



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแพร่กระจายของสารประกอบพอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น  
ละอองขนาดต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้วัสดุชีวมวล และระหว่างเกิดปัญหาหมอก  
ควันในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

**Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Aerosol Particles  
of Different Sizes from Biomass Burning and during Haze Period in Northern Region  
of Thailand**

นางบุษยามาส ทิมพ์พรรณชาติ

นางสาวสุวรรณี จรรยาพูน

นางสาวขวัญศิริ ศิริมงคล

นางสาวจตุพร พูลทวี

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556

คณะวิทยาศาสตร์ นางบุษยามาส ทิมพ์พรรณชาติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแพร่กระจายของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น  
ละอองขนาดต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้วัสดุชีวมวล และระหว่างเกิดปัญหาหมอก  
ควันในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

**Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Aerosol Particles  
of Different Sizes from Biomass Burning and during Haze Period in Northern Region  
of Thailand**

นางบุษยมาศ พิมพ์พรรณชาติ

นางสาวสุวรรณี จรรยาพูน

นางสาวขวัญศิริ ศิริมงคลา

นางสาวจตุพร พูลทวี

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 145500  
รับเดือนปี 24 ก.พ. 2560



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556

คณะวิทยาศาสตร์ นางบุษยมาศ พิมพ์พรรณชาติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การแพร่กระจายของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละออง  
ขนาดต่าง ๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้วัสดุชีวมวลและระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

แหล่งเงิน ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์.....

ประจำปีงบประมาณ 2556..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 2..... ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2555..... ถึง กันยายน 2557.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

1. นางบุญยมาศ พิมพ์พรรณชาติ สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล..... (หัวหน้า  
โครงการ)

โทรศัพท์ (662)-329-8400-10 ต่อ 283, 316

โทรสาร (662)-329-8400-10 ต่อ 284

E-mail: [knbusaya@kmitl.ac.th](mailto:knbusaya@kmitl.ac.th)

2. นางสาวสุวรรณี จรรยาพูน สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล..... (ผู้ร่วมโครงการ)

โทรศัพท์ (662)-329-8400-11 ต่อ 262, 349

โทรสาร (662)-329-8412

E-mail: [kjsuwann@kmitl.ac.th](mailto:kjsuwann@kmitl.ac.th)

### บทคัดย่อ

หมอกควันในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยถือเป็นปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นต่อเนื่องมาหลายทศวรรษ ความรุนแรงปรากฏชัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลสารมลพิษและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี ค.ศ. 2005 - 2010 เพื่อสร้างแบบจำลองที่ใช้พยากรณ์ปริมาณความเข้มข้นของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน โดยใช้อนุกรมเวลา ซึ่งทำให้มองภาพรวมของปัจจัยต่างๆ และแนวโน้มในอนาคต หลังจากนั้นได้ทำการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเพื่อพยากรณ์ระดับการเกิดหมอกควัน โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ การเกิดหมอกควันที่ไม่มีผลต่อสุขภาพ มีผลต่อสุขภาพ และมีผลต่อสุขภาพมาก นอกจากนี้ยังมีประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน ได้แก่  $PM_{10}$  ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ซึ่งทุกปัจจัยเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเชิงบวกเหมาะสมต่อการพยากรณ์ด้วยวิธีของโฮลต์และวินเซอร์ แบบจำลองระดับการเกิดหมอกควันให้ค่า Pseudo  $R^2 = 0.596$  สามารถพยากรณ์ระดับการเกิดหมอกควันในปี 2011 ได้ถูกต้อง 93.7% คุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์ดี 60% ปาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลาง 31.23% และมีผลต่อสุขภาพ 8.77% แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสำหรับพยากรณ์ปริมาณ  $PM_{10}$  โดยใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันให้ค่า  $R^2 = 0.8615$  และ  $RMSE = 11.18$

คำสำคัญ : หมอกควัน ดัชนีคุณภาพอากาศ อนุกรมเวลา วิธีของโฮลต์และวินเซอร์ การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Aerosol Particles of Different Sizes from Biomass Burning and during Haze Period in Northern Region of Thailand

**Researcher:**..... Busayamas Pimpunchat, Suwannee Junyapoon.....

**Faculty:** ..... Science..... **Department:** Mathematics.....

### ABSTRACT

Haze and air pollutions are major environmental problems in the upper Northern region in Thailand. The severity of this problem has clearly appeared in dry season every year particular February to April. The pollutants and meteorological data in 2005 – 2010 were analyzed in this paper. The study aims to forecast associated factors of haze problem by using time series. The logistic regression was considered for levels of daily haze problem: not much health effect, more health effect and alert and serious health effect. In addition genetic algorithm is applied for multiple regressions for forecasting  $PM_{10}$  concentrations. The associated factors of monthly haze problem are  $PM_{10}$ ,  $CO_2$ ,  $NO_2$ , Relative Humidity and Rain. Each factor has an additive seasonal effect, the Holt – Winter’s method is a good method for this model. The model gives Pseudo  $R^2 = 0.596$ . The results of levels of daily haze problem have 93.7% accuracy for forecasting value in 2011. Most air quality is good. Multiple regression model for forecasting  $PM_{10}$  concentrations give  $R^2 = 0.8615$  and  $RMSE = 11.18$ .

**Keywords :** Haze Problem,  $PM_{10}$ , Air Quality Index, AQI, Time Series, Holt – Winter’s method, Logistic Regression, Multiple Regressions, Genetic algorithm, GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ให้การสนับสนุนข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ของคณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556



นางบุษยามาส พิมพ์พรรณชาติ  
นางสาวสุวรรณี จรรยาพูน  
นางสาววัญศิริ ศิริมงคลา  
นางสาวจตุพร พูลทวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
1.5 สมมติฐานงานวิจัย.....	8
1.6 กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....	8
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 สถานการณ์หมอกควันในประเทศไทย.....	9
2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศ.....	12
2.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์.....	15
2.4 ฝุ่นละออง.....	15
2.5 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง.....	16
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละออง.....	17
2.7 ผลกระทบของฝุ่นละออง.....	18
2.8 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	19
2.9 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา.....	21
2.10 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการวิเคราะห์การถดถอย.....	36
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	43
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>47</b>
3.1 ข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	47
3.2 ตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา.....	47
3.3 ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก.....	50
3.4 ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	53
3.5 สารเคมีและอุปกรณ์.....	53
3.6 สภาพพื้นที่เก็บตัวอย่าง บริเวณจังหวัดพะเยา.....	54
3.7 การติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง.....	56
3.8 การวิเคราะห์สาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ.....	57
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย.....</b>	<b>60</b>
4.1 ตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลาของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน.....	60
4.2 ตัวแบบพยากรณ์การเกิดหมอกควัน โดยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก.....	64
4.3 ตัวแบบพยากรณ์ PM10 โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ.....	67
4.4 ผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน.....	68
4.5 ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ.....	72
4.6 ชนิดและปริมาณของสารประกอบ PAHs ที่เป็นสารร่วมก่อมะเร็ง และสารก่อมะเร็ง.....	80
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>81</b>
5.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	81
<b>บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....</b>	<b>83</b>
6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้และที่อยู่ระหว่างดำเนินการทั้งหมด.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก.....	89
ภาคผนวก ข.....	91
ภาคผนวก ค.....	107
ภาคผนวก ค. สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	112
ประวัตินักวิจัย.....	115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทย
2.2	ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับดัชนีคุณภาพอากาศ
2.3	สมบัติและความเป็นสารก่อมะเร็งของสาร PAHs
2.4	ข้อมูลอนุกรมเวลา
3.1	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆและ $PM_{10}$ (รายเดือน)
3.2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆและ $PM_{10}$ (รายวัน)
3.3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระต่างๆ
3.4	ช่วงวันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน
3.5	สถานะของการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบ PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS
4.1	ค่า $\alpha_1$ และ $\alpha_3$ ที่ทำให้ RMSE มีค่าน้อยที่สุด
4.2	ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันในปีค.ศ.2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 สภาพอากาศของกรุงเทพมหานครที่เกิดจากผลกระทบของโอโซน	
1.2 ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ	
1.3 การแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดต่างๆในระบบทางเดินหายใจ	
2.1 สถานการณ์หมอกควันในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่	
2.2 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ	
2.3 แนวโน้มขดขยายของสินค้าชนิดหนึ่ง	
2.4 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการแปรผันตามฤดูกาลเชิงบวก	
2.5 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการแปรผันตามฤดูกาลเชิงลบ	
2.6 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการแปรผันตามวัฏจักร	
2.7 พังก์ชันตอบสนองโลจิสติก	
2.8 วิวัฒนาการของปากนกตามลักษณะของอาหารตามทฤษฎีของชาลส์ ดาร์วิน	
2.9 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามทฤษฎีของเกรเกอร์ เมนเดล	
2.10 หน้าจอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยโปรแกรมสำเร็จรูป	
2.11 แผนผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	
3.1 ปริมาณ $PM_{10}$ รายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010	
3.2 ปริมาณ CO รายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010	
3.3 ปริมาณ $NO_2$ รายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010	
3.4 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010	
3.5 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010	
3.6 ลักษณะภูมิประเทศ จังหวัดพะเยา	
3.7 พื้นที่เก็บตัวอย่าง	
4.1 ปริมาณ $PM_{10}$ ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน ปี ค.ศ.2005 – 2010	
4.2 ปริมาณ CO ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน ปี ค.ศ.2005 – 2010	
4.3 ปริมาณ $NO_2$ ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือนปี ค.ศ.2005 – 2010	
4.4 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน	
4.5 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน ปี ค.ศ.2005 – 2010	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 - ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6 ปริมาณ PM <sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดปี ค.ศ.2005 – 2011	
4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก	
4.8 ผลการวิเคราะห์การเกิดหมอกควัน โดยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกในปี 2011	
4.9 ความเข้มข้นรายวันของ PM <sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดในปี ค.ศ. 2011	
4.10 ระดับเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของ PM <sub>10</sub> ในปี ค.ศ. 2011	
4.11 ความเข้มข้นรายวันของ PM <sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์ในปี ค.ศ. 2011	
4.12 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน	
4.13 รูปแบบการกระจายขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศปกติ	
4.14 สภาพบรรยากาศบริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ จ.พะเยา	
4.15 รูปแบบการกระจายตัวของ Total-PAHs ในอนุภาคขนาดต่างๆ	
4.16 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน	
4.17 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557	
4.18 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 11-16 มีนาคม 2557	
4.19 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม 2557	
4.20 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 3-8 เมษายน 2557	
4.21 สัดส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาหมอกควันปกคลุมในพื้นที่ภาคเหนือในระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน ได้เกิดต่อเนื่องมาเป็นเวลานานนับสิบปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) เนื่องจากเกษตรกรรมเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง เพื่อเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูก นอกจากนี้ ยังมีการเผาป่าเพื่อหาเห็ดป่า การเผาขยะ และการเกิดไฟป่า ในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันจะมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และโอโซนมีค่าเกินมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ ส่งผลให้ประชาชนมีแนวโน้มเกิดโรกระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบต่อการทำงาน นอกจากนี้ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กแล้ว การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอน ยังก่อให้เกิดสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ถึงแม้ว่ารัฐบาลจะมีการณรงค์ให้เลิกการเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้ง แต่ก็ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร

