลื่อน

1.1) ผลการพล็อตกราฟ NPP



รูปที่ 4.3 กราฟ NPP ของค่าตัวเศษเหลือของสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 2

รูปที่ 4.3 เป็นกราฟที่พล็อตค่าตัวเศษเหลือ(e_i) กับ $E(e_i)$ ผลการพล็อตกราฟจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ

1.2) ผลการทดสอบของ Kolmogorov – Smirnov ได้ผลดังนี้

สมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

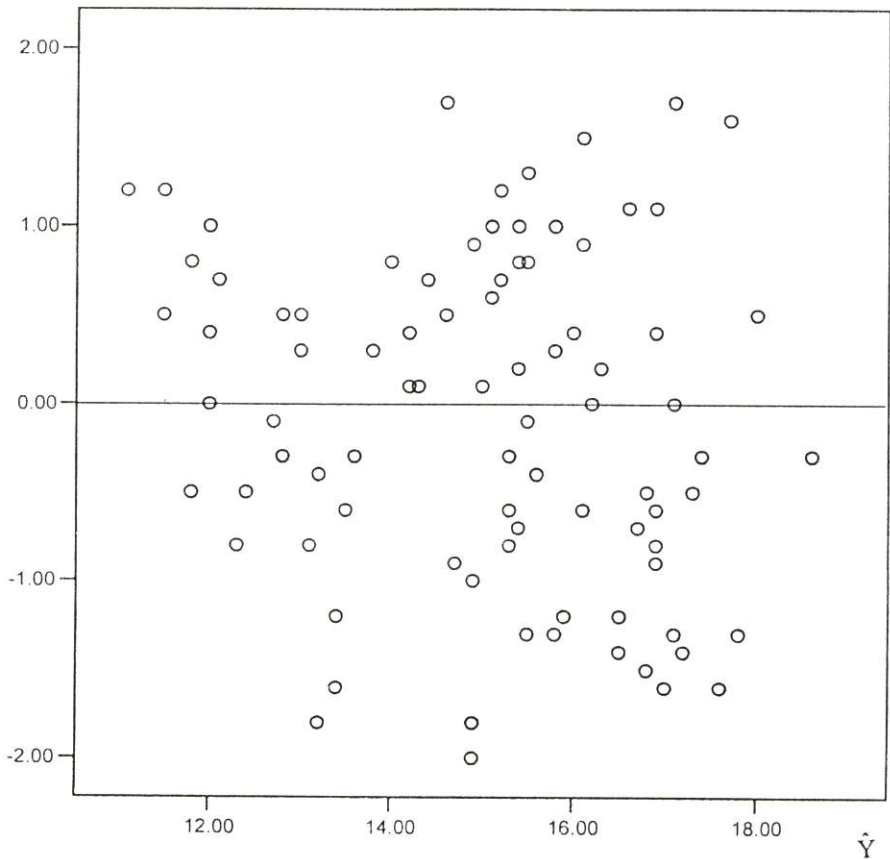
H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ

$$D = \text{Max} \{ |S(e) - F(e)| \} = 0.0785$$

และจากตาราง K-S ที่ $n > 35$, $\alpha = .01$ จะได้ $D_{.01} = 0.1063$ ค่า $D = .07852$ มีค่าน้อยกว่า 0.1063 จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (heteroscedasticity)

2.1) ผลการพล็อตกราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือกับค่าประมาณของ Y (\hat{Y})residual (e_i)

รูปที่ 4.4 กราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือ (e) กับค่าประมาณของ Y (\hat{Y}) ของตัวแบบ จังหวัดเชียงใหม่ รูปแบบที่ 2

จากกราฟพบว่าค่าตัวเศษเหลือมีค่าต่างจาก 0 ไม่มากนักและเคลื่อนไหวอยู่ในแนวขนานกับแกน X จึงถือได้ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

2.2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ โดย

วิธี Brown-Forcye Test

สมมติฐานของการทดสอบ

 H_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่ H_1 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่

สถิติทดสอบ

$$t_{BF}^* = \frac{\bar{d}_1 - \bar{d}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 0.02481$$

จากตารางที่ $\alpha = .05$ ค่า $t(.975, 87) = 1.96$ จะเห็นว่า ค่า $t_{BF}^* = 0.02481 < 1.96$ จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

3) ผลตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบความสัมพันธ์ จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าตัวเศษเหลือมีค่าสูงหรือต่ำกว่า 0 ไม่มากนัก และมีการเคลื่อนไหวอยู่ในแนวนานกับแกนนอน แสดงว่ารูปแบบการถดถอยเหมาะสมแล้ว

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเลย

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบ รูปแบบที่ 1

4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

1) ผลการประมาณค่านำหนักปัจจัย (factor loading, $\hat{\ell}_{ij}$) โดยวิธี Principal Component และหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการประมาณค่านำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเลย รูปแบบที่ 1

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_6	0.96	0.379		0.29	-0.487				
Z_{13}	0.958	0.33	-0.271	0.337	-0.486			-0.211	
Z_5	0.957	0.31		0.236	-0.532				
Z_{14}	0.953	0.352	-0.272	0.336	-0.474			-0.205	
Z_7	0.952	0.408		0.312	-0.476				
Z_{59}	0.951	0.38		0.302	-0.494				
Z_{12}	0.942	0.284	-0.3	0.355	-0.461			-0.261	
Z_{15}	0.941	0.363	-0.285	0.346	-0.467			-0.221	
Z_4	0.921		0.215	0.388	-0.638				
Z_9	0.891	0.3	-0.289	0.348	-0.443	5.555		0.264	
Z_{11}	0.891	0.251	-0.378	0.357	-0.401			-0.319	

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_8	0.862			0.231	-0.567				
Z_{10}	0.85	0.369	-0.384	0.39	-0.299			-0.295	
Z_{16}	0.812		-0.474	0.217	-0.581			-0.248	
Z_{57}		-0.837	0.228	-0.212					
Z_{53}	0.26	0.826		0.266			0.23		0.272
Z_{50}	0.313	0.819		0.309					
Z_{52}	0.272	0.805		0.217					0.207
Z_{51}	0.358	0.786							
Z_{54}	0.259	0.773		0.3			0.315		0.37
Z_{49}	0.273	0.76	-0.219	0.392					
Z_{18}	0.423	0.742	-0.546	0.449			0.231	-0.278	-0.203
Z_{55}	0.206	0.688		0.213			0.291		0.415
Z_{56}	0.246	0.684		0.259			0.294		0.352
Z_{17}	0.435	0.667	-0.54	0.41			0.231	-0.321	-0.239
Z_{21}			-0.889	0.273				-0.344	-0.238
Z_{22}			-0.875	0.229			-0.242	-0.263	-0.238
Z_{23}			-0.837				-0.308	-0.256	-0.237
Z_{20}	0.209	0.306	-0.831	0.405				-0.386	-0.258
Z_{24}			-0.793					-0.257	
Z_{19}	0.337	0.558	-0.721	0.465			0.23	-0.345	
Z_{36}	0.267	0.211	-0.215	0.937					
Z_{34}	0.214		-0.223	0.925					
Z_{35}	0.245		-0.223	0.924					
Z_{37}	0.253	0.261		0.915					
Z_{33}	0.234		-0.225	0.906					
Z_{38}	0.237	0.296		0.837					
Z_{40}	0.327	0.358		0.792			0.3		

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{39}	0.208	0.376		0.63			-0.34		0.212
Z_{28}	-0.542				0.987				
Z_{29}	-0.562				0.987				
Z_{27}	-0.512				0.982				
Z_{30}	-0.563				0.98				
Z_{26}	-0.509				0.979				
Z_{31}	-0.561				0.968				
Z_{25}	-0.568				0.963				
Z_{32}	-0.548				0.955				
Z_{58}	0.55	-0.475	0.36		-0.75				0.226
Z_3	0.703	-0.284	0.374		-0.746				
Z_2	0.491	-0.553	0.367		-0.729				0.208
Z_1	0.613	-0.407	0.34		-0.72			-0.218	0.233
Z_{45}						0.812		0.348	
Z_{43}						0.716		0.208	0.322
Z_{47}							0.687		
Z_{46}							0.545		0.344
Z_{48}			0.225			-0.371	0.485		
Z_{41}								0.808	
Z_{42}			0.21			0.23		0.76	
Z_{44}						0.307			0.62
eigenvalue	19.003	12.203	5.420	4.435	2.264	1.621	1.277	1.157	1.029
สัดส่วนของ ความผันแปร รวมสะสม	32.209	52.892	62.079	69.595	73.432	76.179	78.343	80.305	82.049

จากตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยเมื่อทำการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax แล้ว พบว่า สามารถสกัดปัจจัยได้ปัจจัยที่สำคัญ 9 ปัจจัย เนื่องจาก ปัจจัยร่วมที่มีค่า eigenvalues ที่มากกว่า 1 อยู่ 9 ปัจจัย และมีค่าสัดส่วนของความผันแปรรวมสะสม 82.094 หมายความว่า ปัจจัยร่วมทั้ง 9 ควบคุมความผันผวนของตัวแปรทั้ง 59 ตัว ได้ 82.094 % และจัดตัวแปรเข้าตามปัจจัยร่วมต่าง ๆ โดยถ้ำค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใดมีค่าสูงเข้าใกล้ +1 หรือ -1 ในปัจจัยร่วมใด ส่วนในปัจจัยร่วมอื่นค่าน้ำหนักปัจจัยมีค่าต่ำ ก็จะจัดตัวแปรเข้าในปัจจัยร่วมที่มีค่าน้ำหนักปัจจัยสูงนั้น สามารถจัดได้ดังนี้ ปัจจัยร่วมที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16}$ และ Z_{59} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.812 ถึง 0.960 ปัจจัยร่วมที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{17}, Z_{18}, Z_{49}, Z_{50}, Z_{51}, Z_{52}, Z_{53}, Z_{54}, Z_{55}, Z_{56}$ และ Z_{57} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.667 ถึง -0.837 ปัจจัยร่วมที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{19}, Z_{20}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}$ และ Z_{24} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง -0.721 ถึง -0.889 ปัจจัยร่วมที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{33}, Z_{34}, Z_{35}, Z_{36}, Z_{37}, Z_{38}, Z_{39}$ และ Z_{40} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.630 ถึง 0.937 ปัจจัยร่วมที่ 5 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_1, Z_2, Z_3, Z_{25}, Z_{26}, Z_{27}, Z_{28}, Z_{29}, Z_{30}, Z_{31}, Z_{32}$ และ Z_{58} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง -0.720 ถึง 0.987 ปัจจัยร่วมที่ 6 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{43} และ Z_{45} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.716 และ 0.812 ตามลำดับ ปัจจัยร่วมที่ 7 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{46}, Z_{47} และ Z_{48} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.485, 545 และ 0.808 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 8 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{41} และ Z_{42} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.760 และ 0.808 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 9 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{44} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.620