พะเยาเป็นจังหวัดหนึ่งทางภาคเหนือของประเทศไทยที่ประสบปัญหาหมอกควัน เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกรรม และนิยมกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยวิธีการเผา นอกจากนี้ ลักษณะภูมิประเทศ มีภูเขาล้อมรอบ มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ส่งผลให้ในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันนั้น มลพิษทางอากาศไม่สามารถกระจายตัวออกไปได้ โดยทั่วไปหมอกควันและมลพิษทางอากาศจะลอยขึ้นไปในอากาศสูงได้ประมาณ 3–5 กิโลเมตร แต่เมื่อมีภูเขาสูงกั้นและพื้นที่ชุมชนหรือเมืองมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ([www.phayao.go.th](http://www.phayao.go.th)) จึงทำให้หมอกควันและมลพิษสะสมในบรรยากาศปริมาณมากจนก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น เกิดอาการระคายเคืองทางตา และระบบทางเดินหายใจ อาจส่งผลต่อโรกระบบทางเดินหายใจ จากข้อมูลโรงพยาบาลพะเยาพบว่าผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี

งานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายตัวและความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ และศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยาเปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศปกติ โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8- Stages Cascade Impactor) เพื่อใช้เป็นข้อมูลของสัดส่วนแหล่งกำเนิด (Source apportionment) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก และสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา

สถานการณ์หมอกควันในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยถือเป็นปัญหาสำคัญ ความรุนแรงของปัญหานี้โดยทั่วไปปรากฏชัดเจนในช่วงหน้าแล้ง ซึ่งมักพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแห้งแล้งส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของไฟป่า และในช่วงเวลาดังกล่าว เกษตรกรจะทำการเผาเศษวัสดุเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำการเกษตรในช่วงฤดูฝน ประกอบกับสภาพภูมิประเทศซึ่งมีภูเขาสูงล้อมรอบ ทำให้มลพิษต่างๆถูกกักไว้และแผ่ปกคลุมทั่วบริเวณ ซึ่งสภาวะอากาศที่แห้งและนิ่งทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน ประกอบกับฝนตกน้อยทำให้การชะล้างหมอกควันหรือฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นไปได้น้อย ทั้งนี้ ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปในประเทศไทยที่ทางกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดไว้คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปีจะต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป ต่อสุขภาพอนามัย และต่อธุรกิจการท่องเที่ยวและบริการ จากปัญหาข้างต้นทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบแนวโน้มของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหมอกควัน โดยอาศัยการวิเคราะห์อนุกรมเวลามาใช้ในการพยากรณ์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเกิดหมอกควัน

ดัชนีคุณภาพอากาศถือเป็นการรายงานคุณภาพอากาศสู่สาธารณะชนเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป ว่าคุณภาพอากาศอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ ดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทยคำนวณจากความเข้มข้นของสารมลพิษ 5 ปัจจัย ได้แก่ ก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ทั้งนี้ ดัชนีคุณภาพอากาศที่คำนวณได้ของปัจจัยใดมีค่าสูงที่สุด จะใช้ค่านั้นเป็นค่าบ่งชี้คุณภาพอากาศของวันนั้น สารมลพิษทั้ง 5 มีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ และสามารถส่งผลต่อสุขภาพมนุษย์ได้ดังต่อไปนี้

#### 1) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นก๊าซไม่มีสี กลิ่น และรส ทำให้ความเป็นอันตรายสูง เนื่องจากไม่สามารถรับรู้ได้ว่ามีก๊าซนี้อยู่ในบรรยากาศ โดยปกติในบรรยากาศทั่วไปมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณ 0.1 พีพีเอ็ม (ส่วนในล้านส่วน) ในท้องถนนที่มีการจราจรหนาแน่นอาจมีค่าสูงถึง 100 – 200 พีพีเอ็ม เมื่อหายใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไป ก๊าซนี้จะลดความสามารถของเลือดในการเป็นตัวนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ซึ่งจะทำให้ร่างกายได้รับก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้หัวใจทำงานสูบฉีดเลือดมากขึ้น มีอาการมึนงง ตาพร่ามัว ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย โดยหากระดับความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 ppm จะทำให้เป็นลม หมคสติ และเสียชีวิตได้

#### 2) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>)

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของไนโตรเจนกับออกซิเจนในระหว่างการทำเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทต่างๆที่อุณหภูมิสูงๆ เมื่อหายใจเข้าไปแล้วอาจทำให้เกิดความระคายเคืองในดวงลม ทำให้เกิดอาการคล้ายกับโรคหลอดลมตีบตัน โดยเฉพาะในบุคคลที่เป็นโรคหอบหืดอยู่แล้ว นอกจากนี้หากก๊าซนี้เข้าไปใน

ปอดจะเปลี่ยนไปเป็นสารไนโตรซามีน (Nitrosamines) ซึ่งทำให้เกิดมะเร็งในปอดได้ มนุษย์เริ่มได้กลิ่นก๊าซนี้ที่ระดับ 230 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หากมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดกลิ่นเร็วขึ้น ผู้ป่วยที่เป็นโรคหืดหอบอาจมีอาการเร็วขึ้นหากได้รับก๊าซนี้ที่ระดับ 190 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คนทั่วไปเริ่มต้นมีอาการเมื่อได้รับก๊าซนี้ที่ระดับความเข้มข้นประมาณ 1,300 – 1,800 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

### 3) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี หรืออาจมีสีเหลืองอ่อนๆ มีรส และกลิ่นที่ระดับความเข้มข้นที่สูงพอ ก๊าซนี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน (ซัลเฟอร์) เป็นส่วนประกอบ เป็นก๊าซที่มีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพ ทำให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง และเยื่อเมือก ทำให้เกิดการเสปตา เมื่อเราหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไป จะทำให้ก๊าซละลายเป็นของเหลวในระบบทางเดินหายใจ ทำให้เป็นโรกระบบทางเดินหายใจได้ง่าย และเกิดการกำเริบของโรคปอดขึ้น เช่น โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง และโรคปอดอื่นๆ ความอันตรายจะรุนแรงมากขึ้นเมื่อรวมกับฝุ่นละออง ซึ่งจะทำให้เกิดความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในระบบทางเดินหายใจมากขึ้น

### 4) ก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>)

ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสีหรือมีสีฟ้าอ่อน มีกลิ่นฉุน ในธรรมชาตินั้นก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศที่มนุษย์อยู่หรือ โทรโปสเฟียร์ (Tropospheric ozone หรือ ground level zone) มีปริมาณที่เหมาะสมอยู่แล้ว ทำให้อากาศสะอาดเนื่องจากสามารถกำจัดเชื้อโรคได้ แต่เมื่อมีปริมาณสูงขึ้น จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ จะก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ลดความสามารถในการทำงานของปอดลง ทำให้เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่ป่วยเป็นโรคปอดเรื้อรังอยู่แล้ว ก๊าซโอโซนก่อให้เกิดปรากฏการณ์หมอกควันเคมีแสง หรือโฟโตเคมีคัลสม็อก (Photochemical smog) ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีลักษณะเป็นหมอกควันสีขาวปกคลุมไปทั่วบรรยากาศ สามารถมองเห็นได้จากตึกสูง ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งแสดงถึงสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครในวันที่มีก๊าซโอโซนสูง และในวันที่มีก๊าซโอโซนต่ำ ปรากฏการณ์นี้มีผลให้เกิดการสะสมของสารมลพิษทางอากาศในบริเวณนั้นมากขึ้น เนื่องจากมีการแพร่กระจายได้น้อย (ตีพิมพ์ ชูอินทร์, 2556)



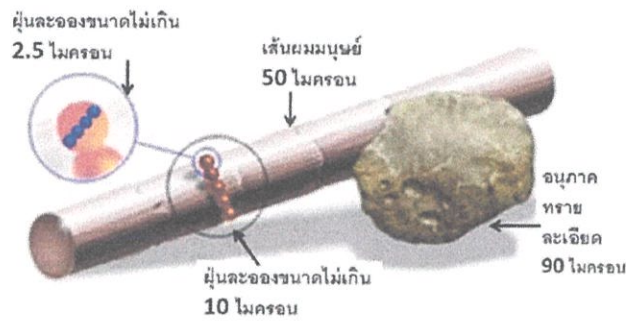
รูปที่ 1.1 สภาพอากาศของกรุงเทพมหานครที่เกิดจากผลกระทบของโอโซน

(ที่มา [http://www.premu.cmu.ac.th/perin\\_detail.php?perin\\_id=303](http://www.premu.cmu.ac.th/perin_detail.php?perin_id=303))

#### 5) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ )

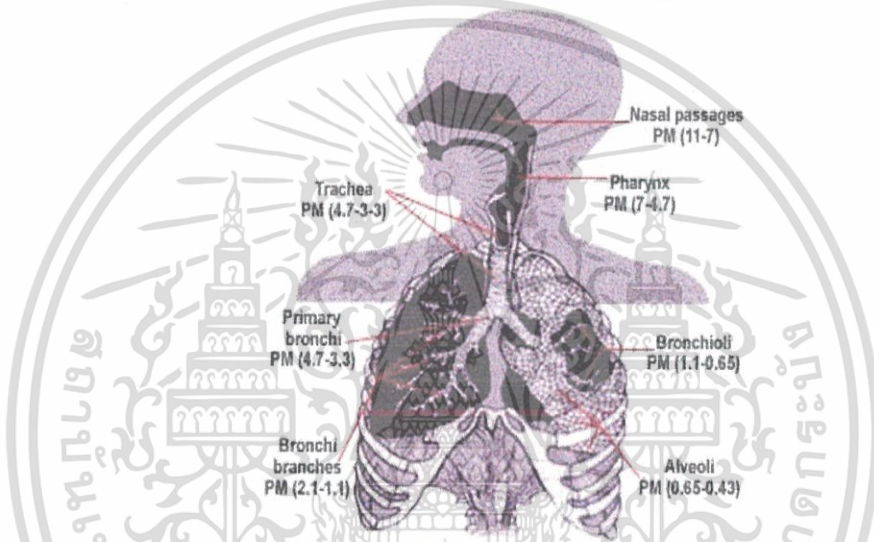
ฝุ่นละออง คือ กลุ่มของมลสารอนุภาคเล็กๆ อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่กระจัดกระจายอยู่ในบรรยากาศ ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบๆตัวเรามีทั้งขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นทรายขนาดใหญ่ มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไปจนถึงขนาดเล็กมากตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองเหล่านี้เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ จะก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ เช่น เนื้อเยื่อปอด ซึ่งหากได้รับในปริมาณมากหรือในระยะเวลาอันยาวนานจะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นพังผืดหรือแผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หอบเหนื่อย อึดอัด เกิดหอบหืด ถุงลมโป่งพอง และโอกาสเกิดโรกระบบทางเดินหายใจเนื่องจากการติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้ (นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, 2552) ภาพฝุ่นละอองขนาดต่างๆแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งแสดงถึงอนุภาค ฝุ่นทรายละเอียดซึ่งมีขนาด 90 ไมครอน เส้นผมของมนุษย์ซึ่งมีขนาด 50 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เปรียบเทียบกับ ฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน รูปที่ 1.3 แสดงถึงการแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในระบบทางเดินหายใจ จากการวิจัยพบว่าฝุ่นละอองที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้จะสามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอด และฝุ่นละอองจะเป็นพิษมากขึ้นหากฝุ่นละอองนั้นเกิดจากการรวมตัวของก๊าซบางชนิด เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน รายงานจากการศึกษาวิจัยพบว่าพื้นที่ซึ่งมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณมากจะมีจำนวนผู้ป่วยโรกระบบทางเดินหายใจมากขึ้นด้วย (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

(ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554)



รูปที่ 1.3 การแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดต่างๆในระบบทางเดินหายใจ

(ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554)

เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยสามารถแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ 0-50 อยู่ในเกณฑ์คุณภาพอากาศดี 51-100 อยู่ในเกณฑ์คุณภาพอากาศปานกลาง ไม่มีผลต่อสุขภาพ 101-200 อยู่ในเกณฑ์ที่มีผลต่อสุขภาพ กลุ่มเสี่ยง ได้แก่ ผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ เด็ก และผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคารเป็นเวลานาน 201-300 อยู่ในเกณฑ์ที่มีผลต่อสุขภาพมาก กลุ่มเสี่ยงควรจำกัดการทำกิจกรรมภายนอกอาคาร และค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่มากกว่า 300 อยู่ในเกณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ บุคคลทั่วไปควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมภายนอกอาคาร สำหรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรอยู่ในอาคารเท่านั้น

สารมลพิษเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ โดยเฉพาะเด็ก คนชรา และผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ จึงมีการตรวจวัดและรายงานข้อมูลดังกล่าวผ่านดัชนีคุณภาพอากาศ เพื่อชี้วัดถึงสถานการณ์มลพิษในแต่ละพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในพื้นที่ที่เกิดปัญหาหมอกควันนั้น ผลกระทบต่อสุขภาพของฝุ่นละอองขนาดเล็กจะเกิดมากที่สุดซึ่งเราจะพบจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่เกิดปัญหาหมอกควัน นอกจากนี้เราจะพบว่าในช่วงที่เกิดสถานการณ์หมอกควัน  $PM_{10}$  เป็นสารมลพิษที่ให้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศสูงสุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการเกิดหมอกควัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ค้นหารูปแบบอนุกรมเวลาที่เหมาะสมกับ  $PM_{10}$  และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน เพื่อใช้ตัวแบบในการพยากรณ์ปริมาณความเข้มข้นรายเดือนของปัจจัยเกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน
2. สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยใช้ตัวแปรต้นคือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน เพื่อพยากรณ์ปริมาณความเข้มข้นรายเดือนของ  $PM_{10}$
3. สร้างแบบจำลองดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับปัญหาหมอกควัน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกในการพยากรณ์การเกิดปัญหาหมอกควันรายวัน และวิเคราะห์เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็กเพื่อศึกษาว่าสภาพอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่
4. ศึกษารูปแบบการกระจายขนาดและความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา
5. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่น (p-PAHs) ขนาดต่าง ๆ ในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันในจังหวัดพะเยา

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาดัชนีคุณภาพอากาศโดยอาศัยข้อมูลสารมลพิษทางอากาศและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และพะเยา โดยในส่วนของการทำงานแบบจำลองข้อมูลที่ได้มาจากสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2005 ถึง เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนในการพิจารณา เพื่อให้มองเห็นภาพรวมของข้อมูล ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายวันในการพิจารณา เนื่องจากหมอกควันมักเกิดในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนเท่านั้น เหมาะที่จะพิจารณาเป็นรายวันเพื่อจะให้เห็นความชัดเจนของตัวแบบ ส่วนในการเก็บข้อมูลตัวอย่างจะทำการเก็บข้อมูลในพื้นที่ของจังหวัดพะเยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

- 1) รวบรวมข้อมูลรายชั่วโมงของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา
- 2) พิจารณาข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของทุกปัจจัยเพื่อค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน
- 3) ค้นหารูปแบบอนุกรมเวลาที่เหมาะสมในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของปี ค.ศ. 2005 – 2010
- 4) พยากรณ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันในปี ค.ศ. 2011 และตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบ โดยพิจารณาจากรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
- 5) พิจารณาข้อมูลค่าเฉลี่ยรายวันของข้อมูลทั้งหมด เพื่อค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน
- 6) ค้นหารูปแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกที่เหมาะสมในการอธิบายการเกิดปัญหาหมอกควันรายวัน
- 7) พยากรณ์ระดับการเกิดหมอกควัน และตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบ โดยพิจารณาจากรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
- 8) นำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันเพื่อพยากรณ์ปริมาณ  $PM_{10}$  รายเดือน โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหาค่าพารามิเตอร์ในสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ
- 9) พยากรณ์ปริมาณ  $PM_{10}$  และตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบ โดยพิจารณาจากรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
- 10) เปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณ  $PM_{10}$  ระหว่างการวิเคราะห์อนุกรมเวลากับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
- 11) ศึกษาแบบการกระจายขนาดและความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ในบรรยากาศของจังหวัดพะเยาระหว่างที่เกิดปัญหาหมอกควัน และสภาพบรรยากาศปกติ โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วย 8-Stage Cascade Impactor ที่มีขนาดแตกต่างกัน 8 ขนาด คือ  $> 9.0$ ,  $9.0-5.8$ ,  $5.8-4.7$ ,  $4.7-3.3$ ,  $3.3-2.1$ ,  $2.1-1.1$ ,  $1.1-0.7$ ,  $0.7-0.4$  และ  $< 0.4$  ไมครอน เป็นระยะเวลา 5 วัน ต่อการเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน 2557 ในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน และสภาพบรรยากาศปกติในเดือนธันวาคม 2556 และมีถุนายน 2557
- 12) ศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ในบรรยากาศของจังหวัดพะเยาระหว่างที่เกิดปัญหาหมอกควัน และสภาพบรรยากาศปกติ โดยสกัด PAHs ด้วย Acetonitrile โดยใช้ Ultrasonicator จากนั้น วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS-SIM
- 13) คำนวณสัดส่วนของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่อะไรในระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 14) สรุปผลการวิจัย

### 1.5 สมมติฐานของงานวิจัย

สมมติฐานในการศึกษาครั้งนี้ คือคาดว่าปัจจัยที่นำมาศึกษามีความเกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน สามารถค้นหาตัวแบบโดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลาที่เหมาะสมในการอธิบายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน สามารถนำการถดถอยโลจิสติกมาใช้ในการพยากรณ์ระดับการเกิดหมอกควัน และสามารถค้นหาตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเพื่อพยากรณ์ปริมาณของ  $PM_{10}$  ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 1.6 กรอบแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้สนใจการนำกระบวนการสโตแคสติกมาอธิบายแบบจำลองคุณภาพอากาศ ผ่านการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ค่าของ  $PM_{10}$  เป็นตัวแปรตาม และเวลาเป็นตัวแปรอิสระ กล่าวคือสนใจเพียงค่าของ  $PM_{10}$  ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาหนึ่ง การวิเคราะห์อนุกรมเวลามีรูปแบบที่เป็นไปได้หลากหลายรูปแบบ ดังนั้นจึงต้องมีการค้นหาแบบที่เหมาะสมเพื่อใช้อธิบายตัวแบบได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย นอกจากนั้นได้นำการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพมาวิเคราะห์การเกิดหมอกควัน เพื่อใช้เป็นตัวแบบในการพยากรณ์การเกิดสถานการณ์หมอกควันในอนาคต นอกจากนี้ยังทำการพยากรณ์ปริมาณของ  $PM_{10}$  ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกความรุนแรงของสถานการณ์หมอกควัน

### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำข้อมูลสารมลพิษที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปัญหาหมอกควันไปใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เพื่อวางแผนป้องกันปัญหามลพิษทางอากาศในอนาคต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงสถานการณ์หมอกควันในประเทศไทย ความหมายของดัชนีคุณภาพอากาศ การคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศและเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศ พร้อมทั้งกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยวิธีของโฮลต์และวินเซอร์

#### 2.1 สถานการณ์หมอกควันในประเทศไทย

หมอก (fog) เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำเมื่ออากาศหนาวเย็น ส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณที่มีอากาศเย็น ท้องฟ้าแจ่มใสไม่มีลม อาจทำให้เกิดน้ำค้าง น้ำค้างแข็งบริเวณใกล้พื้นดิน และหมอกมักเกิดในช่วงเวลากลางคืน หรือ เช้าๆ หมอกนั้นไม่จัดว่าเป็นมลพิษทางอากาศ แต่จัดเป็นมลภาวะทางทัศนียภาพของผู้ที่ขับขียานพาหนะ ([www.hiso.or.th/hiso/health\\_event/ghealth\\_event5.php](http://www.hiso.or.th/hiso/health_event/ghealth_event5.php))

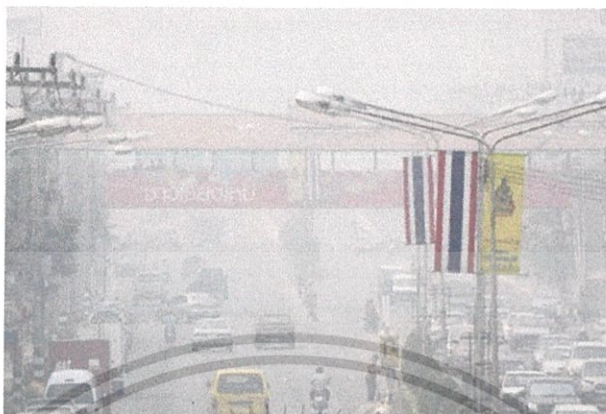
ควัน (smoke) คืออนุภาคเล็กๆ ที่มีขนาด 0.5 – 10 ไมครอน ลอยปะปนอยู่ในอากาศ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงหรือสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอนและออกไซด์ของคาร์บอน

ส่วนหมอกควัน (smog) หมายถึง การผสมของควันหรือฝุ่นในอากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากเผาเศษวัสดุ เหลือใช้ทางการเกษตร และไฟฟ้า หมอกควันจัดเป็นมลพิษทางอากาศอย่างหนึ่งในบรรดาสารต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในอากาศ อาทิเช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน เป็นต้น สำหรับหมอกควันจัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน แต่การที่เราจะดูว่าฝุ่นละอองนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือไม่ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นที่ได้รับด้วย และเพื่อให้ประชาชนโดยทั่วไปเข้าใจได้ง่ายจึงได้มีการคิดค่าดัชนี ซึ่งสามารถบอกถึงระดับคุณภาพอากาศที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่างๆ ไว้ด้วย เรียกว่า ดัชนีคุณภาพอากาศ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจัดเป็นฝุ่นขนาดเล็ก จะอยู่ในอากาศได้นาน เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ และสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนทางอากาศ กระแสลม เป็นต้น

สถานการณ์หมอกควัน ในประเทศไทยสำหรับภาคเหนือตอนบนประสบปัญหา 8 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย น่าน แพร่ ลำพูน ลำปาง แม่ฮ่องสอน และพะเยา เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปีระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเมษายน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพอากาศที่แห้งและนิ่ง ทำให้สารมลพิษสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน ทำให้การเกิดมลพิษเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ สาเหตุหลักเกิดจากไฟฟ้า การเผาเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเกษตร หรืออาจเป็นมลพิษหมอกควันข้ามแดนมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากประเทศเพื่อนบ้าน สำหรับประเทศไทยได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ  $PM_{10}$  ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



### รูปที่ 2.1 สถานการณ์หมอกควันในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

(ที่มา: <http://www.riskcomddc.com/th/news/newspaper-detail.php?id=23655>)