2) ผลการหาสมการสำหรับคำนวณค่าคะแนนปัจจัย (factor score) ด้วยวิธี

Regression Method ได้ผลดังนี้

กำหนดให้ $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8$ และ F_9 คือ ค่าคะแนนปัจจัยของปัจจัยที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ ปัจจัยที่ 9 ตามลำดับ

$$\begin{aligned}
 F_1 = & 0.079Z_4 + 0.082Z_5 + 0.079Z_6 + 0.073Z_7 + 0.078Z_8 + 0.067Z_9 + 0.07Z_{10} \\
 & + 0.071Z_{11} + 0.074Z_{12} + 0.074Z_{13} + 0.074Z_{14} + 0.07Z_{15} + 0.054Z_{16} \\
 & + 0.074Z_{59}
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

$$\begin{aligned}
 F_2 = & 0.056Z_{17} + 0.067Z_{18} + 0.112Z_{49} + 0.126Z_{50} + 0.129Z_{51} + 0.127Z_{52} \\
 & + 0.122Z_{53} + 0.099Z_{54} + 0.091Z_{55} + 0.075Z_{56} - 0.127Z_{57}
 \end{aligned} \tag{4.22}$$

$$F_3 = -0.099Z_{19} - 0.130Z_{20} - 0.164Z_{21} - 0.173Z_{22} - 0.064Z_{23} - 0.179Z_{24} \tag{4.23}$$

$$F_4 = 0.149Z_{33} + 0.158Z_{34} + 0.156Z_{35} + 0.155Z_{36} + 0.152Z_{37} + 0.141Z_{38} \\ + 0.095Z_{39} + 0.111Z_{40} \quad (4.24)$$

$$F_5 = 0.115Z_{25} + 0.118Z_{26} + 0.117Z_{27} + 0.119Z_{28} + 0.121Z_{29} + 0.122Z_{30} \\ + 0.123Z_{31} + 0.121Z_{32} - 0.022Z_1 - 0.030Z_2 - 0.022Z_3 - 0.030Z_{58} \quad (4.25)$$

$$F_6 = 0.411Z_{43} + 0.514Z_{45} \quad (4.26)$$

$$F_7 = 0.383Z_{46} + 0.512Z_{47} + 0.347Z_{48} \quad (4.27)$$

$$F_8 = 0.584Z_{41} + 0.513Z_{42} \quad (4.28)$$

$$F_9 = 0.475Z_{44} \quad (4.29)$$

4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Multiple Regression Analysis) เมื่อได้สมการคำนวณคะแนนปัจจัย(factor score) แล้ว นำสมการที่หาได้ไปคำนวณหาค่าคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัย ของข้อมูลตัวแปรทุกวัน ตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2537 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2547 ซึ่งคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ถือว่าเป็นตัวแปรอิสระใหม่ 9 ตัวแปร และนำมาวิเคราะห์หาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดประมาณค่าพารามิเตอร์ของการถดถอย ประมาณค่าของ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) และเลือกสมการที่ดีที่สุดด้วยวิธีการเลือกรูปแบบการถดถอยแบบขั้นบันได (The Stepwise Regression Procedure) ได้สมการดังนี้

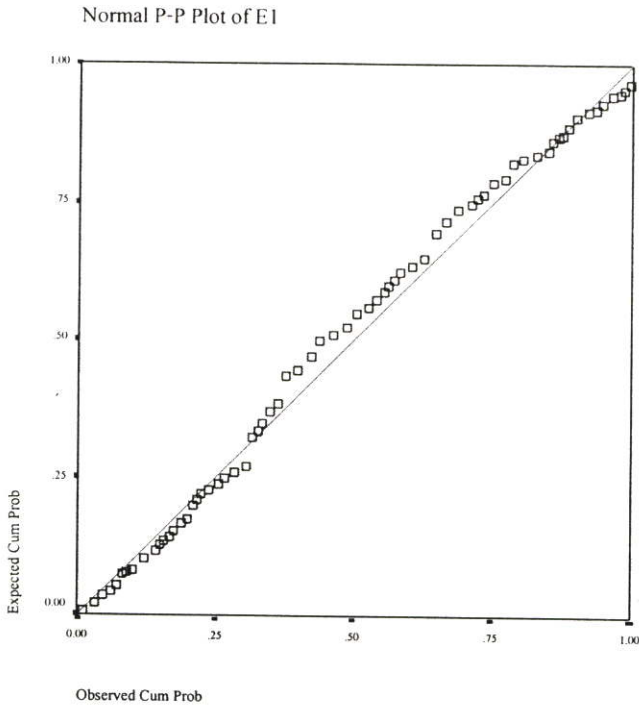
$$\hat{Y} = 16.57 + 2.376F_1 + 0.364F_2 - 0.371F_3 - 0.581F_5 \\ - 0.134F_6 - 0.152F_7 + 0.129F_9 \quad (4.30)$$

มีค่า $R^2 = 0.749$

4.2.1.3 ผลการตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อนำสมการ (4.30) ไปพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ตั้งแต่ 2 พฤศจิกายน 2547 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2548 และตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อนได้ผลดังนี้

1) ผลการตรวจสอบค่าความปกติของค่าความคลาดเคลื่อน

1.1) ผลการพล็อตกราฟ NPP



รูปที่ 4.5 กราฟ NPP ของค่าตัวเศษเหลือของสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเลย รูปแบบที่ 1

รูปที่ 4.5 เป็นกราฟที่พล็อตค่าตัวเศษเหลือ(e_i) กับ $E(e_i)$ ผลการพล็อตกราฟจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ

1.2) ผลการทดสอบของ Kolmogorov – Smirnov ได้ผลดังนี้

สมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ

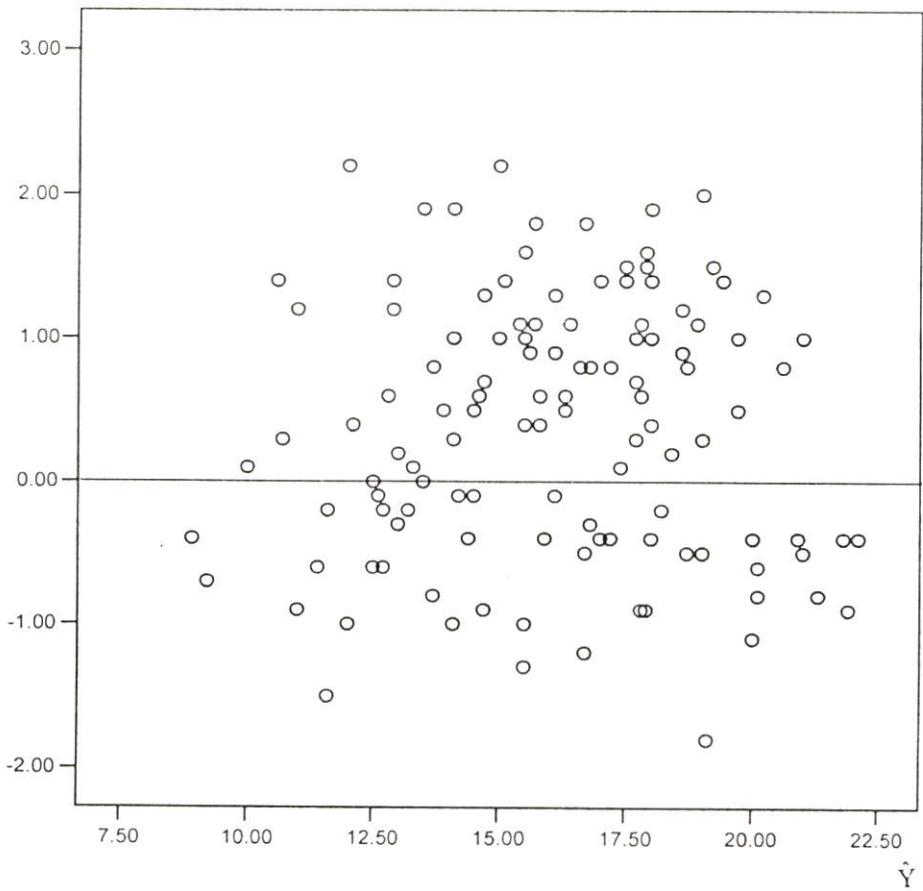
$$D = \text{Max} \{ |S(e) - F(e)| \} = 0.0985$$

และจากตาราง K-S ที่ $n > 35$, $\alpha = .01$ จะได้ $D_{.01} = 0.1063$ ค่า $D = .0985$ มีค่าน้อยกว่า 0.1063 จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน ไม่คงที่

(heteroscedasticity)

2.1) ผลการพล็อตกราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือกับค่าประมาณของ Y (\hat{Y})
residual (e)



รูปที่ 4.6 กราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือ (e) กับค่าประมาณของ Y (\hat{Y}) ของตัวแบบ
จังหวัดเลข รูปแบบที่ 1

จากกราฟพบว่าค่าตัวเศษเหลือมีค่าต่างจาก 0 ไม่มากนักและเคลื่อนไหวอยู่ในแนวขนาน
กับแกน X จึงถือได้ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

2.2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ โดย
วิธี Brown-Foreythe Test
สมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

H_1 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่

สถิติทดสอบ

$$t_{BF}^* = \frac{\bar{d}_1 - \bar{d}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 0.04213$$

และจากตาราง ที่ $\alpha = .05$ ค่า $t(.975, 116) = 1.96$ จะเห็นว่า ค่า $t_{BF}^* = 0.04213 < 1.96$ จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

3) ผลตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบความสัมพันธ์ จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าค่าตัวเศษเหลือมีค่าสูงหรือต่ำกว่า 0 ไม่มากนัก และมีการเคลื่อนไหวอยู่ในแนวนานกับแกนอน แสดงว่ารูปแบบการถดถอยเหมาะสมแล้ว

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบ รูปแบบที่ 2

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

1) ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading, \hat{l}_{ij}) ทำการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัยโดยวิธี Principal Component และหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบของจังหวัดเลย รูปแบบที่ 2

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_6	0.96	0.398		0.297	-0.48	5.555	5.555		5.555
Z_{13}	0.958	0.333	-0.298	0.349	-0.477				
Z_5	0.956	0.328		0.242	-0.527				
Z_{14}	0.953	0.358	-0.301	0.349	-0.466				
Z_7	0.952	0.396		0.31	-0.486				
Z_{59}	0.952	0.428		0.319	-0.469				
Z_{12}	0.942	0.282	-0.319	0.364	-0.456			-0.222	
Z_{15}	0.941	0.371	-0.314	0.358	-0.457				
Z_4	0.921				-0.635				
Z_{11}	0.891	0.29	-0.313	0.363	-0.436			-0.218	
Z_9	0.889	0.249	-0.388	0.363	-0.399			-0.284	
Z_8	0.862			0.243	-0.563				
Z_{10}	0.849	0.358	-0.404	0.399	-0.295			-0.245	

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{16}	0.81		-0.49	0.204	-0.575			-0.222	
Z_{57}	0.258	-0.847		0.258			0.21		
Z_{50}	0.272	0.827		0.215					
Z_{53}	0.254	0.813		0.289			0.285		
Z_{52}		0.796	0.256	-0.21		-0.271			0.287
Z_{51}	0.304	0.789		0.3					-0.251
Z_{49}	0.254	0.771							
Z_{18}	0.201	0.755		0.201			0.257		
Z_{54}	0.243	0.753		0.253			0.269		
Z_{17}	0.273	0.683	-0.246	0.384					-0.304
Z_{56}	0.427	0.671	-0.54	0.453		0.221	0.264		-0.34
Z_{55}	0.444	0.668		0.424		0.31	0.26	-0.223	-0.352
Z_{21}			-0.89	0.292				-0.288	-0.227
Z_{22}			-0.876					-0.212	
Z_{23}			-0.837	0.202			-0.252	-0.21	
Z_{20}	0.218	0.279	-0.831	0.416				-0.322	-0.311
Z_{24}			-0.79					-0.235	
Z_{19}	0.347	0.525	-0.72	0.473			0.252	-0.268	-0.31
Z_{36}	0.278	0.205	-0.233	0.938					
Z_{34}	0.254		-0.231	0.928					
Z_{35}	0.217		-0.224	0.926					
Z_{37}	0.273	0.264	-0.203	0.917					
Z_{33}	0.238		-0.231	0.91					
Z_{38}	0.26	0.312		0.841					
Z_{40}	0.333	0.367		0.79			0.303		
Z_{39}	0.229	0.419		0.628			0.342		
Z_{28}	0.229				0.987				