ปัญหาหมอกควันถือเป็นปัญหาดำคัญในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยงานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ.2008 – 2011 โดยการสนับสนุนการวิจัยของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พบว่าในช่วงหน้าแล้งของภาคเหนือตอนบนมักเกิดมลพิษทางอากาศจากหมอกควัน โดยพบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) เป็นสารมลพิษหลัก แล้วยังมีงานวิจัยอีกว่า ปัญหาหมอกควันในเขตนอกเมืองจะมีความรุนแรงสูงกว่า ทั้งนี้เพราะสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาหมอกควันคือ ไฟป่า และการเผาเศษวัสดุเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำการเกษตรของเกษตรกร ซึ่งเป็นพื้นที่นอกเมืองเสียส่วนมาก ประกอบกับสภาพภูมิประเทศซึ่งมีภูเขาสูงล้อมรอบ ทำให้มลพิษต่างๆ ถูกกักไว้และแผ่ปกคลุมทั่วเมือง ซึ่งสภาวะอากาศที่แห้งและนิ่งทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน นอกจากนี้ปริมาณฝนที่ตกน้อยทำให้การชะล้างหมอกควันหรือฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นไปได้น้อย ทั้งนี้ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศโดยทั่วไปในประเทศไทยที่ทางกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดไว้คือ ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป ต่อสุขภาพอนามัย ต่อธุรกิจการท่องเที่ยวและบริการในหลายพื้นที่ (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยดังแสดงในรูปที่ 2.1

การป้องกันและแก้ไขปัญหานี้ จะต้องมีการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่ และรายงานข้อมูลให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับทราบ ดังนั้นการติดตามตรวจสอบและคาดการณ์สถานการณ์การเกิดปัญหาหมอกควันนี้ จึงมีส่วนสำคัญเพื่อการเตรียมพร้อมรับมือสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเครือข่ายการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทยจัดตั้งขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตรวจสอบสภาพปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆของประเทศไทย เพื่อเฝ้าระวังสภาพปัญหา ศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำไปใช้กำหนดมาตรการและแนวทางการแก้ไขปัญหา การลดและป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ โดยได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 เป็นต้นมา ระบบเครือข่ายการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1) สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ (Ambient Air Monitoring Station)

ประกอบด้วยสถานีตรวจวัดแบบกึ่งถาวร (สามารถเคลื่อนย้ายได้ถ้าหากมีความจำเป็น) และหน่วยตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ (Mobile Unit) โดยติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลไปยังกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 2.2 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ  
(ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554)

2) ระบบจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่ไทยพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นเอง โดยมีพื้นฐานมาจากซอฟต์แวร์ของรัฐบาลสวีเดน สามารถเรียกใช้ข้อมูล ระบบฐานข้อมูลทางภูมิศาสตร์ แหล่งกำเนิดมลพิษ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประเมินการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ โดยมีศูนย์ควบคุมส่วนกลางตั้งอยู่ที่ กรมควบคุมมลพิษ กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ รวมทั้งสิ้น 57 แห่งทั่วประเทศไทย รวมทั้งสถานีตรวจวัดสภาพอากาศทาง อุตุนิยมวิทยาอีก 5 แห่ง ทำให้ทราบสถานการณ์คุณภาพอากาศและภาวะมลพิษทางอากาศได้อย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบัน มีการรายงานข้อมูลสารมลพิษทางอากาศรายชั่วโมงของสถานีตรวจวัดต่างๆ ในสื่อออนไลน์ผ่าน [www.aqmthai.com](http://www.aqmthai.com) และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้อีกด้วย

## 2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index)

ดัชนีคุณภาพอากาศ เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้ทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเป็นรูปแบบสากลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย สิงคโปร์ มาเลเซีย ประเทศไทย เป็นต้น

ดัชนีคุณภาพอากาศที่ใช้อยู่ในประเทศไทยมีการคำนวณเทียบจากมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ 5 ประเภท ได้แก่

1. ก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
2. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
3. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง
4. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $CO$ ) เฉลี่ย 8 ชั่วโมง
5. ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ในสังกัดกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศดังกล่าว คำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ และรายงานค่าดัชนีคุณภาพอากาศรายวันในแต่ละพื้นที่ โดยค่าที่คำนวณได้ของสารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าสูงสุด จะใช้เป็นค่าชี้วัดดัชนีคุณภาพอากาศของวันนั้น (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง มีสถานีตรวจวัดอากาศทั้งในกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และจังหวัดในภูมิภาค รวมทั้งสิ้น 19 จังหวัด ได้แก่ สถานีตรวจวัดอากาศจังหวัด กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร ปทุมธานี นนทบุรี เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ สระบุรี นครราชสีมา ขอนแก่น อุดรธานี ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต และสงขลา โดยมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากพารามิเตอร์หลายชนิด ได้แก่ ความเข้มข้นของก๊าซ ฝุ่นละออง (จำแนกตามขนาด) อุณหภูมิ ทิศทางลม ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ แต่ละประเทศมีการกำหนดเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศและความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่าดัชนีคุณภาพอากาศตามตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทย

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	ระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย
0-50	คุณภาพดี	ฟ้า	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
51-100	คุณภาพปานกลาง	เขียว	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
101-200	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	เหลือง	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายกลางแจ้งนอกอาคาร บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมกลางแจ้งนอกอาคารเป็นเวลานาน
201-300	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ส้ม	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งนอกอาคาร บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุควรจำกัดการออกกำลังกายกลางแจ้งนอกอาคาร
มากกว่า 300	อันตราย	แดง	บุคคลทั่วไป ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายกลางแจ้งนอกอาคาร สำหรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรอยู่ในอาคาร

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับดัชนีคุณภาพอากาศ

AQI	PM <sub>10</sub> (24 hr.)		O <sub>3</sub> (1 hr.)		SO <sub>2</sub> (24 hr.)		NO <sub>2</sub> (1 hr.)		CO (8 hr.)	
	µg./m <sup>3</sup>	ppb	µg./m <sup>3</sup>	ppb	µg./m <sup>3</sup>	ppb	µg./m <sup>3</sup>	ppb	µg./m <sup>3</sup>	ppb
50	40	51	100	100	65	25	160	85	5.13	4.48
100	120	100	200	100	300	120	320	170	10.26	9.00
200	350	203	400	203	800	305	1,130	600	17.00	14.84
300	420	405	800	405	1,600	610	2,260	1,202	34.00	29.69
400	500	509	1,000	509	2,100	802	3,000	1,594	46.00	40.17
500	600	611	1,200	611	2,620	1,000	3,750	1,993	57.50	50.21

ที่มา United States Environmental Protection Agency, July 1999, Guideline for Reporting of Daily Air Quality - Air Quality Index (AQI), 40 CFR Part 58, Appendix G.

การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศรายวันของสารมลพิษทางอากาศแต่ละประเภท

การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน คำนวณจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยแต่ละระดับของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ระดับต่างๆดังตารางที่ 2.2 ([http://www.pcd.go.th/info\\_serv/air\\_aqi.htm](http://www.pcd.go.th/info_serv/air_aqi.htm))

สูตรการคำนวณมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_i = \frac{I_{ij+1} - I_{ij}}{X_{ij+1} - X_{ij}} (X_i - X_{ij}) + I_{ij} \quad (2.1)$$

กำหนดให้

- $X_i$  = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากผลการตรวจวัด  
 $X_{ij}$  = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นค่าต่ำสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า  $X_i$  นั้น  
 $X_{ij+1}$  = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นค่าสูงสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า  $X_i$  นั้น  
 $I_i$  = ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ  
 $I_{ij}$  = ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่เป็นค่าต่ำสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า  $I_i$  นั้น  
 $I_{ij+1}$  = ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่เป็นค่าสูงสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า  $I_i$  นั้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการรายงานดัชนีคุณภาพอากาศ ได้แก่ พื้นที่ครอบคลุม ระยะเวลา ประเภทของสารมลพิษ เช่น ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนจะเกิดสถานการณ์หมอกควันในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนของทุกปี ซึ่งจะมีการรายงานดัชนีคุณภาพอากาศรายวันสม่ำเสมอในระยะเวลาดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรายงานค่า  $PM_{10}$  ซึ่งเป็นสารมลพิษที่สำคัญที่ใช้ในการบ่งบอกถึงระดับความรุนแรงของสถานการณ์หมอกควัน

#### ตัวอย่างการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ

จงคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศของข้อมูลการตรวจวัดของก๊าซ CO ที่ความเข้มข้น 8 ชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 ppb ก๊าซ  $O_3$  ที่ความเข้มข้น 1 ชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 69 ppb ก๊าซ  $NO_2$  ที่ความเข้มข้น 1 ชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 12 ppb ก๊าซ  $SO_2$  ที่ความเข้มข้น 24 ชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 40 ppb และ  $PM_{10}$  ที่ความเข้มข้น 24 ชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ  $41 \mu g/m^3$

วิธีทำ นำค่าที่ตรวจวัดได้และค่าในตารางที่ 2.2 แทนค่าลงในสมการ (2.1)

$$I_{CO} = \frac{(50 - 0)(0.29 - 0)}{(4.48 - 0)} + 0 = 3.24$$

$$I_{O_3} = \frac{(100 - 50)(69 - 51)}{(100 - 51)} + 50 = 68.37 \quad I_{NO_2} = \frac{(50 - 0)(12 - 0)}{(85 - 0)} + 0 = 7.06$$

$$I_{SO_2} = \frac{(50 - 0)(27 - 0)}{(25 - 0)} + 0 = 54$$

$$I_{PM_{10}} = \frac{(100 - 50)(41 - 40)}{(120 - 40)} + 50 = 50.625$$

ดัชนีคุณภาพอากาศของก๊าซ  $O_3$  มีค่ามากที่สุด คือ 68.37 เราจะใช้ค่า 68.37 เป็นค่าดัชนีคุณภาพอากาศของวันนี้ ซึ่งถืออยู่ในเกณฑ์คุณภาพอากาศปานกลาง ไม่มีผลต่อสุขภาพ แทนด้วยสัญลักษณ์สีเขียว

สำหรับในช่วงเวลาที่เกิดสถานการณ์หมอกควันนั้น เราจะพบว่า  $PM_{10}$  เป็นสารมลพิษหลักที่ให้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เป็นวิธีการที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ค่าลบแสดงความสัมพันธ์ทางตรงกันข้าม ค่าบวกแสดงความสัมพันธ์ทางเดียวกัน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548)

$r = 0.50$  ถึง  $1.00$  หรือ  $r = -0.50$  ถึง  $-1.00$  ถือว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับสูง

$r = 0.30$  ถึง  $0.49$  หรือ  $r = -0.30$  ถึง  $-0.49$  ถือว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง

$r = 0.10$  ถึง  $0.29$  หรือ  $r = -0.10$  ถึง  $-0.29$  ถือว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ

$r = 0.00$  ถือว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน

โดยคำนวณได้จากสมการ

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (2.2)$$

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 12 ปัจจัย ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity : RH) ความดัน (Pressure) ปริมาณน้ำฝน (Rain) ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) ทิศทางลม (Wind direction) ความเร็วลม (Wind Speed) อุณหภูมิ (Temperature) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) และก๊าซโอโซน ( $O_3$ )