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ตัวแปร	ปัจจัย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z_{29}					0.987				
Z_{27}					0.982				
Z_{30}					0.98				
Z_{26}					0.979				
Z_{31}	-0.562				0.968				
Z_{25}	-0.566				0.962				
Z_{32}	-0.549				0.955				
Z_{58}	0.544	-0.432	0.359		-0.745				0.334
Z_3	0.692	-0.255	0.376		-0.743				0.222
Z_2	0.485	-0.511	0.369		-0.724				0.331
Z_1	0.609	-0.364	0.331		-0.711				0.334
Z_{45}						0.81			
Z_{43}						0.712			0.508
Z_{47}							0.696		
Z_{46}							0.539		0.339
Z_{48}			0.237			-0.379	0.475		
Z_{41}								0.848	
Z_{42}			0.206			0.226		0.749	
Z_{44}		0.201				0.314			0.616
eigenvalue	17.819	12.42	6.33	4.776	3.06	1.361	1.3	1.111	1.035
สัดส่วนของ ความผันแปร รวมสะสม	30.202	51.253	61.982	70.076	75.263	77.57	79.774	81.656	83.411

จากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยเมื่อทำการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax แล้ว พบว่า สามารถสกัดปัจจัยได้ปัจจัยที่สำคัญ 9 ปัจจัย เนื่องจาก ปัจจัยร่วมที่มีค่า eigenvalues ที่มากกว่า 1 อยู่ 9 ปัจจัย และมีค่าสัดส่วนของความผันแปรรวมสะสม 83.312 หมายความว่า ปัจจัย

รวมทั้ง 9 ควบคุมความผันผวนของตัวแปรทั้ง 59 ตัว ได้ 83.312 % และจัดตัวแปรเข้าตามปัจจัยร่วมต่าง ๆ โดยถ้าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรใดมีค่าสูงเข้าใกล้ +1 หรือ -1 ในปัจจัยร่วมใด ส่วนในปัจจัยร่วมอื่นค่าน้ำหนักปัจจัยมีค่าต่ำ ก็จะจัดตัวแปรเข้าในปัจจัยร่วมที่มีค่าน้ำหนักปัจจัยสูงนั้น สามารถจัดได้ดังนี้ ปัจจัยร่วมที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16}$ และ Z_{59} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.810 ถึง 0.960 ปัจจัยร่วมที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{17}, Z_{18}, Z_{49}, Z_{50}, Z_{51}, Z_{52}, Z_{53}, Z_{54}, Z_{55}, Z_{56}$ และ Z_{57} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.668 ถึง -0.847 ปัจจัยร่วมที่ 3 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{19}, Z_{20}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}$ และ Z_{24} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง -0.720 ถึง -0.890 ปัจจัยร่วมที่ 4 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_{33}, Z_{34}, Z_{35}, Z_{36}, Z_{37}, Z_{38}, Z_{39}$ และ Z_{40} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง 0.628 ถึง 0.938 ปัจจัยร่วมที่ 5 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ $Z_1, Z_2, Z_3, Z_{25}, Z_{26}, Z_{27}, Z_{28}, Z_{29}, Z_{30}, Z_{31}, Z_{32}$ และ Z_{58} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัยอยู่ระหว่าง -0.711 ถึง 0.987 ปัจจัยร่วมที่ 6 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{43} และ Z_{45} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.712 และ 0.810 ตามลำดับ ปัจจัยร่วมที่ 7 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{46}, Z_{47} และ Z_{48} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.475, 0.539 และ 0.696 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 8 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{41} และ Z_{42} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.749 และ 0.848 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 9 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ Z_{44} ซึ่งมีค่าน้ำหนักปัจจัย 0.616

2) ผลการหาสมการสำหรับคำนวณค่าคะแนนปัจจัย (factor score) ด้วยวิธี Regression Method ได้ผลดังนี้

กำหนดให้ $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8$ และ F_9 คือ ค่าคะแนนปัจจัยของปัจจัยที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ ปัจจัยที่ 9 ตามลำดับ

$$F_1 = 0.079Z_4 + 0.081Z_5 + 0.078Z_6 + 0.073Z_7 + 0.079Z_8 + 0.066Z_9 + 0.069Z_{10} \\ + 0.071Z_{11} + 0.074Z_{12} + 0.074Z_{13} + 0.074Z_{14} + 0.07Z_{15} + 0.054Z_{16} \\ + 0.074Z_{59} \quad (4.31)$$

$$F_2 = 0.065Z_{17} + 0.073Z_{18} + 0.119Z_{49} + 0.133Z_{50} + 0.133Z_{51} + 0.124Z_{52} \\ + 0.115Z_{53} + 0.088Z_{54} + 0.078Z_{55} + 0.073Z_{56} - 0.134Z_{57} \quad (4.32)$$

$$F_3 = -0.099Z_{19} - 0.132Z_{20} - 0.166Z_{21} - 0.174Z_{22} - 0.165Z_{23} - 0.178Z_{24} \quad (4.33)$$

$$F_4 = 0.150Z_{33} + 0.158Z_{34} + 0.156Z_{35} + 0.155Z_{36} + 0.152Z_{37} + 0.140Z_{38} \\ + 0.093Z_{39} + 0.110Z_{40} \quad (4.34)$$

$$F_5 = 0.115Z_{25} + 0.118Z_{26} + 0.117Z_{27} + 0.120Z_{28} + 0.121Z_{29} + 0.122Z_{30} \\ + 0.123Z_{31} + 0.121Z_{32} - 0.021Z_1 - 0.030Z_2 - 0.022Z_3 - 0.030Z_{58} \quad (4.35)$$

$$F_6 = 0.409Z_{43} + 0.511Z_{45} \quad (4.36)$$

$$F_7 = 0.337Z_{46} + 0.517Z_{47} + 0.3338Z_{48} \quad (4.37)$$

$$F_8 = 0.585Z_{41} + 0.512Z_{42} \quad (4.38)$$

$$F_9 = 0.471Z_{44} \quad (4.39)$$

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Multiple Regression Analysis) เมื่อได้สมการคำนวณคะแนนปัจจัย(factor score) แล้วนำสมการที่หาได้ไปคำนวณหาค่าคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัย ของข้อมูลตัวแปรทุกวัน ตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2537 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2547 ซึ่งคะแนนปัจจัยทั้ง 9 ถือว่าเป็นตัวแปรอิสระใหม่ 9 ตัวแปร และนำมาวิเคราะห์หาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดประมาณค่าพารามิเตอร์ของการถดถอย ประมาณค่าของ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) และเลือกสมการที่ดีที่สุดด้วยวิธีการเลือกรูปแบบการถดถอยแบบขั้นบันได (The Stepwise Regression Procedure) ได้สมการดังนี้

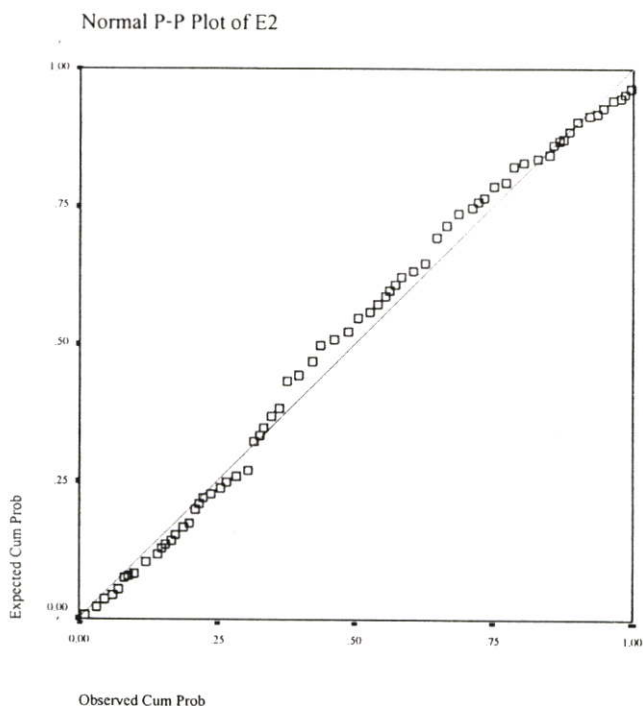
$$\hat{Y} = 16.611 + 2.382F_1 + 0.336F_2 - 0.369F_3 - 0.562F_5 - 0.139F_6 \\ - 0.149F_7 + 0.149F_9 \quad (4.40)$$

มีค่า $R^2 = 0.749$

4.2.2.3 ผลการตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อนำสมการ (4.40) ไปพยากรณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ตั้งแต่ 1 ธันวาคม 2547 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2548 และตรวจสอบข้อสมมติของค่าความคลาดเคลื่อนได้ผลดังนี้

1) ผลการตรวจสอบค่าความปกติของค่าความคลาดเคลื่อน

1.1) ผลการพล็อตกราฟ NPP



รูปที่ 4.7 กราฟ NPP ของค่าตัวเศษเหลือของสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเลย รูปแบบที่ 2

รูปที่ 4.7 เป็นกราฟที่พล็อตค่าตัวเศษเหลือ(e_i) กับ $E(e_i)$ ผลการพล็อตกราฟจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ

1.2) ผลการทดสอบของ Kolmogorov – Smirnov ได้ผลดังนี้

สมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ

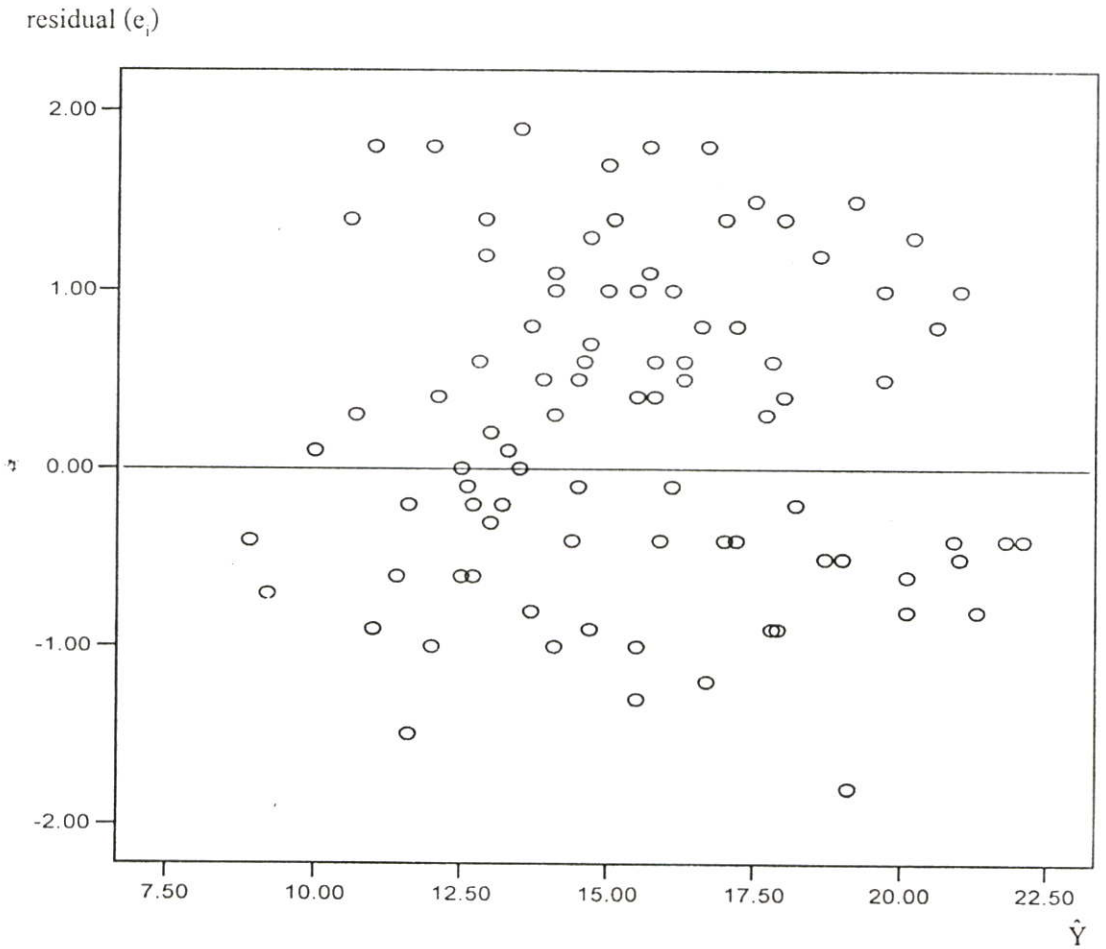
$$D = \text{Max} \{ |S(e) - F(e)| \} = 0.0953$$

และจากตาราง K-S ที่ $n > 35$, $\alpha = .01$ จะได้ $D_{.01} = 0.1063$ ค่า $D = .0953$ มีค่าน้อยกว่า 0.1063 จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่

(heteroscedasticity)

2.1) ผลการพล็อตกราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือกับค่าประมาณของ Y (\hat{Y})



รูปที่ 4.8 กราฟระหว่างค่าตัวเศษเหลือ (e) กับค่าประมาณของ Y (\hat{Y}) ของ
ตัวแบบจังหวัดเลย รูปแบบที่ 2

จากกราฟพบว่าค่าตัวเศษเหลือมีค่าต่างจาก 0 ไม่มากนักและเคลื่อนไหวอยู่ในแนวขนานกับแกน X จึงถือได้ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

2.2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ โดย
วิธี Brown-Forcythe Test

สมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

H_1 : ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่

สถิติทดสอบ

$$t_{BF}^* = \frac{\bar{d}_1 - \bar{d}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 0.04271$$

และจากตาราง ที่ $\alpha = .05$ ค่า $t(.975, 87) = 1.96$ จะเห็นว่า ค่า $t_{BF}^* = 0.04271 < 1.96$ จึงยอมรับ H_0 และสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

3) ผลตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบความสัมพันธ์ จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าค่าตัวเศษเหลือมีค่าสูงหรือต่ำกว่า 0 ไม่มากนัก และมีการเคลื่อนไหวอยู่ในแนวนานกับแกนนอน แสดงว่ารูปแบบการถดถอยเหมาะสมแล้ว

4.3 ผลการคำนวณค่าความถูกต้องและเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

4.3.1 ผลการคำนวณค่าความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด ของตัวแบบจังหวัด เชียงใหม่

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า MAD และ MSE ของค่าตัวเศษเหลือ รายวัน ของสมการการถดถอยของ จังหวัดเชียงใหม่ ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548

วิธีพยากรณ์	พ.ศ.2547				พ.ศ.2548				เฉลี่ย	
	พฤศจิกายน		ธันวาคม		มกราคม		กุมภาพันธ์			
	MAD	MSE	MAD	MSE	MAD	MSE	MAD	MSE	MAD	MSE
พลศาสตร์และ ประสบการณ์ของ นักพยากรณ์	1.221	2.115	1.390	2.827	1.139	1.891	1.222	2.426	1.243	2.315
ตัวแบบ รูปแบบที่ 1	0.762	0.716	0.771	0.862	0.884	1.139	0.841	1.069	0.815	0.947
ตัวแบบ รูปแบบที่ 2			0.710	0.745	0.851	0.999	0.833	1.063	0.798	0.936

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่า MAD ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 2 ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 0.710, 0.851 และ 0.833 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.798 องศาเซลเซียส ค่า MAD ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 1 ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 0.762, 0.771, 0.884 และ 0.841 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมี

ค่าเฉลี่ยเป็น 0.815 องศาเซลเซียส และค่า MAD ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดโดยวิธีพลศาสตร์ และประสิทธิภาพของนักพยากรณ์ ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 1.221, 1.390, 1.139 และ 1.222 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.243 องศาเซลเซียส และค่า MSE ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 2 ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 0.745 , 0.999 และ 1.063 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.936 องศาเซลเซียส ค่า MSE ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 1 ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 0.716 , 0.862 , 1.139 และ 1.069 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.947 องศาเซลเซียส และค่า MSE ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดโดยวิธีพลศาสตร์และประสิทธิภาพของนักพยากรณ์ ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 2.115, 2.827, 1.891 และ 2.426 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 2.315 องศาเซลเซียส (ดูภาคผนวก)

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่

1) ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังสองเฉลี่ยของค่าตัวเศษเหลือ (MSE)

เมื่อพิจารณาค่า MSE เฉลี่ย ของการพยากรณ์แต่ละวิธีพบว่า ค่า MSE เฉลี่ยของการพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสิทธิภาพของนักพยากรณ์ มีค่ามากที่สุด คือ 2.315 รองลงมาเป็นค่า MSE เฉลี่ยของการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบที่ 1 คือ 0.947 และค่า MSE เฉลี่ยของการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบที่ 2 มีค่าน้อยที่สุด คือ 0.936

2) ผลการทดสอบ Sign Test

2.1) เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือเฉลี่ยของการพยากรณ์ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2548 ระหว่างตัวแบบรูปแบบที่ 1 กับ ตัวแบบรูปแบบที่ 2 โดยวิธี Sign Test พบว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือแตกต่างกันอย่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.2) เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือเฉลี่ยของการพยากรณ์ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2548 ระหว่างตัวแบบรูปแบบที่ 1 กับ การพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสิทธิภาพของนักพยากรณ์ โดยวิธี Sign Test พบว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือแตกต่างกันอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.3) เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือเฉลี่ยของการพยากรณ์ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2548 ระหว่างตัวแบบรูปแบบที่ 2 กับ การพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสิทธิภาพของนักพยากรณ์ โดยวิธี Sign Test พบว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือแตกต่างกันอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.3.3 ผลการคำนวณค่าความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบจังหวัดเลย

1) การหาค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า MAD และ MSE ของค่าตัวเศษเหลือ รายวัน ของสมการการถดถอยของ จังหวัดเลย ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548

วิธีพยากรณ์	พ.ศ.2547				พ.ศ.2548				เฉลี่ย	
	พฤศจิกายน		ธันวาคม		มกราคม		กุมภาพันธ์			
	MAD	MSE	MAD	MSE	MAD	MSE	MAD	MSE	MAD	MSE
พลศาสตร์และ ประสบการณ์ของ นักพยากรณ์	1.455	3.160	1.452	3.043	1.281	2.452	1.274	2.307	1.366	2.741
ตัวแบบ รูปแบบที่ 1	0.934	1.170	1.252	2.030	1.190	1.307	1.057	1.820	1.108	1.582
ตัวแบบ รูปแบบที่ 2			0.874	1.328	0.790	0.868	0.873	0.947	0.846	1.048

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่า MAD ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 2 ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 0.874 , 0.790 และ 0.873 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.846 องศาเซลเซียส ค่า MAD ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 1 ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 0.934, 1.252, 1.190 และ 1.057 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.108 องศาเซลเซียส และค่า MAD ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดโดยวิธีพลศาสตร์ และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 1.455, 1.452, 1.281 และ 1.274 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.366 องศาเซลเซียส และค่า MSE ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 2 ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือน มกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 1.328 , 0.868 และ 0.947 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.048 องศาเซลเซียส ค่า MSE ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบรูปแบบที่ 1 ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือน มกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 1.170 , 2.030, 1.307 และ 1.820 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.582 องศาเซลเซียส และค่า MSE ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดโดยวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 มีค่าเป็น 3.160, 3.043, 2.452 และ 2.307 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 2.741 องศาเซลเซียส (ดูภาคผนวก)

4.3.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของตัวแบบ

จังหวัดเลย

1) ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังสองเฉลี่ยของค่าตัวเศษเหลือ (MSE)

เมื่อพิจารณาค่า MSE เฉลี่ย ของการพยากรณ์แต่ละวิธีพบว่า ค่า MSE เฉลี่ยของการพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ มีค่ามากที่สุด คือ 2.741 รองลงมาเป็นค่า MSE เฉลี่ยของการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบที่ 1 คือ 1.582 และค่า MSE เฉลี่ยของการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบที่ 2 มีค่าน้อยที่สุด คือ 1.048

2) ผลการทดสอบ Sign Test

2.1) เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือเฉลี่ยของการพยากรณ์ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2548 ระหว่างตัวแบบรูปแบบที่ 1 กับ ตัวแบบรูปแบบที่ 2 โดยวิธี Sign Test พบว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือแตกต่างกันอย่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.2) เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือเฉลี่ยของการพยากรณ์ในตั้งแต่เดือนธันวาคม 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2548 ระหว่างตัวแบบรูปแบบที่ 1 กับ การพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ โดยวิธี Sign Test พบว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือแตกต่างกันอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.3) เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือเฉลี่ยของการพยากรณ์ในตั้งแต่เดือนธันวาคม 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2548 ระหว่างตัวแบบรูปแบบที่ 2 กับ การพยากรณ์โดยวิธีพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ โดยวิธี Sign Test พบว่า ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเศษเหลือแตกต่างกันอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัด เชียงใหม่ และจังหวัดเลย ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อจัดกลุ่มตัวแปรสารประกอบ อุดุนิยมวิทยาและสร้างตัวแปรใหม่ และใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ โดยใช้เทคนิค Stepwise ในการคัดเลือกตัวแปรเพื่อสร้างตัวแบบ พบว่าจากตัวแปรอิสระทั้งหมด 59 ตัวแปร เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัด เชียงใหม่

จากการวิเคราะห์ปัจจัยสามารถจัดกลุ่มตัวแปรจากตัวแปรอิสระ 59 ตัวแปร ได้ปัจจัยร่วมที่สำคัญ 9 ปัจจัย หรือได้ตัวแปรใหม่ 9 ตัวแปร และเมื่อนำตัวแปรใหม่ไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุและคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธี Stepwise โดยสร้างตัวแบบ 2 รูปแบบ เมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ ตัวแบบทั้งสองให้ค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องมากกว่าการพยากรณ์โดยใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ และตัวแบบที่รูปแบบที่ 2 มีความถูกต้องในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบรูปแบบที่ 1 ดังนั้นสมการที่เหมาะสมในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่ คือ ตัวแบบรูปแบบที่ 2 ซึ่งมีรูปแบบดังสมการ (5.1)

$$\hat{Y} = 16.704 + 1.548F_1 - 0.608F_2 + 1.846F_3 + 0.328F_4 + 0.559F_5 + 0.246F_6 + 0.502F_7 - 0.123F_8 \quad (5.1)$$

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัด เลย

จากการวิเคราะห์ปัจจัยสามารถจัดกลุ่มตัวแปรจากตัวแปรอิสระ 59 ตัวแปร ได้ปัจจัยร่วมที่สำคัญ 9 ปัจจัย หรือได้ตัวแปรใหม่ 9 ตัวแปร และเมื่อนำตัวแปรใหม่ไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุและคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธี Stepwise โดยสร้างตัวแบบ 2 รูปแบบ เมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ ตัวแบบทั้งสองให้ค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องมากกว่าการพยากรณ์โดยใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ และตัวแบบรูปแบบที่ 2 มีความถูกต้องในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบรูปแบบที่ 1 ดังนั้นสมการที่

เหมาะสมในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเลย คือ ตัวแบบรูปแบบที่ 2 ซึ่งมีรูปแบบ ดังสมการ (5.2)

$$\hat{Y} = 16.611 + 2.382F_1 + 0.336F_2 - 0.369F_3 - 0.562F_5 - 0.139F_6 - 0.149F_7 + 0.149F_8 \quad (5.2)$$