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดหมอกควัน โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มาช่วยในการตัดสินใจเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดหมอกควัน นั่นคือหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆกับ  $PM_{10}$  เนื่องจาก  $PM_{10}$  เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้บ่งชี้ว่าสถานการณ์หมอกควันในพื้นที่มีความรุนแรงมากน้อยเพียงใด

## 2.4 ฝุ่นละออง (Particulate matters)

ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน จนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบ อาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลว ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน มักจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น จะทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.1 ฝุ่นละอองรวม (Total suspended particulate, TSP)

ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา มีแหล่งกำเนิดจากการฟุ้งกระจายของดินและทรายที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง ฝุ่นละอองรวมที่มีขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกโดยระบบทางเดินหายใจส่วนบน เช่น การถูกคัด หรือกรองไว้ภายในช่องจมูกและถูกขับออกมาจากระบบทางเดินหายใจโดยการไอหรือจาม

#### 2.4.2 ฝุ่นขนาดเล็ก (Particulate matter less than or equal to 10 micrometers, PM<sub>10</sub>)

เป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ถึง 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอของทะเล จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ขยะ ของเสียจากเกษตรกรรม จากการระเบิดของภูเขาไฟ การขนส่งวัสดุฝุ่น จากกิจกรรมการبرد ย่อยหิน การทำเหมืองแร่ หรือเป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิที่ถูกปลดปล่อยสู่อากาศโดยตรงและไม่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น จึงถูกจำแนกแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบได้ดี เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงน้อยขณะอยู่ในอากาศ ชาติที่พบในฝุ่นหยาบนี้ ส่วนใหญ่เป็นซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียมในปริมาณสูง ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจตอนล่าง

#### 2.4.3 ฝุ่นละเอียด (Fine particles)

เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1-2.5 ไมครอน อยู่ในสภาพกึ่งระเหย ซึ่งประกอบด้วย ฝุ่นละอองทุติยภูมิมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาชีวมวลในที่โล่ง โดยเกิดขึ้นในอากาศเมื่อก๊าซต่างๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นในอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะก๊าซไปอยู่ในรูปของอนุภาค

#### 2.4.4 ฝุ่นละเอียดมาก (Ultrafine particles)

อาจเกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเผาไหม้ การผลิตโลหะจะสร้างอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี

### 2.5 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

2.5.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural particles) เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่นละออง โดยไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแต่อย่างใด เช่น ดินทรายละอองน้ำ เหม่าควันจากไฟฟ้า ภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นเกลือจากทะเล มหาสมุทร เป็นต้น

2.5.2. ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made particles) ได้แก่ ฝุ่นจากการคมนาคม เช่น รถบรรทุกหิน ดิน ทราย ซีเมนต์ขณะแล่นจะมีฝุ่นตกบนถนน แล้วกระจายตัวอยู่ในอากาศ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลปล่อยเหม่าฝุ่นควันออกมา จักรยานยนต์ 2 จังหวะ ซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การก่อสร้าง เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงสาธารณูปโภค การก่อสร้างอาคารสูง การรื้อถอน ทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น
- อุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ การโม่บดหรือย่อยหิน ฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการเผาไหม้
- การเผาไหม้แบบเปิด เช่น การเผาของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) การเผาขยะ การเผาถ่าน แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้เหล่านี้มีปริมาณคาร์บอนที่เป็นทั้งคาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอินทรีย์ในปริมาณสูง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ

## 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละออง (วงศ์พันธ์และคณะ, 2543)

2.6.1 ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind speed and Wind direction) ความเร็วลมจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของฝุ่นละอองให้กระจายออกไปจากแหล่งกำเนิด โดยความเร็วลมมากจะทำให้ฝุ่นละอองแพร่กระจายไปได้ไกล ในขณะที่ทิศทางลมจะเป็นตัวกำหนดว่าฝุ่นละอองจะถูกพัดพาไปทิศทางไหน เนื่องจากลมไม่ได้พัดพาไปในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา และการพัดพาไปในทิศทางต่างๆ มักไม่คงที่ ทั้งในช่วงเวลาสั้นๆ หรือเป็นเวลานาน

2.6.2 ความปั่นป่วน (Turbulence) เป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระในลักษณะขึ้นลงโดยกระแสลมอากาศในบรรยากาศ สามารถเกิดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง มีความสำคัญต่อการแพร่กระจาย และการเจือจางของฝุ่นละออง โดยพบว่าเมื่อมีความปั่นป่วนของบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะมีค่าลดลง เนื่องจากการกระจายตัวมากขึ้น โดยลักษณะการปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดจากสาเหตุหลัก 3 สาเหตุ คือ

1) ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal turbulence) เกิดจากผิวโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นผิวและอากาศที่อยู่ใกล้ผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดกระแสลมปั่นป่วนในบรรยากาศชั้นล่าง ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน พื้นดินและอากาศที่อยู่ใกล้ผิวโลกจะมีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากพื้นดินเกิดการแผ่รังสีความร้อนกลับสู่บรรยากาศ ทำให้อากาศหยุดนิ่งและความปั่นป่วนลดลง

2) ความปั่นป่วนทางกล (Mechanical turbulence) เกิดจากการเคลื่อนไหวของอากาศผ่านผิวโลกที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร ต้นไม้ ภูเขา เป็นต้น ทำให้เกิดกระแสลมของอากาศ ซึ่งความปั่นป่วนมีผลมาจากกระแสลมที่มีขนาดต่างๆกัน ทำให้เกิดการผสมของอากาศทั้งในแนวราบและแนวตั้ง โดยความปั่นป่วนจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลม

3) อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิจะลดลงตามระดับความสูง ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีผลต่อการกระจายของฝุ่นละออง โดยในเวลากลางวันจะทำให้เกิดการปั่นป่วนของมวลอากาศ เป็นผลให้การแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศแพร่กระจายได้ดี ส่วนเวลากลางคืนอุณหภูมิลดต่ำลงมาก ทำให้มวลอากาศนิ่งแพร่กระจายได้ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ผลกระทบจากฝุ่นละออง (วงศ์พันธ์และคณะ, 2543)

### 2.7.1 ผลกระทบต่อพืช

ฝุ่นละอองไปจับส่วนต่างๆของพืชโดยเฉพาะใบ รวมทั้งปิดปากใบ ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง อนุภาคฝุ่นละอองที่ปิดปากใบยังทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมาก จึงมีส่วนขัดขวางการหายใจ และการเจริญเติบโตของพืชเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ใบเฉาและตายเร็ว

### 2.7.2 ผลต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป

ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น ทำให้ทัศนวิสัยไม่ดี เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคของแข็งที่ดูดซับและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นและองค์ประกอบของฝุ่นละออง

### 2.7.3 ผลต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองที่ตกลงมาตามแรงดึงดูดโลก นอกจากจะทำให้เกิดความสกปรกแก่บ้านเรือน อาคาร สิ่งก่อสร้าง นอกจากนี้ ฝุ่นละอองยังมีคุณสมบัติในการดูดซับ โลหะ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ไว้ที่พื้นผิวอนุภาค หรือจากฝุ่นละอองเองที่เป็นชนิดที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีอันตรายเมื่อเกาะติดวัตถุหรือสิ่งก่อสร้าง ทำให้เกิดการทำลายและกัดกร่อนผิวหน้าของ โลหะ หินอ่อน หรือวัตถุอื่นๆ เช่น รั้วเหล็ก หลังคาสังกะสี รูปปั้น

### 2.7.4 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ฝุ่นละอองจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา การหายใจเอาฝุ่นละอองเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ โดยฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมครอน จะถูกจับที่ระบบทางเดินหายใจส่วนบน ในส่วนของจมูกและลำคอ ทำให้ระคายเคือง แสบจมูก ไอจาม มีเสมหะ ซึ่งฝุ่นละอองชนิดนี้จะถูกขับออกมาพร้อมเสมหะ ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เนื่องจากสามารถแทรกตัวลึกเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างเข้าไปในเนื้อเยื่อ ปอด หรือมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง ทำให้หลอดลมอักเสบ (bronchitis) เกิดหอบหืด (asthma) ถุงลมโป่งพอง (emphysema) และปอดบวม (pneumonia) โดยแบ่งขนาดของฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจออกเป็น 8 ระดับคือ ฝุ่นละอองที่มีขนาด 10.0-9.0 ไมครอน (stage 0) ฝุ่นละอองขนาด 9.0-5.8 ไมครอน (stage 1) เข้าสู่ทางจมูก และตกสะสมบริเวณโพรงจมูก จากนั้นฝุ่นละอองขนาด 5.8-4.7 ไมครอน (stage 2) เข้าสู่บริเวณคอหอย (pharynx) ซึ่งเป็นทางเชื่อมระหว่างปาก โพรงจมูกและหลอดอาหาร ฝุ่นละอองขนาดระหว่าง 4.7-3.3 ไมครอน (stage 3) เข้าสู่บริเวณหลอดลม (trachea) และท่อหลอดลมคอระดับที่หนึ่ง (primary bronchi) ฝุ่นละอองขนาดระหว่าง 3.3-2.1 ไมครอน (stage 4) เข้าสู่บริเวณท่อหลอดลมระดับสอง (secondary bronchi) ฝุ่นละอองขนาดระหว่าง 2.1-1.1 ไมครอน (stage 5) เข้าสู่บริเวณระดับปลายระดับปลายแขนงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดลม (terminal bronchi) ฝู่นละของขนาดระหว่าง 1.1-0.65 ไมครอน (stage 6) และฝู่นละของขนาด 0.65-0.43 ไมครอน (stage 7) เข้าสู่บริเวณถุงลมปอด (alveoli)

## 2.8 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ประกอบด้วยกลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงหรือมากกว่า เชื่อมต่อกันโดยมีคาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอม ความคงตัวของสารกลุ่มนี้ขึ้นกับการจัดเรียงตัวของวงเบนซีนและมวลโมเลกุล แหล่งที่มาสำคัญ ได้แก่ การปนเปื้อนน้ำมันปิโตรเลียมและการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ จัดเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง

### 2.8.1 การเกิดสาร PAHs

1. กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible reaction) ทำให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบย่อยชนิดต่างๆ ช่วงแรกเฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) จะเกิดการสลายตัว ตามด้วยเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) กระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลโดยทั่วไปเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200-600 องศาเซลเซียส โดยจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กรดน้ำส้ม (acetic acid) เมทานอล (methanol) และน้ำมันดิบเบา (light tar) นอกจากนี้ การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน และน้ำมันหนัก รวมถึง PAHs ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของสาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน อัตราการเผาไหม้ ชนิดและคุณลักษณะของชีวมวล

2. การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion) เป็นการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากผิวหน้าของวัสดุชีวมวล ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า เกิดปฏิกิริยา dehydration ได้ผลิตภัณฑ์ของถ่านคาร์บอน (char) และน้ำ ส่วนที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า จะเกิดปฏิกิริยา depolymerization ได้ผลิตภัณฑ์คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ )

### 2.8.2 แหล่งกำเนิดสาร PAHs

1. แหล่งกำเนิดจากกระบวนการธรรมชาติ (Natural sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ตามกระบวนการตามธรรมชาติ โดยไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น การเกิดไฟฟ้า และภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น แหล่งกำเนิดจากอาคารบ้านเรือนและที่อยู่อาศัย เกิดจากการประกอบอาหาร รวมทั้งการสูบบุหรี่ แหล่งกำเนิดจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของ สาร อิน ทรี ยี่ การเผา ถ่าน หิน หรือ โรง ใ พ ฟ้า เชื้อ เ พ ลิง ชีวมวล การเผาขยะ แหล่งกำเนิดจากการคมนาคม เกิดจากการเผาไหม้จากรถยนต์ แหล่งกำเนิดจากเกษตรกรรม เกิดจากการเผาไหม้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่การเพาะปลูก ได้แก่ การเผาฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น

### 2.8.3 ความเป็นพิษของ PAHs

สารประกอบ PAHs จัดเป็นสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญกำหนดใน Clean Air Act ปี ค.ศ.1990 ของ ประเทศสหรัฐอเมริกา และ International Agency Research on Cancer (IARC) เนื่องจากสมบัติความเป็นสารที่อาจก่อ หรือร่วมก่อให้เกิดมะเร็งได้ (IARC, 1984) อย่างไรก็ตาม สารประกอบ PAHs ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของสาร PAHs ตัวอย่างเช่น สาร PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 4 วงและมีมวลโมเลกุล 228 กรัมต่อโมล พบว่า Benzo(a)anthracene, Chrysene และ Benzo(c)phenanthrene เป็นสารก่อมะเร็ง ในขณะที่ Triphenylene และ Naphthacene ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้ alkyl group ของวงอะโรมาติก จะมีผลต่อความสามารถในการก่อมะเร็ง ตัวอย่างเช่น Chrysene และ Methyl derivatives

U.S. EPA ได้กำหนดสาร PAHs ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ 16 ชนิด โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถ ในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่ก่อมะเร็งในคน สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (IARC, 1984, U.S. EPA, 1986)

ตารางที่ 2.3 สมบัติและความเป็นสารก่อมะเร็งของสาร PAHs (IARC, 1984, U.S.EPA, 1986)

Compounds	Molecular formula	Vapor pressure (mm Hg) <sup>a</sup>	K <sub>ow</sub>	Henry's law constant (atm·m <sup>3</sup> /mol)	Boiling point (°C)	Carcinogenic potency classification	
						U.S.EPA <sup>b</sup>	IARC <sup>c</sup>
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	4.9 × 10 <sup>-2</sup>	3.50	4.83 × 10 <sup>-4</sup>	218	D	2B
Acenaphthylene	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	2.9 × 10 <sup>-2</sup>	4.07	1.45 × 10 <sup>-2</sup>	265-280	D	3
Acenaphthene	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	4.47 × 10 <sup>-1</sup>	3.98	7.91 × 10 <sup>-2</sup>	278-279	N/A	3
Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	3.2 × 10 <sup>-3</sup>	4.18	1.0 × 10 <sup>-4</sup>	293-295	N/A	3
Phenanthrene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	6.8 × 10 <sup>-4</sup>	4.45	2.56 × 10 <sup>-5</sup>	339-340	D	3
Anthracene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	1.7 × 10 <sup>-5</sup>	4.45	1.77 × 10 <sup>-5</sup>	340	D	3
Fluoranthene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	5.0 × 10 <sup>-6</sup>	4.90	6.5 × 10 <sup>-6</sup>	339-340	D	3
Pyrene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	2.5 × 10 <sup>-6</sup>	4.88	1.14 × 10 <sup>-5</sup>	360-404	D	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Benz[a]anthracene	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	2.2 x 10 <sup>-9</sup>	5.61	1.0 x 10 <sup>-6</sup>	435	B2	2B
Chrysene	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	6.3 x 10 <sup>-7</sup>	5.16	1.05 x 10 <sup>-6</sup>	442-448	B2	2B
Benzo[b]fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	5.0 x 10 <sup>-7</sup>	6.04	1.22 x 10 <sup>-5</sup>	482	B2	2B
Benzo[k]fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	9.56 x 10 <sup>-11</sup>	6.06	3.87 x 10 <sup>-5</sup>	472-480	B2	2B
Benzo[a]pyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	5.0 x 10 <sup>-9</sup>	6.06	4.9 x 10 <sup>-7</sup>	493-496	B2	1
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	~10 <sup>-11</sup> -10 <sup>-6</sup>	6.58	6.95 x 10 <sup>-8</sup>	536	B2	2B
Dibenz[a,h]anthracene	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	~1.0 x 10 <sup>-10</sup>	6.84	7.3 x 10 <sup>-8</sup>	524	B2	2A
Benzo[g,h,i]perylene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	~10 <sup>-11</sup> -10 <sup>-6</sup>	7.64	1.44 x 10 <sup>-7</sup>	525	N/A	3

หมายเหตุ: <sup>a</sup>ATSDR, 1995.

<sup>b</sup>U.S. Environmental Protection Agency

B2 : สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (Probable human carcinogen)

D : ไม่สามารถจำแนกได้ (Not classifiable)

N/A : ไม่สามารถหาได้ (Not available)

<sup>c</sup>International Agency for Research on Cancer

1 : สารก่อมะเร็งในคน (Carcinogen to human)

2A : สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (Probable carcinogen to human)

2B : สารที่อาจจะก่อมะเร็งในคน (Possibly carcinogen to human)

2 : ไม่สามารถจำแนกได้ (Not classifiable carcinogen to human)

## 2.9 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการพิจารณาค่าของข้อมูลในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของเวลา และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามซึ่งเป็นผลมาจากตัวแปรอิสระ แต่การวิเคราะห์อนุกรมเวลานั้นเป็นการพิจารณาค่าของข้อมูลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของเวลาเป็นสำคัญ

ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Data) หมายถึง ข้อมูลหรือค่าสังเกตที่เปลี่ยนแปลงไปตามลำดับของเวลา โดยข้อมูลที่สังเกตจะเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงเวลาที่สนใจของผู้วิเคราะห์ ซึ่งจะช่วยให้เห็นรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่าสังเกตในช่วงเวลาที่ผ่านมา เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าสังเกตดังกล่าวในอนาคต

วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Time Series Forecasting Method) เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมในอดีตของตัวแปรอนุกรมเวลา เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมในอนาคต โดยถ้าสามารถค้นพบพฤติกรรมที่เป็นระบบบางอย่างในตัวแปรอนุกรมเวลา ผู้วิเคราะห์ก็จะสามารถสร้างแบบจำลองของพฤติกรรมของตัวแปรตาม แล้วนำมาใช้ในการพยากรณ์พฤติกรรมของตัวแปรเหล่านั้นในอนาคต เช่น สมมติว่ามีข้อมูลอนุกรมเวลาเรียงตามระยะเวลา  $t - n$  จนถึง  $t$  ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลอนุกรมเวลา

ช่วงเวลาที่	ค่าของตัวแปร
$t - n$	$Y_{t-n}$
$\vdots$	$\vdots$
$t - 1$	$Y_{t-1}$
$t$	$Y_t$

เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ค่าตัวแปรในอนาคต คือ การใช้แบบจำลอง Extrapolation ซึ่งมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์โดยทั่วไป ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+1} = f(Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-n}) \quad (2.3)$$

โดย  $\hat{Y}_{t+1}$  คือ ค่าตัวแปรอนุกรมเวลาที่พยากรณ์ได้ในช่วงเวลา  $t + 1$

$Y_t$  คือ ค่าตัวแปรอนุกรมเวลาในช่วงเวลา  $t$

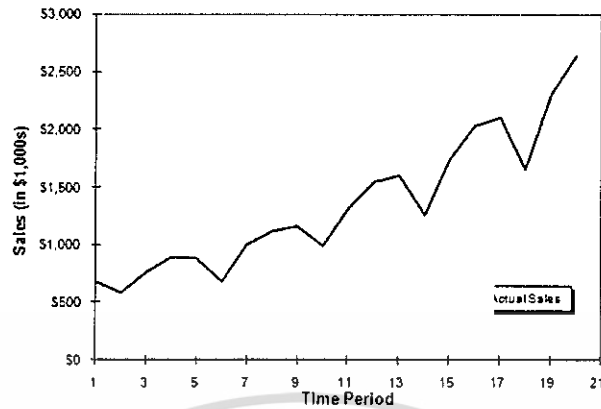
$Y_{t-1}$  คือ ค่าตัวแปรอนุกรมเวลาในช่วงเวลา  $t - 1$

จุดประสงค์ของแบบจำลอง Extrapolation คือ การระบุฟังก์ชัน  $f()$  ตามสมการ (2.3) เพื่อให้พยากรณ์ค่าของตัวแปรอนุกรมเวลาในอนาคต

ข้อมูลอนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดจะมีค่าเปลี่ยนแปลงซึ่งจะเป็นตัวแปรตาม ส่วนระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นตัวแปรอิสระ สาเหตุที่ทำให้อนุกรมเวลาเปลี่ยนแปลงจะเรียกว่า ส่วนประกอบของอนุกรมเวลา (Components of a time series) ซึ่งจะประกอบด้วยสาเหตุ 4 ชนิด (มุกดา แม่นมินทร์, 2549) ดังนี้

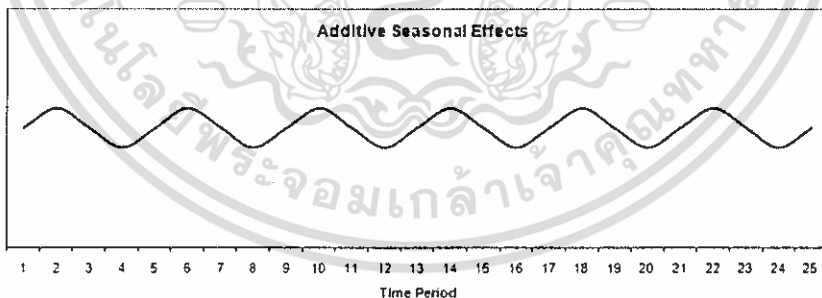
1. แนวโน้ม (Trend : T) เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลาเปลี่ยนแปลงในระยะเวลา มากกว่าหนึ่งปี การเปลี่ยนแปลงอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง การเปลี่ยนแปลงอาจจะเป็นไปอย่างรวดเร็วหรือช้าๆ ลักษณะแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอาจจะเป็นเชิงเส้น หรือเส้นโค้งพาราโบลา หรือเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล รูปที่ 2.3 แสดงยอดขายของสินค้าชนิดหนึ่งซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



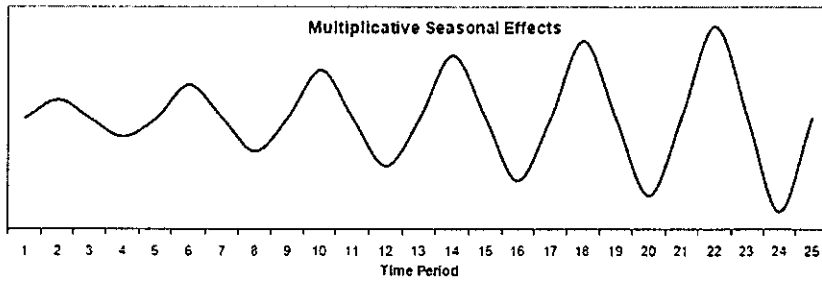
รูปที่ 2.3 แนวโน้มยอดขายของสินค้าชนิดหนึ่ง