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัย พบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของทั้งจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย คือ ตัวแบบรูปแบบที่ 2 โดยตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสูง 3 อันดับแรกของตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่ คือ F_1 , F_2 และ F_3 ส่วนตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสูง 3 อันดับแรกของตัวแบบจังหวัดเลย คือ F_1 , F_3 และ F_5 โดย F_1 ของตัวแบบทั้งสองจังหวัด มีตัวแปรสารประกอบอนุกรมวิธานที่สำคัญ คือตัวแปรในกลุ่มของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง โดยมีเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีทางอนุกรมวิธาน และสอดคล้องกับการพยากรณ์โดยใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ที่ใช้ตัวแปรอุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็นตัวชี้วัดในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันพรุ่งนี้ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Attri และคณะ ที่ใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็นตัวแปรหนึ่งในการสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่เป็นองค์ประกอบของ F_2 ของตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า F_2 มีตัวแปรสารประกอบอนุกรมวิธานที่สำคัญ คือตัวแปรในกลุ่มของความกดอากาศ โดยมีเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นลบ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีทางอนุกรมวิธาน แต่การพยากรณ์โดยใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์และการศึกษาของ Attri และคณะ ไม่ได้นำตัวแปรกลุ่มนี้มาใช้ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันพรุ่งนี้ เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่เป็นองค์ประกอบของ F_3 ของตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่พบว่า F_3 มีตัวแปรสารประกอบอนุกรมวิธานที่สำคัญ คือตัวแปรในกลุ่มของอุณหภูมิอากาศรวมทั้งอุณหภูมิต่ำสุดของเช้าวันที่ทำการพยากรณ์ โดยมีเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีทางอนุกรมวิธาน และสอดคล้องกับการพยากรณ์โดยใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ที่ใช้ตัวแปรอุณหภูมิต่ำสุดของเช้าวันที่ทำการพยากรณ์เป็นตัวชี้วัดในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันพรุ่งนี้ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Attri และคณะ เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่เป็นองค์ประกอบของ F_5 ของตัวแบบจังหวัดเลย พบว่า F_5 มีตัวแปรสารประกอบอนุกรมวิธานที่สำคัญ คือตัวแปรในกลุ่มความกดอากาศรวมทั้งอุณหภูมิสูงสุดของวันก่อนวันทำการพยากรณ์ 1 วัน โดยมีเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นลบ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีทางอนุกรมวิธาน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Attri และคณะที่ใช้อุณหภูมิสูงสุดก่อนวันที่ทำการพยากรณ์ 1 วัน เป็นตัวแปรหนึ่งในการสร้างตัวแบบ

สำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด แต่การพยากรณ์โดยใช้หลักวิธีทางพลศาสตร์และประสบการณ์ของนักพยากรณ์ไม่ได้นำตัวแปรกลุ่มนี้มาใช้ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของวันพรุ่งนี้ และเมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่เป็นองค์ประกอบของ F_3 ของตัวแบบจังหวัดเลขพบว่า F_3 มีตัวแปรสารประกอบอนุกรมวิธานที่สำคัญ คือตัวแปรในกลุ่มของความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าเป็นลบ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบตัวแปรสารประกอบอนุกรมวิธานซึ่งเป็นตัวแปรอิสระของแต่ละตัวแปรในสมการการถดถอย ถึงแม้ตัวแปรในสมการถดถอยของตัวแบบทั้งสองจังหวัดจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน แต่ตัวแปรที่แตกต่างกันนี้ก็ไปแฝงอยู่ในตัวแปรหรือปัจจัยอื่น ๆ เช่น F_3 ของตัวแบบจังหวัดเลขประกอบด้วยตัวแปรในกลุ่มความชื้นสัมพัทธ์ จะอยู่ใน F_1 ของตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการนำตัวแบบรูปแบบที่ 2 ไปใช้ในการพยากรณ์จะต้องทำการสร้างตัวแบบใหม่ทุก ๆ 1 เดือน ดังนั้นในการนำไปใช้อาจจำเป็นต้องมีนักสถิติช่วยในการวิเคราะห์ปัจจัยและการวิเคราะห์การถดถอยในการสร้างตัวแบบ

บรรณานุกรม

- กัลยา วานิชย์บัญชา 2544. การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วยเอสพีเอสเอสสำหรับวินโดวส์.
กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. 2546. สถิติการท่องเที่ยวภายในประเทศ. กรุงเทพฯ : กระทรวง
การท่องเที่ยวและกีฬา.
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2547. รายงานสถานการณ์ภัยหนาว. กรุงเทพฯ : กระทรวง
มหาดไทย
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2541. การพยากรณ์เชิงคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2541. การพยากรณ์อากาศ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2545. รายงานอุณหภูมิต่ำสุดในคาบ 30 ปี. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กองระบาดวิทยา. 2547. รายงานการเฝ้าระวังและควบคุมโรคพ.ศ. 2547. กรุงเทพมหานคร:
กระทรวงสาธารณสุข.
- คมชัดลึก. 22 ธันวาคม 2547.
- ณรงค์ ปิยะพันธ์. 2536. การพยากรณ์อากาศเขตร้อน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ทรงศิริ แต่สมบัติ. 2539. การวิเคราะห์การถดถอย. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- รุจิราพรรณ รุ่งรอด. 2543. ลมฟ้าอากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- วิชิต หล่อจิระชุนท์กุล. 2537. การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์. กรุงเทพฯ:
คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ไสว สุวรรณพงศ์. 2530. เครื่องมือตรวจอากาศ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ไสว สุวรรณพงศ์. 2529. อุตุนิยมวิทยาทั่วไป. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สุวพันธ์ นิลายน. 2514. วิชาอุตุนิยมวิทยานิยมทั่วไป. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- Attri et.al. 1994. Forecasting of minimum temperature over Gangtok. Indian Journal of
Meteorology, Hydrology And Geophysics. Vol. 46, no.1, January 1995.
- Daniel, W.W. 1990. Applied Nonparametric Statistics. 2nd ed. New York : Pws-krnt publishing
company.
- Henry, J. and Dunteman. 1935. Introduction to Linear Model. London : SAGE publications Ltd.
- Jornson, R. A. and Wichern D. W. 1992. Applied Multivariate Statistical Analysis. 3rd ed.
New York : Prentice – Hall. Inc.
- Neter, J. et.al. 1990. Applied Linear Statisticcal Models. 3rd ed. Tokyo: Toppan
Company, Ltd.
- Neter, J. et.al. 2004. Applied Linear Statisticcal Models. 4th ed. New York : McGraw-

Hill Company.

Siegel, S. and Castellan N.J. 1956. Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. 2nd ed.
New York: Mcgraw-Hill book company.

ภาคผนวก

1. การวิเคราะห์ข้อมูลในการสกัดปัจจัย

1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่

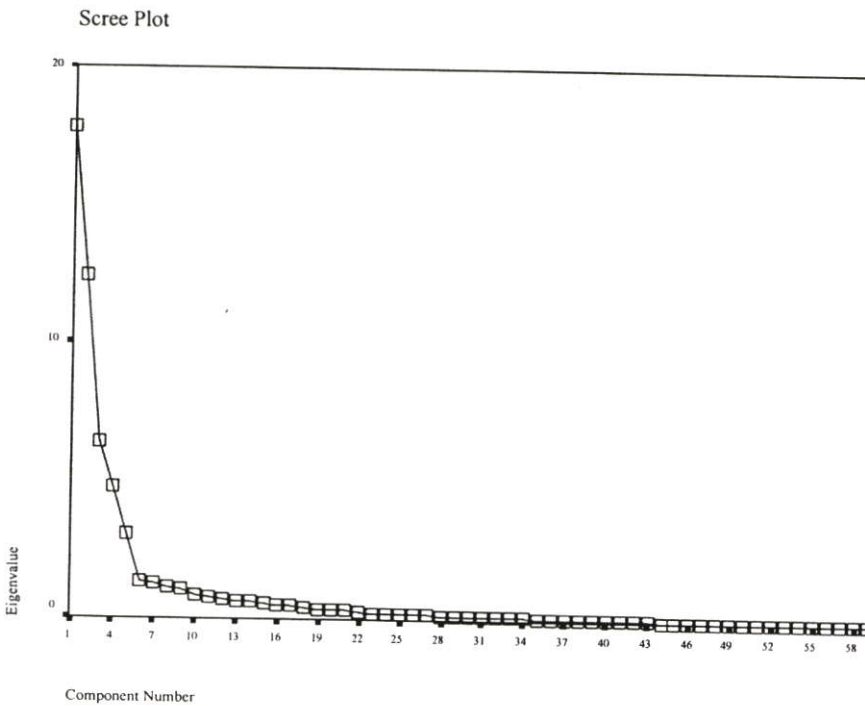
ตารางผนวกที่ 1 แสดงค่าสถิติในการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่
รูปแบบที่ 1

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	17.784	30.142	30.142	17.784	30.142	30.142	12.874	21.821	21.821
2	12.409	21.032	51.173	12.409	21.032	51.173	8.719	14.778	36.598
3	6.375	10.805	61.978	6.375	10.805	61.978	7.771	13.172	49.770
4	4.761	8.069	70.047	4.761	8.069	70.047	6.182	10.478	60.248
5	3.074	5.210	75.257	3.074	5.210	75.257	6.113	10.360	70.608
6	1.361	2.306	77.564	1.361	2.306	77.564	2.643	4.480	75.088
7	1.302	2.206	79.770	1.302	2.206	79.770	2.052	3.479	78.567
8	1.105	1.873	81.643	1.105	1.873	81.643	1.446	2.452	81.019
9	1.035	1.754	83.397	1.035	1.754	83.397	1.403	2.379	83.397
10	.833	1.411	84.809						
11	.777	1.317	86.126						
12	.697	1.182	87.308						
13	.632	1.071	88.379						
14	.616	1.044	89.423						
15	.596	1.010	90.433						
16	.512	.867	91.300						
17	.475	.805	92.105						
18	.424	.719	92.823						
19	.376	.637	93.460						
20	.357	.604	94.064						
21	.320	.543	94.607						
22	.284	.481	95.089						
23	.248	.421	95.510						
24	.239	.406	95.915						
25	.218	.369	96.284						
26	.207	.350	96.634						
27	.197	.334	96.968						
28	.174	.295	97.263						
29	.164	.279	97.542						
30	.155	.263	97.805						
31	.143	.242	98.047						
32	.127	.215	98.262						
33	.119	.201	98.463						
34	.113	.191	98.654						
35	.106	.179	98.833						
36	9.960E-02	.169	99.002						
37	8.503E-02	.144	99.146						
38	7.249E-02	.123	99.269						
39	6.849E-02	.116	99.385						
40	5.178E-02	8.777E-02	99.473						
41	4.938E-02	8.369E-02	99.556						
42	4.058E-02	6.877E-02	99.625						
43	3.769E-02	6.388E-02	99.689						

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
44	3.207E-02	5.436E-02	99.743						
45	2.870E-02	4.864E-02	99.792						
46	2.410E-02	4.085E-02	99.832						
47	1.764E-02	2.989E-02	99.862						
48	1.591E-02	2.697E-02	99.889						
49	1.504E-02	2.549E-02	99.915						
50	1.053E-02	1.785E-02	99.933						
51	9.906E-03	1.679E-02	99.949						
52	7.429E-03	1.259E-02	99.962						
53	6.518E-03	1.105E-02	99.973						
54	6.081E-03	1.031E-02	99.983						
55	5.417E-03	9.182E-03	99.992						
56	2.299E-03	3.897E-03	99.996						
57	1.269E-03	2.151E-03	99.999						
58	5.975E-04	1.013E-03	100.000						
59	2.702E-04	4.580E-04	100.000						

Extracti



รูปผนวกที่ 1 กราฟที่พล็อตค่า Eigenvalue ของแต่ละปัจจัยสำหรับตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่
รูปแบบที่ 1

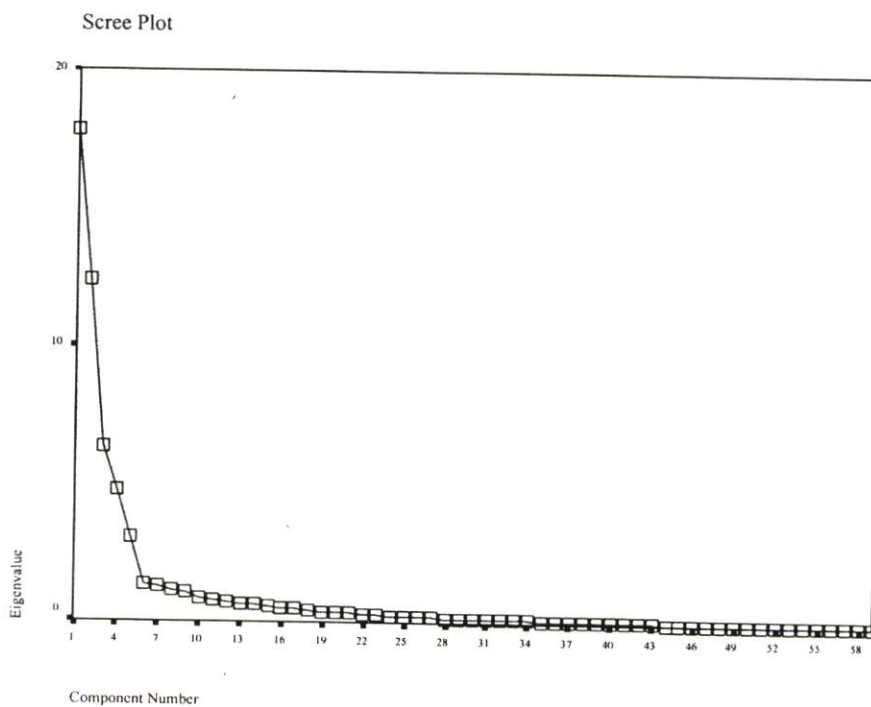
ตารางผนวกที่ 2 แสดงค่าสถิติในการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่
รูปแบบที่ 2

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	17.819	30.202	30.202	17.819	30.202	30.202	12.820	21.729	21.729
2	12.420	21.050	51.253	12.420	21.050	51.253	8.713	14.768	36.497
3	6.330	10.729	61.982	6.330	10.729	61.982	7.834	13.278	49.775
4	4.776	8.094	70.076	4.776	8.094	70.076	6.105	10.348	60.123
5	3.060	5.187	75.263	3.060	5.187	75.263	6.098	10.335	70.458
6	1.361	2.307	77.570	1.361	2.307	77.570	2.633	4.462	74.921
7	1.300	2.204	79.774	1.300	2.204	79.774	2.151	3.646	78.567
8	1.111	1.882	81.656	1.111	1.882	81.656	1.462	2.479	81.045
9	1.035	1.755	83.411	1.035	1.755	83.411	1.396	2.365	83.411
10	.841	1.426	84.837						
11	.772	1.309	86.146						
12	.702	1.189	87.336						
13	.628	1.064	88.400						
14	.616	1.044	89.444						
15	.587	.996	90.439						
16	.509	.863	91.302						
17	.477	.808	92.110						
18	.423	.717	92.827						
19	.371	.629	93.456						
20	.354	.600	94.056						
21	.324	.548	94.604						
22	.282	.478	95.082						
23	.250	.424	95.507						
24	.237	.402	95.909						
25	.219	.372	96.280						
26	.207	.350	96.631						
27	.197	.334	96.965						
28	.174	.295	97.260						
29	.164	.278	97.538						
30	.154	.261	97.799						
31	.143	.242	98.040						
32	.128	.217	98.257						
33	.119	.202	98.459						
34	.114	.193	98.652						
35	.106	.180	98.832						
36	9.948E-02	.169	99.001						
37	8.433E-02	.143	99.144						
38	7.234E-02	.123	99.266						
39	6.837E-02	.116	99.382						
40	5.216E-02	8.841E-02	99.471						
41	4.987E-02	8.452E-02	99.555						
42	4.111E-02	6.967E-02	99.625						
43	3.769E-02	6.388E-02	99.689						

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Component	Initial Eigenvalues	Extraction Sums of Squared Loadings	Rotation Sums of Squared Loadings						
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
44	3.164E-02	5.363E-02	99.742						
45	2.854E-02	4.838E-02	99.791						
46	2.431E-02	4.121E-02	99.832						
47	1.751E-02	2.967E-02	99.862						
48	1.575E-02	2.670E-02	99.888						
49	1.529E-02	2.591E-02	99.914						
50	1.064E-02	1.804E-02	99.932						
51	9.917E-03	1.681E-02	99.949						
52	7.450E-03	1.263E-02	99.962						
53	6.576E-03	1.115E-02	99.973						
54	6.156E-03	1.043E-02	99.983						
55	5.417E-03	9.182E-03	99.992						
56	2.299E-03	3.897E-03	99.996						
57	1.269E-03	2.151E-03	99.999						
58	5.975E-04	1.013E-03	100.000						
59	2.702E-04	4.580E-04	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.



รูปผนวกที่ 2 กราฟที่พล็อตค่า Eigenvalue ของแต่ละปัจจัยสำหรับตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่
รูปแบบที่ 2

1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดของจังหวัดเลย

ตารางผนวกที่ 3 แสดงค่าสถิติในการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบจังหวัดเลย

รูปแบบที่ 1

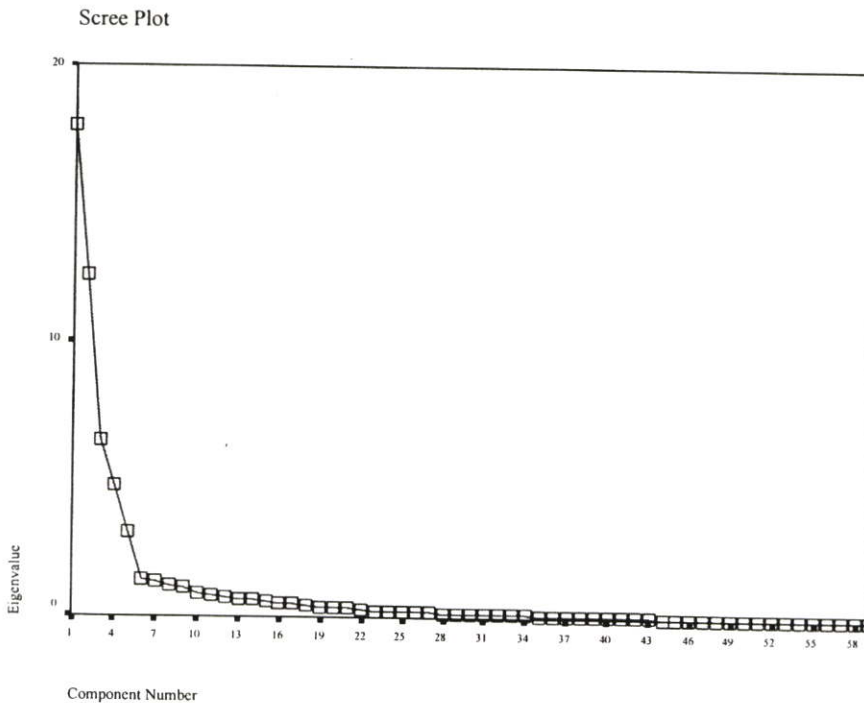
Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	19.003	32.209	32.209	19.003	32.209	32.209	12.475	21.144	21.144
2	12.203	20.683	52.892	12.203	20.683	52.892	9.546	16.180	37.324
3	5.420	9.187	62.079	5.420	9.187	62.079	7.969	13.506	50.830
4	4.435	7.516	69.595	4.435	7.516	69.595	6.481	10.985	61.815
5	2.264	3.837	73.432	2.264	3.837	73.432	6.218	10.539	72.354
6	1.621	2.747	76.179	1.621	2.747	76.179	1.666	2.823	75.178
7	1.277	2.164	78.343	1.277	2.164	78.343	1.407	2.384	77.562
8	1.157	1.962	80.305	1.157	1.962	80.305	1.393	2.361	79.923
9	1.029	1.744	82.049	1.029	1.744	82.049	1.255	2.126	82.049
10	.986	1.671	83.720						
11	.858	1.454	85.174						
12	.830	1.406	86.580						
13	.718	1.216	87.796						
14	.674	1.142	88.938						
15	.631	1.070	90.007						
16	.589	.998	91.005						
17	.498	.844	91.849						
18	.475	.805	92.655						
19	.434	.736	93.391						
20	.387	.657	94.047						
21	.332	.563	94.611						
22	.297	.503	95.114						
23	.281	.477	95.591						
24	.243	.411	96.002						
25	.227	.384	96.386						
26	.220	.372	96.758						
27	.204	.345	97.103						
28	.185	.313	97.416						
29	.165	.280	97.696						
30	.163	.277	97.973						
31	.149	.253	98.225						
32	.138	.234	98.460						
33	.115	.194	98.654						
34	.105	.177	98.831						
35	.103	.174	99.005						
36	9.536E-02	.162	99.167						
37	8.306E-02	.141	99.308						
38	6.727E-02	.114	99.422						
39	5.969E-02	.101	99.523						
40	5.051E-02	8.561E-02	99.608						
41	4.026E-02	6.824E-02	99.677						
42	2.983E-02	5.055E-02	99.727						
43	2.767E-02	4.690E-02	99.774						

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
44	3.207E-02	5.436E-02	99.743						
45	2.870E-02	4.864E-02	99.792						
46	2.410E-02	4.085E-02	99.832						
47	1.764E-02	2.989E-02	99.862						
48	1.591E-02	2.697E-02	99.889						
49	1.504E-02	2.549E-02	99.915						
50	1.053E-02	1.785E-02	99.933						
51	9.906E-03	1.679E-02	99.949						
52	7.429E-03	1.259E-02	99.962						
53	6.518E-03	1.105E-02	99.973						
54	6.081E-03	1.031E-02	99.983						
55	5.417E-03	9.182E-03	99.992						
56	2.299E-03	3.897E-03	99.996						
57	1.269E-03	2.151E-03	99.999						
58	5.975E-04	1.013E-03	100.000						
59	2.702E-04	4.580E-04	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.



รูปผนวกที่ 3 กราฟที่พล็อตค่า Eigenvalue ของแต่ละปัจจัย สำหรับตัวแบบจังหวัดเลย
รูปแบบที่ 1

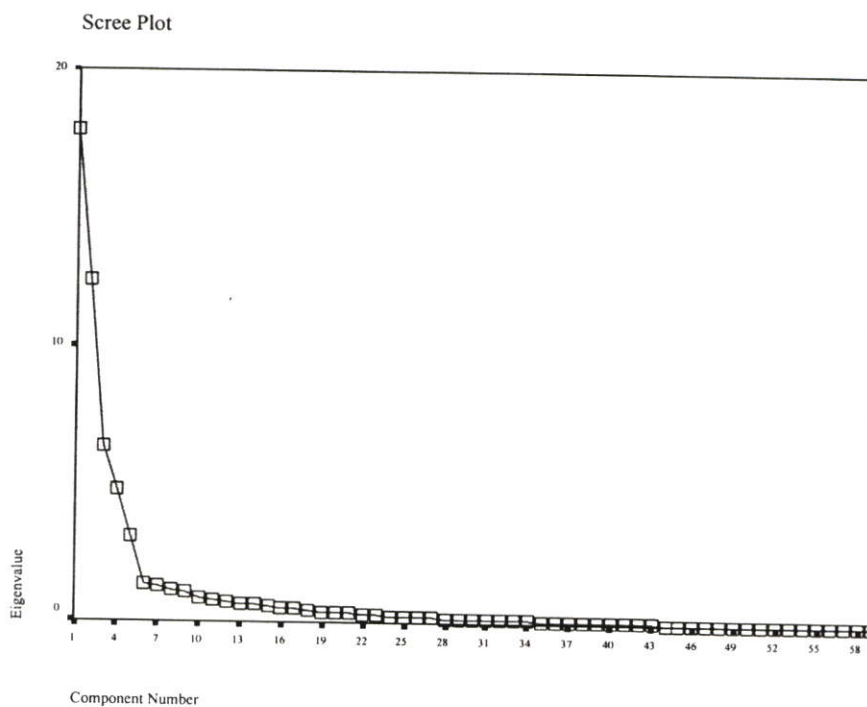
ตารางผนวกที่ 4 แสดงค่าสถิติในการประมาณค่าน้ำหนักปัจจัย สำหรับตัวแบบจังหวัดเลข
รูปแบบที่ 2