2. การแปรผันตามฤดูกาล (Seasonal Variation : S) เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลาเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาสั้นๆ อาจจะเป็นรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน หรือรายไตรมาส จะเรียกช่วงระยะเวลานี้ว่า ฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเกิดขึ้นซ้ำๆกัน ในรอบของช่วงเวลาที่ไม่เกินหนึ่งปี ค่าที่วัดการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เรียกว่า ดัชนีฤดูกาล (Seasonal Index) สามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การแปรผันตามฤดูกาลเชิงบวก และการแปรผันตามฤดูกาลเชิงลบ ดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 ตามลำดับ การแปรผันตามฤดูกาลเชิงบวกเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีฤดูกาล โดยมีค่าซ้ำๆ ไม่ต่างจากฤดูกาลก่อนหน้ามากนัก ส่วนการแปรผันตามฤดูกาลเชิงลบเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับเวลา



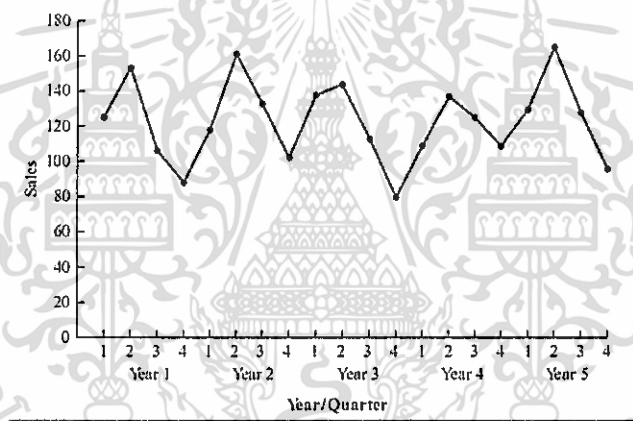
รูปที่ 2.4 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการแปรผันตามฤดูกาลเชิงบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการแปรผันตามฤดูกาลเชิงคูณ

3. การแปรผันตามวัฏจักร (Cyclical Variation : C) เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลาเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงซ้ำๆกัน ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานกว่าการแปรผันตามฤดูกาล ช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน รูปที่ 2.6 แสดงปริมาณการขายสินค้าหนึ่งที่มีการแปรผันตามวัฏจักร



รูปที่ 2.6 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการแปรผันตามวัฏจักรของปริมาณการขายสินค้าหนึ่ง

4. การแปรผันเนื่องจากเหตุการณ์ไม่ปกติ (Irregular Variation: I) เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลาเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงในระยะเวลาที่ไม่แน่นอน มักจะเกิดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งจะเกิดจากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดคะเนได้ล่วงหน้า เช่น เหตุการณ์ที่สหรัฐอเมริกาเกิดวินาศกรรมทำให้สถานะเศรษฐกิจของสหรัฐอเมริกาถดถอย เหตุการณ์น้ำท่วมพื้นที่สวนฝักทำให้ฝักมีราคาสูงขึ้น เหตุการณ์สงครามในประเทศผลิตน้ำมันทำให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกสูงขึ้น เป็นต้น

ข้อมูลอนุกรมเวลาอาจได้รับอิทธิพลของปัจจัยที่เป็นส่วนประกอบของอนุกรมเวลาทั้ง 4 ปัจจัยหรือเพียงปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเท่านั้น สำหรับข้อมูลที่ได้ศึกษาในครั้งนี้พบว่า เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเชิงบวก ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้ด้วยวิธีของโฮลต์และวินเทอร์ (Holt – Winter's Method) สำหรับการศึกษาคั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ การพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเชิงบวกโดยวิธีของโฮลต์และวินเทอร์ (Holt-Winter's method for additive seasonal effects) ซึ่งอธิบายได้ด้วยตัวแบบ

$$Z_t = \beta_0 + \beta_1 t + S_t + a_t$$

เมื่อ  $\beta_0$  แสดงระดับของแนวโน้ม

$\beta_1$  แทนความชันของแนวโน้มเชิงเส้น

$S_t$  แทนการแปรผันตามฤดูกาล

$a_t$  เป็นตัวแปรสุ่มอิสระที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวน  $\sigma_a^2$

การพยากรณ์ตามตัวแบบนี้เป็นการที่เราสามารถปรับค่าประมาณได้ทุกหน่วยเวลาจากค่าประมาณเริ่มต้นเมื่อเวลา  $t_0$  และค่าคงที่ในการทำให้เรียบที่เลือกอย่างเหมาะสม ซึ่งสามารถอธิบายการปรับค่าประมาณของ  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  และ  $S_t$  สำหรับเวลา  $n$  ใดๆ ได้ดังนี้

1. เมื่อมีค่าสังเกต  $Z_n$  ที่เวลา  $n$  ใดๆ ค่าประมาณของ  $\beta_0$  อาจปรับค่าได้ในรูป

$$\hat{\beta}_0(n) = \alpha_1 (Z_n - \hat{S}_{n-s}) + (1 - \alpha_1) [\hat{\beta}_0(n-1) + \hat{\beta}_1(n-1)] \quad (2.4)$$

เมื่อ  $0 < \alpha_1 < 1$  เป็นค่าคงที่ในการทำให้เรียบ

2. ค่าประมาณของ  $\beta_1$  อาจปรับค่าได้ในรูป

$$\hat{\beta}_1(n) = \alpha_2 [\hat{\beta}_0(n) - \hat{\beta}_0(n-1)] + (1 - \alpha_2) \hat{\beta}_1(n-1) \quad (2.5)$$

เมื่อ  $0 < \alpha_2 < 1$  เป็นค่าคงที่ในการทำให้เรียบ

3. ค่าที่แสดงการแปรผันตามฤดูกาลที่เป็นค่าสังเกต  $Z_n - \hat{\beta}_0(n)$  ในรูป

$$\hat{S}_n = \alpha_3 [Z_n - \hat{\beta}_0(n)] + (1 - \alpha_3) \hat{S}_{n-s} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $0 < \alpha_3 < 1$  เป็นค่าคงที่ในการทำให้เรียบ

4. ค่าพยากรณ์ที่เวลา  $n+l$  โดยวิธีของวินเทอร์แสดงได้ในรูป

$$\hat{Z}_n(l) = \hat{\beta}_0(n) + \hat{\beta}_1(n)l + \hat{S}_{n+l-s} \quad (2.7)$$

ในกรณีนี้ค่าคงที่ในการทำให้เรียบที่ต้องกำหนดคือ  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  และ  $\alpha_3$  สามารถหาได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป (Microsoft office excel) ซึ่งจะให้ผลลัพธ์  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  และ  $\alpha_3$  ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (พินดา พานิชกุล, 2546)

## 2.10 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative statistical techniques) ที่ต่างจากเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณในเรื่องของข้อมูลที่เป็นตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพหรือตัวแปรเชิงกลุ่ม การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกถูกนำมาใช้เพื่อทำนายว่าจะเกิดเหตุการณ์หนึ่งขึ้นหรือไม่ หรือมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอกาสเกิดขึ้นมาน้อยเพียงใด โดยมีการกำหนดค่าของตัวแปรอิสระหนึ่งตัวหรือหลายตัวที่คาดว่าส่งผลต่อการเกิดเหตุการณ์นั้นๆ ซึ่งจะทำให้เราเข้าใจสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์นั้นๆ ได้ในที่สุด (กัลยา วานิชบัญชา, 2548)

### 2.10.1 ประเภทของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

ประเภทของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกมีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับเกณฑ์ในการแบ่ง เช่น

1. ใช้จำนวนตัวแปรอิสระเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1.1 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกอย่างง่าย (Simple logistic regression analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัวเท่านั้น

1.2 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเชิงพหุ (Multiple logistic regression analysis) คือ เป็นการวิเคราะห์ที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป

2. ใช้จำนวนกลุ่มของตัวแปรตามเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

2.1 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบ 2 กลุ่ม (Binary logistic regression analysis)

2.2 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบหลายกลุ่ม (Multinomial logistic regression)

### 2.10.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถระบุได้ว่าตัวแปรอิสระใดบ้างที่สามารถใช้อธิบายโอกาสการเกิดเหตุการณ์หรือการไม่เกิดเหตุการณ์ที่สนใจ

2. เพื่อทำนายโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจจากสมการโลจิสติกที่เหมาะสม โดยเลือกตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อให้เปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องในการทำนายมีค่าสูงสุด (ศิริชัย กาญจนาวาสี, 2551)

### 2.10.3 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกมีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

1 ตัวแปรอิสระอาจเป็นข้อมูลชนิดที่มีได้ 2 ค่า (Dichotomous variable) หรือเป็นสเกลอัตราภาค (Interval scale) และสเกลอัตราส่วนก็ได้ (Ratio scale)

2 ค่าคาดหวังของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ หรือ  $E(e) = 0$

3 ตัวแปรอิสระไม่ควรมีความสัมพันธ์กันมากเกินไป (multicollinearity) โดยถ้าใช้เกณฑ์ของ Burns and Grove (1993) กำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่เกิน 0.65 และถ้าใช้เกณฑ์ของ Stevens (1996) กำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่เกิน 0.80

4 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกจะต้องใช้ขนาดตัวอย่าง  $n$  มากกว่า การวิเคราะห์การถดถอยแบบปกติ โดยทั่วไป  $n \geq 30p$  โดยที่  $p$  เป็นจำนวนตัวแปรอิสระ

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบปกติ นอกจากจะมีเงื่อนไขทั้ง 5 ข้อข้างต้นจะต้องเพิ่มเงื่อนไขอีก 2 ข้อ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1 ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ
- 2 ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

#### 2.10.4 โมเดลการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกอย่างง่าย (Simple logistic regression analysis model)

ในกรณีนี้ตัวแปรตามมีค่าได้เพียง 2 ค่า ซึ่งมักแทนด้วย 0 และ 1 เช่นเมื่อเราสนใจการเกิดเหตุการณ์ของ  $Y$  จะได้ 1 แทนการเกิดเหตุการณ์ และ 0 แทนการไม่เกิดเหตุการณ์ ดังนั้นตัวแปรตามจะมีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี (Bernoulli distribution)

$$P\{Y = y\} = p^y(1-p)^{1-y} \quad ; \quad y = 0, 1 \quad (2.8)$$

สำหรับตัวอย่างหน่วยที่  $i$  จะได้ว่า

$$P\{Y_i = y_i\} = p^{y_i}(1-p)^{1-y_i} \quad ; \quad y = 0, 1 \quad (2.9)$$

จากสมการที่ (2.9) เมื่อ  $y_i = 0$  จะได้

$$P\{Y_i = 0\} = p^0(1-p)^{1-0} = 1-p$$

จากสมการที่ (2.9) เมื่อ  $y_i = 1$  จะได้

$$P\{Y_i = 1\} = p^1(1-p)^{1-1} = p$$

$$\begin{aligned} E\{Y_i\} &= \sum y_i P\{Y_i = y_i\} \\ &= 0 \cdot P\{Y_i = 0\} + 1 \cdot P\{Y_i = 1\} \\ &= 0 \cdot (1-p) + 1 \cdot (p) \end{aligned}$$