Component	Total Variance Explained								
	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	17.639	29.896	29.896	17.639	29.896	29.896	12.417	21.046	21.046
2	12.427	21.062	50.958	12.427	21.062	50.958	8.663	14.683	35.730
3	6.380	10.814	61.772	6.380	10.814	61.772	8.222	13.936	49.666
4	4.793	8.123	69.895	4.793	8.123	69.895	6.104	10.346	60.011
5	3.080	5.220	75.115	3.080	5.220	75.115	5.975	10.128	70.139
6	1.371	2.324	77.439	1.371	2.324	77.439	2.595	4.398	74.537
7	1.306	2.214	79.653	1.306	2.214	79.653	2.293	3.886	78.423
8	1.120	1.898	81.551	1.120	1.898	81.551	1.489	2.524	80.948
9	1.039	1.761	83.312	1.039	1.761	83.312	1.395	2.364	83.312
10	.845	1.432	84.744						
11	.769	1.303	86.048						
12	.704	1.194	87.241						
13	.625	1.060	88.301						
14	.620	1.052	89.353						
15	.593	1.006	90.359						
16	.515	.873	91.231						
17	.482	.817	92.048						
18	.427	.724	92.772						
19	.375	.636	93.408						
20	.364	.616	94.024						
21	.321	.544	94.568						
22	.283	.480	95.047						
23	.251	.425	95.472						
24	.236	.400	95.873						
25	.218	.370	96.243						
26	.208	.353	96.596						
27	.198	.335	96.931						
28	.179	.303	97.234						
29	.166	.281	97.515						
30	.155	.263	97.778						
31	.144	.244	98.022						
32	.128	.218	98.240						
33	.122	.206	98.446						
34	.113	.192	98.638						
35	.108	.183	98.821						
36	9.963E-02	.169	98.990						
37	8.645E-02	.147	99.136						
38	7.332E-02	.124	99.260						
39	6.862E-02	.116	99.377						
40	5.296E-02	8.976E-02	99.466						
41	4.986E-02	8.451E-02	99.551						
42	4.145E-02	7.025E-02	99.621						
43	3.755E-02	6.365E-02	99.688						

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Component	Initial Eigenvalues	Extraction Sums of Squared Loadings	Rotation Sums of Squared Loadings						
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
44	3.164E-02	5.363E-02	99.742						
45	2.854E-02	4.838E-02	99.791						
46	2.431E-02	4.121E-02	99.832						
47	1.751E-02	2.967E-02	99.862						
48	1.575E-02	2.670E-02	99.888						
49	1.529E-02	2.591E-02	99.914						
50	1.064E-02	1.804E-02	99.932						
51	9.917E-03	1.681E-02	99.949						
52	7.450E-03	1.263E-02	99.962						
53	6.576E-03	1.115E-02	99.973						
54	6.156E-03	1.043E-02	99.983						
55	5.417E-03	9.182E-03	99.992						
56	2.299E-03	3.897E-03	99.996						
57	1.269E-03	2.151E-03	99.999						
58	5.975E-04	1.013E-03	100.000						
59	2.702E-04	4.580E-04	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.



รูปผนวกที่ 4 กราฟที่พล็อตค่า Eigenvalue ของแต่ละปัจจัย สำหรับตัวแบบจังหวัดเลขรูปแบบที่ 2

2. การหาค่าความถูกต้องในการพยากรณ์

2.1 การหาค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ของตัวแบบจังหวัดเชียงใหม่

ตารางผนวกที่ 5 แสดงค่า MAD ของค่าตัวเศษเหลือในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด

ด้วยวิธีการต่าง ๆ ของจังหวัดเชียงใหม่ เดือนพฤศจิกายน 2547

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์			
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		พลศาสตร์และประสบการณ์ัก พยากรณ์	
		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่าตัวเศษเหลือ	ค่าพยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่าตัวเศษเหลือ
2	19.1	19.8	0.700	20	0.900
3	18.8	19.3	0.500	20	1.200
4	18.5	19.3	0.800	20	1.500
5	19.0	18.0	1.000	19	0.000
6	19.7	18.1	1.600	19	0.700
7	19.6	19.8	0.200	20	0.400
8	20.0	19.1	0.900	17	3.000
9	19.7	19.8	0.100	17	2.700
10	19.3	20.2	0.900	18	1.300
11	19.9	19.7	0.200	19	0.900
12	20.7	19.6	1.100	19	1.700
13	20.2	21.0	0.800	19	1.200
14	20.2	20.7	0.500	21	0.800
15	20.5	21.7	1.200	21	0.500
16	21.3	21.6	0.300	22	0.700
17	20.3	21.0	0.700	22	1.700
18	18.7	19.7	1.000	20	1.300
19	18.0	18.5	0.500	19	1.000
20	18.6	19.3	0.700	19	0.400
21	20.7	19.2	1.500	19	1.700

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์			
		ตัวเบบรูปแบบที่ 1		พลศาสตร์และประสบการณ์นัก พยากรณ์	
		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่าพยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัวเศษเหลือ
22	18.8	18.7	0.100	20	1.200
23	15.6	16.5	0.900	19	3.400
24	16.9	15.9	1.000	17	0.100
25	20.0	19.2	0.800	22	2.000
26	19.6	20.2	0.600	19	0.600
27	18.8	19.7	0.900	20	1.200
28	18.5	19.5	1.000	19	0.500
29	17.8	18.8	1.000	19	1.200
30	18.4	19.0	0.600	20	1.600
MAD			0.762		1.221

ตารางผนวกที่ 6 แสดงค่า MAD ของค่าตัวเลขเหลือในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วยวิธีการต่าง ๆ ของจังหวัดเชียงใหม่ เดือน ธันวาคม 2547

วันที่	ค่าอุณหภูมิต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่าพยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเลขเหลือ	ค่าพยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเลขเหลือ	ค่าพยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ของค่าตัวเลขเหลือ
1	16.0	17.0	1	16.9	0.9	18	2.0
2	15.1	16.2	1.1	16.5	1.4	18	2.9
3	15.1	14.7	0.4	15.0	0.1	16	0.9
4	13.9	14.7	0.8	14.9	1.0	15	1.1
5	16.4	15.0	1.4	15.2	1.2	14	2.4
6	15.7	14.9	0.8	15.1	0.6	16	0.3
7	12.2	13.1	0.9	13.4	1.2	16	3.8
8	11.3	11.7	0.4	11.8	0.5	13	1.7
9	12.4	11.5	0.9	12.0	0.4	13	0.6
10	12.7	11.1	1.6	11.5	1.2	14	1.3
11	12.6	11.3	1.3	11.8	0.8	14	1.4
12	12.0	11.1	0.9	11.5	0.5	13	1.0
13	12.3	10.7	1.6	11.1	1.2	13	0.7
14	13.0	11.6	1.4	12.0	1.0	14	1.0
15	13.3	12.4	0.9	12.8	0.5	14	0.7
16	12.5	12.5	0	12.8	0.3	14	1.5
17	12.6	12.4	0.2	12.7	0.1	15	2.4
18	12.0	11.6	0.4	12.0	0.0	15	3.0
19	11.4	12.8	1.4	13.2	1.8	14	2.6
20	11.9	12.0	0.1	12.4	0.5	13	1.1
21	12.8	11.7	1.1	12.1	0.7	13	0.2

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุด จริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
22	12.9	13.0	0.1	13.5	0.6	13	0.1
23	13.3	13.3	0	13.6	0.3	13	0.3
24	14.1	13.5	0.6	13.8	0.3	15	0.9
25	14.4	14.1	0.3	14.3	0.1	15	0.6
26	15.1	14.3	0.8	14.6	0.5	15	0.1
27	15.0	15.0	0	15.3	0.3	16	1.0
28	14.5	15.1	0.6	15.3	0.8	16	1.5
29	13.1	14.6	1.5	14.9	1.8	16	2.9
30	13.8	14.4	0.6	14.7	0.9	15	1.2
31	15.1	14.3	0.8	14.6	0.5	16	0.9
MAD			0.771		0.710		1.390

ตารางผนวกที่ 7 แสดงค่า MAD ของค่าตัวเศษเหลือในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วย
วิธีการต่าง ๆ ของจังหวัดเชียงใหม่ เดือน มกราคม 2548

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุด จริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
1	12.9	14.6	1.700	14.9	2.000	15	2.100
2	12.3	12.6	0.300	13.1	0.800	14	1.700
3	13.3	15.5	2.200	13.0	0.300	14	0.700
4	13.5	12.7	0.800	13.0	0.500	14	0.500
5	14.1	13.6	0.500	13.8	0.300	14	0.100
6	14.3	13.9	0.400	14.2	0.100	16	1.700
7	14.8	13.7	1.100	14.0	0.800	16	1.200
8	16.3	14.4	1.900	14.6	1.700	16	0.300
9	16.1	15.6	0.500	15.8	0.300	16	0.100
10	16.1	16.6	0.500	16.9	0.800	16	0.100
11	15.4	16.8	1.400	17.0	1.600	16	0.600
12	11.8	13.1	1.300	13.4	1.600	15	3.200
13	11.5	12.1	0.600	12.3	0.800	12	0.500
14	12.8	12.9	0.100	13.2	0.400	12	0.800
15	15.1	14.1	1.000	14.4	0.700	13	2.100
16	14.5	15.0	0.500	15.3	0.800	15	0.500
17	15.2	15.3	0.100	15.6	0.400	14	1.200
18	15.5	15.8	0.300	16.1	0.600	15	0.500
19	16.3	16.7	0.400	16.8	0.500	15	1.300
20	17.1	17.3	0.200	17.4	0.300	16	1.100

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุด จริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
21	16.8	17.3	0.500	17.3	0.500	16	0.800
22	15.8	17.0	1.200	17.1	1.300	17	1.200
23	16.5	17.8	1.300	17.8	1.300	17	0.500
24	15.3	16.8	1.500	16.8	1.500	17	1.700
25	14.5	16.3	1.800	15.8	1.300	16	1.500
26	14.2	15.8	1.600	15.5	1.300	16	1.800
27	14.7	15.7	1.000	15.9	1.200	16	1.300
28	14.7	15.3	0.600	15.4	0.700	17	2.300
29	16.4	15.5	0.900	15.4	1.000	17	0.600
30	16.3	17.1	0.800	16.9	0.600	18	1.700
31	16.4	16.0	0.400	16.0	0.400	18	1.600
MAD			0.846		0.858		1.139

ตารางผนวกที่ 8 แสดงค่า MAD ณ ของค่าตัวเศษเหลือในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วย
วิธีการต่าง ๆ ของจังหวัดเชียงใหม่ เดือน กุมภาพันธ์ 2548

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์
1	16.5	16.4	0.1	16.3	0.2	18	1.5
2	18.8	17.1	1.7	17.1	1.7	20	1.2
3	16.0	17.6	1.6	17.6	1.6	19	3.0
4	18.0	17.1	0.9	16.9	1.1	19	1.0
5	18.5	18.1	0.4	18.0	0.5	19	0.5
6	18.3	18.7	0.4	18.6	0.3	18	0.3
7	16.0	16.8	0.8	16.7	0.7	18	2.0
8	16.1	15.1	1.0	15.1	1.0	17	0.9
9	14.6	14.2	0.4	14.2	0.4	16	1.4
10	15.9	15.2	0.7	15.5	0.4	16	0.1
11	15.3	17.8	2.5	17.7	2.4	16	0.7
12	15.3	16.6	1.3	16.5	1.2	16	0.7
13	15.8	17.3	1.5	17.2	1.4	16	0.2
14	17.0	16.2	0.8	16.1	0.9	16	1.0
15	16.8	15.5	1.3	15.5	1.3	17	0.2
16	16.8	16.0	0.8	15.8	1.0	18	1.2
17	16.2	15.4	0.8	15.4	0.8	18	1.8
18	16.2	16.3	0.1	16.2	0.0	17	0.8
19	15.4	15.7	0.3	15.5	0.1	17	1.6
20	17.7	16.8	0.9	16.6	1.1	15	2.7

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
21	17.1	17.2	0.1	17.1	0.0	17	0.1
22	17.3	17.0	0.3	16.9	0.4	17	0.3
23	15.6	15.4	0.2	15.4	0.2	18	2.4
24	14.7	15.5	0.8	15.3	0.6	18	3.3
25	15.8	14.9	0.9	14.9	0.9	17	1.2
26	17.6	16.1	1.5	16.1	1.5	15	2.6
27	16.3	15.7	0.6	15.5	0.8	16	0.3
MAD			0.798		0.709		1.222

2.2 การหาค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ของตัวแบบจังหวัดเลย

ตารางผนวกที่ 9 แสดงค่า MAD ของค่าตัวเศษเหลือในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วยวิธีการต่าง ๆ ของจังหวัดเลย เดือน พฤศจิกายน 2547

วันที่	ค่าอุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์			
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		พลศาสตร์และประสบการณ์นัก พยากรณ์	
		ค่าพยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัวเศษเหลือ	ค่าพยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัวเศษเหลือ
2	17.5	16.4	1.100	20	2.500
3	17	16.1	0.900	18	1.000
4	17.6	16.8	0.800	18	0.400
5	18.7	17.7	1.000	18	0.700
6	18.4	17.7	0.700	19	0.600
7	18.9	17.8	1.100	20	1.100
8	19	18.0	1.000	20	1.000
9	19.5	18.6	0.900	20	0.500
10	20	18.9	1.100	21	1.000
11	20.8	19.4	1.400	20	0.800
12	19.5	18.7	0.800	19	0.500
13	18.6	18.4	0.200	19	0.400
14	19.4	17.9	1.500	21	1.600
15	21	19.0	2.000	21	0.000
16	19.3	19.0	0.300	22	2.700
17	19.5	17.9	1.600	21	1.500
18	18.9	17.5	1.400	20	1.100
19	16.2	16.7	0.500	20	3.800
20	17.1	15.5	1.600	19	1.900
21	16.5	15.4	1.100	17	0.500

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์			
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		พลศาสตร์และประสบการณ์นัก พยากรณ์	
		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัวเศษ เหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัวเศษเหลือ
22	14.1	14.2	0.100	17	2.900
23	16.5	15.6	0.900	19	2.500
24	17.6	18.0	0.400	19	1.400
25	21	21.9	0.900	19	2.000
26	19.9	18.0	1.900	21	1.100
27	17.5	17.4	0.100	20	2.500
28	19.6	20.0	0.400	18	1.600
29	18.9	20.0	1.100	20	1.100
30	16.5	16.8	0.300	20	3.500
MAD			0.934		1.455

ตารางผนวกที่ 10 แสดงค่า MAD ของค่าตัวเศษเหลือในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วยวิธีการต่าง ๆ
ของจังหวัดเลย เดือน ธันวาคม 2547

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์						
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2			พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
1	17.5	16.7	0.8	15.7	1.8	0.706	19	1.5
2	16.8	16.5	0.3	15.7	1.1	0.078	18	1.2
3	16.5	16.0	0.5	15.1	1.4	0.250	17	0.5
4	17.2	16.0	1.2	15.0	2.2	1.513	17	0.2
5	14.2	16.4	2.2	15.5	1.3	4.884	17	2.8
6	13.2	14.1	0.9	13.0	0.2	0.774	15	1.8
7	11.4	12.8	1.4	11.6	0.2	1.988	14	2.6
8	10.8	12.7	1.9	11.4	0.6	3.460	12	1.2
9	11	12.0	1.0	10.7	0.3	0.960	12	1.0
10	13.9	12.3	1.6	11.0	2.9	2.624	12	1.9
11	12.5	13.6	1.1	12.5	0	1.232	14	1.5
12	11	13.2	2.2	12.0	1	4.884	14	3.0
13	10.1	12.3	2.2	11.0	0.9	4.796	13	2.9
14	12	11.9	0.1	10.6	1.4	0.014	14	2.0
15	14.2	13.2	1.0	12.0	2.2	0.980	14	0.2
16	14.3	13.9	0.4	12.9	1.4	0.130	14	0.3
17	14.4	15.1	0.7	14.1	0.3	0.504	15	0.6
18	12.9	14.7	1.8	13.7	0.8	3.312	15	2.1
19	11.9	13.6	1.7	12.5	0.6	2.993	14	2.1
20	12.5	13.8	1.3	12.6	0.1	1.638	13	0.5

ตารางผนวกที่10 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์						
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2			ผลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ		ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
21	12.1	13.9	1.8	12.7	0.6	3.204	13	0.9
22	14.1	14.1	0.0	12.9	1.2	0.000	13	1.1
23	14.4	15.0	0.6	13.9	0.5	0.314	13	1.4
24	14	15.4	1.4	14.4	0.4	1.988	15	1.0
25	14.4	15.5	1.1	14.5	0.1	1.277	15	0.6
26	13.8	15.7	1.9	14.7	0.9	3.572	15	1.2
27	13.1	15.2	2.1	14.1	1	4.452	15	1.9
28	13.5	14.6	1.1	13.5	0	1.254	14	0.5
29	13.4	14.4	1.0	13.3	0.1	0.980	14	0.6
30	16	14.5	1.5	16.1	0.1	2.280	14	2.0
31	10.1	12.1	2.0	11.6	1.5	3.842	14	3.9
MAD			0.876		0.795			1.452

ตารางผนวกที่ 11 แสดงค่า MAD ของค่าตัวเศษเหลือในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วย

วิธีการต่าง ๆ ของจังหวัดเลย เดือน มกราคม 2548

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
1	8.5	10.5	2.030	9.2	0.700	12	3.500
2	8.5	10.4	1.900	8.9	0.400	10	1.500
3	10.1	11.5	1.370	10.0	0.100	11	0.900
4	12.5	13.4	0.890	12.1	0.400	11	1.500
5	12.5	13.8	1.330	12.7	0.200	13	0.500
6	12.7	14.2	1.460	13.0	0.300	14	1.300
7	13.4	14.0	0.630	12.8	0.600	15	1.600
8	15.4	14.6	0.820	13.5	1.900	15	0.400
9	15.1	15.2	0.070	14.1	1.000	16	0.900
10	14.5	14.7	0.230	13.7	0.800	16	1.500
11	15	15.6	0.550	14.5	0.500	16	1.000
12	15.2	15.7	0.470	14.6	0.600	15	0.200
13	18.4	16.0	2.440	18.0	0.400	15	3.400
14	16	15.5	0.490	14.7	1.300	18	2.000
15	15.5	13.1	2.420	15.9	0.400	16	0.500
16	13	14.1	1.130	13.2	0.200	15	2.000
17	16	13.7	2.260	15.0	1.000	14	2.000
18	16.4	15.4	1.000	15.8	0.600	16	0.400
19	18.4	16.0	2.430	17.0	1.400	17	1.400
20	19.4	17.4	2.020	18.0	1.400	18	1.400

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ของ องค์ความ คลาดเคลื่อน	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
21	16.9	17.0	0.120	16.3	0.600	18	1.100
22	19.8	17.6	2.210	18.6	1.200	18	1.800
23	19	18.3	0.750	17.5	1.500	18	1.000
24	16.9	18.6	1.670	17.8	0.900	17	0.100
25	14.5	15.0	0.530	15.5	1.000	17	2.500
26	17	15.6	1.400	17.9	0.900	15	2.000
27	16.8	17.2	0.430	16.3	0.500	17	0.200
28	18	16.7	1.320	17.7	0.300	17	1.000
29	18	17.1	0.860	17.2	0.800	18	0.000
30	17.4	17.4	0.040	16.6	0.800	18	0.600
31	18.5	16.9	1.610	16.7	1.800	20	1.500
MAD			0.785		0.756		1.281

ตารางผนวกที่ 12 แสดงค่า MAD ของค่าเสียหายเนื่องจากการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดด้วยวิธีการต่าง ๆ
ของจังหวัดเลย เดือน กุมภาพันธ์ 2548

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เสียหาย	ค่า พยากรณ์	ค่าสัมบูรณ์ข องค่าความ คลาดเคลื่อน	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เสียหาย
1	20.5	19.1	1.4	20.9	0.4	20	0.5
2	20.5	19.9	0.6	21.0	0.5	20	0.5
3	21.4	19.9	1.6	20.6	0.8	20	1.4
4	21.5	20.0	1.5	20.2	1.3	23	1.5
5	20.2	20.3	0.1	19.7	0.5	23	2.8
6	20.7	19.5	1.2	19.7	1.0	22	1.3
7	20.5	18.8	1.7	21.3	0.8	21	0.5
8	21.7	19.5	2.2	21.1	0.6	21	0.7
9	22.0	20.0	2.0	21.0	1.0	21	1.0
10	20.7	19.7	1.0	19.2	1.5	23	2.3
11	18.4	18.5	0.1	17.8	0.6	20	1.6
12	19.3	17.5	1.9	20.1	0.8	19	0.3
13	21.4	19.5	1.9	21.8	0.4	19	2.4
14	19.5	18.2	1.3	21.1	1.6	20	0.5
15	17.3	16.7	0.6	19.1	1.8	20	2.7
16	16.5	16.5	0.0	15.5	1.0	18	1.5
17	16.6	15.6	1.0	17.0	0.4	18	1.4
18	16.8	15.4	1.4	17.2	0.4	17	0.2
19	18.0	16.5	1.5	18.2	0.2	17	1.0
20	15.9	16.4	0.5	15.5	0.4	18	2.1

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

วันที่	ค่า อุณหภูมิ ต่ำสุดจริง	วิธีพยากรณ์					
		ตัวแบบรูปแบบที่ 1		ตัวแบบรูปแบบที่ 2		พลศาสตร์	
		ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ	ค่า พยากรณ์	ค่า สัมบูรณ์ ของค่าตัว เศษเหลือ
21	16.0	15.1	0.9	14.1	1.9	17	1.0
22	18.5	16.6	1.9	19.0	0.5	17	1.5
23	18.2	17.2	1.0	18.7	0.5	18	0.2
24	15.5	17.6	2.1	16.7	1.2	18	2.5
25	15.4	15.7	0.3	14.7	0.7	17	1.6
26	16.2	16.8	0.6	15.8	0.4	17	0.8
27	17.4	16.3	1.1	16.1	1.3	18	0.6
MAD			0.798		0.802		1.274

ประวัติผู้เขียน

นายอภิรักษ์ เคนไชวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม 2512 ที่จังหวัดสกลนคร สำเร็จปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) จากวิทยาลัยครูสกลนคร ปีการศึกษา 2537 ประกาศนียบัตรอุดมศึกษาจาก โรงเรียนอุดมศึกษา กรมอุดมศึกษา ปีการศึกษา 2532 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ไฟฟ้ากำลัง)จากโรงเรียนเอ็น-เทค อินเตอร์เนชันแนลเทคโนโลยีหนองคาย ปีการศึกษา 2543

ปี พ.ศ.2532 เข้ารับราชการในตำแหน่งเจ้าหน้าที่อุดมศึกษา 1 สังกัดกรมอุดมศึกษา ปี พ.ศ.2537 สอบโอนย้ายไปดำรงตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 3 สังกัดวิทยาลัยเทคนิคเลย กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ ระดับ 6 สังกัดมหาวิทยาลัยนครพนม จ. นครพนม