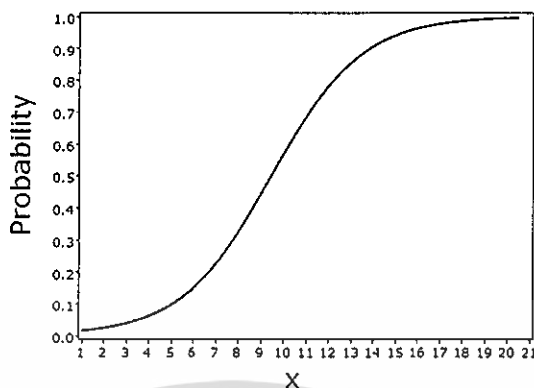
$$E\{Y_i\} = p \quad (2.10)$$

ซึ่งทำให้  $0 \leq E\{Y_i\} \leq 1$

เนื่องจาก  $Y$  มีค่าได้เพียง 2 ค่า คือ 0 และ 1 จึงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $X$  และ  $Y$  ไม่ได้อยู่รูปเชิงเส้น แต่จะอยู่ในรูป

$$E\{Y\} = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}} \quad (2.11)$$

โดยเรียกสมการที่ (2.11) ว่าฟังก์ชันการตอบสนองโลจิสติก (Logistic Response Function) ซึ่งกราฟของฟังก์ชันแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 โดยที่  $0 \leq E\{Y\} \leq 1$



รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันตอบสนองโลจิสติก (Logistic Response Function)

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) จะได้

$$E\{Y\} = p = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \quad (2.12)$$

โดยที่  $P\{Y = 1\} = p$

$$P\{Y = 0\} = 1 - p$$

ดังนั้นสมการที่ (2.12) จะได้ว่า ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ คือ

$$P\{Y = 1\} = p = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}} \quad (2.13)$$

เป้าหมายของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกอย่างง่าย คือการประมาณค่า  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  เนื่องจาก  $Y_i$  มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลีซึ่งมีการแจกแจงดังแสดงในสมการที่ (2.8) และ (2.9) ในกรณีที่ใช้ข้อมูลตัวอย่าง และข้อมูลตัวอย่าง  $n$  หน่วยเป็นอิสระกัน ฟังก์ชันความควรจะเป็น (Likelihood function) (กัลยา วานิชบัญชา, 2548)

$$L = \prod_{i=1}^n p^{Y_i} (1-p)^{1-Y_i}$$

$$L = \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \right\}^{Y_i} \left\{ 1 - \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \right\}^{1-Y_i} \quad (2.14)$$

$$P\{Y = 0\} = 1 - p = 1 - \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} = \frac{1}{1 + e^w}$$

โดยที่  $w = \beta_0 + \beta_1 x$

สมการที่ (2.14) จะเป็น

$$L = \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{e^w}{1 + e^w} \right\}^{Y_i} \left\{ 1 - \frac{e^w}{1 + e^w} \right\}^{1-Y_i} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า  $\log$  ของสมการที่ (2.14) จะได้  $\log_e(L)$  ซึ่งเรียกว่า  $\log$ -likelihood function

$$\begin{aligned}
 \log_e(L) &= \ln L = \sum_{i=1}^n (Y_i \ln[P(Y_i)] + (1 - Y_i) \ln[1 - P(Y_i)]) \\
 &= \sum_{i=1}^n (Y_i (\ln[P(Y_i)] - \ln[1 - P(Y_i)]) + \ln[1 - P(Y_i)]) \\
 &= \sum_{i=1}^n \left( Y_i \ln \left( \frac{P(Y_i)}{1 - P(Y_i)} \right) + \ln[1 - P(Y_i)] \right) \\
 &= \sum_{i=1}^n \left( Y_i \ln \left( \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}} \right) + \ln \left( 1 - e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}} \right) \right) \\
 &= \sum_{i=1}^n \left( Y_i \ln \left( \frac{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}}{1 - e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}} \right) + \ln \left( 1 - e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}} \right) \right) \\
 &= \sum_{i=1}^n (Y_i \ln(e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}) + \ln 1 - \ln(1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}})) \\
 \ln L &= \sum_{i=1}^n (Y_i (\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}) - \ln(1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}))
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

เนื่องจากสมการที่ (2.16) เป็นสมการไม่เชิงเส้น จึงใช้วิธีนิวตันราฟสัน (Newton - Raphson Method) ซึ่งเป็นวิธีการแก้สมการไม่เชิงเส้น (nonlinear equations) โดยมีกระบวนการทำซ้ำโดยการหาอนุพันธ์เทียบกับค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความควรจะเป็นสูงสุด

กำหนดให้  $\ln L = L(B)$  ขั้นตอนการประมาณค่า มีดังนี้

- 1) กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น  $B_0 = [\beta_0 \ \beta_1 \ \dots \ \beta_k]^T$
- 2) หาอนุพันธ์ย่อยของ  $\ln L$  เทียบกับ  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  แล้วนำมาสร้างเป็นเวกเตอร์  $U(B)$  โดยที่
 
$$U(B) = \left[ \frac{\partial L(B)}{\partial \beta_0} \quad \frac{\partial L(B)}{\partial \beta_1} \quad \dots \quad \frac{\partial L(B)}{\partial \beta_k} \right]^T$$
- 3) หาเมทริกซ์  $H$   $B$  มิติ  $k+1 \times k+1$  โดยที่สมาชิกของเมทริกซ์ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยอันดับที่สอง (Second partial derivative) ของ  $L$   $B$  โดยที่สมาชิกตัวที่  $(i, j)$  คือ  $\frac{\partial^2 L}{\partial \beta_i \partial \beta_j}$ ;  $i, j = 0, 1, 2, \dots, k$  เรียกเมทริกซ์  $H$   $B$  ว่า Hessian matrix
- 4) คำนวณค่าประมาณของพารามิเตอร์  $B$  จาก  $\hat{B} = B^* - H^{-1} B^* U B^*$  ซึ่งเวกเตอร์  $U \hat{B}$  เป็นเวกเตอร์ Score ของ  $B$  ที่ประมาณด้วยความควรจะเป็นสูงสุดโดยใช้ Taylor Series กระดาษ  $U B$  รอบ  $B^*$  ซึ่ง  $B^*$  อยู่ใกล้ๆ  $\hat{B}$  จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U \hat{B} \approx U B^* + H B^* \hat{B} - B^*$$

จากนิยามของตัวประมาณความควรจะเป็นสูงสุดของ  $B$  จะได้ว่า  $\frac{\partial L}{\partial \beta_j} B$  กำหนดให้  $\hat{\beta} = 0$  สำหรับ  $j = 0, 1, 2, \dots, k$  ดังนั้น  $U \hat{B} = 0$  จะได้

$$0 \approx U B^* + H B^* \hat{B} - B^*$$

$$\hat{B} H B^* = -U B^* + B^* H B^*$$

$$\hat{B} = B^* - H^{-1} B^* U B^*$$

5) ประมาณค่า  $\hat{B}$  โดยมีการคำนวณซ้ำๆ ซึ่งค่าประมาณ  $\hat{B}$  รอบที่  $k+1$  คือ

$$\hat{B}_{k+1} = \hat{B}_k - H^{-1} \hat{B}_k U \hat{B}_k$$

สำหรับ  $k = 0, 1, 2, \dots$  ซึ่ง  $\hat{B}_0$  เป็นเวกเตอร์ของตัวประมาณพารามิเตอร์เริ่มต้น โดยค่า  $\hat{B}_{k+1}$  ที่ยอมรับเป็นค่าประมาณพารามิเตอร์จะพิจารณาจากผลต่างระหว่าง  $\hat{B}$  ในรอบที่  $k$  กับรอบที่  $k+1$  มีค่าน้อยมากจนถือว่าไม่แตกต่าง ซึ่งในที่นี้กำหนดเกณฑ์ คือ  $|\hat{B}_{k+1} - \hat{B}_k| < 0.0000001$

### 2.10.5 การปรับรูปแบบความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปเชิงเส้น

จากสมการของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกในสมการที่ (2.13) หรืออยู่ในรูป  $\ln L$  ในสมการที่ (2.16) จะพบว่าความสัมพันธ์ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้น สามารถปรับให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้ ดังนี้

กำหนดให้ Odd Ratio ( $OR$ ) เป็นอัตราส่วนระหว่างโอกาสที่เหตุการณ์จะเกิดกับโอกาสที่เหตุการณ์จะไม่เกิด จะได้ว่า

$$OR = \frac{P\{Y = 1\}}{P\{Y = 0\}} = \frac{p}{1-p} = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}}$$

นั่นคือ  $OR = e^{\beta_0 + \beta_1 x}$  (2.17)

ดังนั้น  $OR$  เป็นค่าที่แสดงว่าโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์เป็นกี่เท่าของโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ ค่า  $OR$  สามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณี ดังนี้

- ถ้าค่า  $OR$  มากกว่า 1 แสดงว่า โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์มากกว่าโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์
- ถ้าค่า  $OR = 1$  แสดงว่า โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์และโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์เท่ากัน
- ถ้าค่า  $OR$  น้อยกว่า 1 แสดงว่า โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ต่ำกว่าโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ (2.17) มาหาค่า  $\log_e(OR)$

$$\ln(OR) = \log_e(e^{\beta_0 + \beta_1 x})$$

$$\ln(OR) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.18)$$

ซึ่งสมการที่ (2.18) อยู่ในรูปเชิงเส้น โดยเรียกสมการที่ (2.18) ว่า ฟังก์ชันตอบสนองโลจิท (Logit Response function) หรือกรณีที่ใช้ข้อมูลตัวอย่าง สมการที่ (2.18) จะกลายเป็น

$$\ln(OR') = b_0 + b_1 x \quad (2.19)$$

### 2.10.6 โมเดลการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเชิงพหุ (Multiple logistic regression analysis model)

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเชิงพหุเป็นการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร ในรูปทั่วไปกำหนดค่าให้มี  $m$  ตัว คือ  $X_1, X_2, \dots, X_m$  ส่วนตัวแปรตาม  $Y$  มีได้ 2 ค่า คือ  $Y = 1$  ถ้าเกิดเหตุการณ์ และ  $Y = 0$  ถ้าไม่เกิดเหตุการณ์

$Y$  ยังคงมีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลีที่มีความน่าจะเป็น  $p$

$$p = E(Y) = P\{Y = 1\} = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m}} \quad (2.20)$$

หรือ

$$P\{Y = 1\} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m)}}$$

$$P\{Y = 0\} = 1 - P\{Y = 1\} = 1 - p = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m}}$$

$$\text{Odd Ratio} = OR = \frac{p}{1 - p} = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m}$$

ฟังก์ชันตอบสนองโลจิท คือ

$$\ln(OR) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m \quad (2.21)$$

หรือกรณีที่ใช้ข้อมูลตัวอย่าง สมการที่ (2.21) จะกลายเป็น

$$\ln(OR') = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_m x_m \quad (2.22)$$

### 2.10.7 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบหลายกลุ่ม (Multinomial logistic regression)

ในหัวข้อ 2.10.4 – 2.10.6 ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การถดถอยแบบสองกลุ่ม ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เมื่อตัวแปรตามมีค่าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น ในกรณีที่ตัวแปรตามมีค่าตั้งแต่ 3 ค่าขึ้นไป เราจะใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายกลุ่ม เช่น ตัวแปรตามแทนอาการเจ็บป่วย ซึ่งแบ่งเป็นสามระดับ คือ รุนแรงมาก ปานกลาง และเล็กน้อย ซึ่งเราจะแทนอาการเจ็บป่วยด้วยตัวเลข 0, 1 และ 2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายกลุ่มการขยายแนวความคิดต่างจากเดิมคือ ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบสองกลุ่ม เราสนใจโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ ซึ่งแทนด้วย  $p$  และโอกาสที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เกิดเหตุการณ์แทนด้วย  $1 - p$  แต่การวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายกลุ่มจะมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ซึ่งแทนด้วย  $p_1, p_2, \dots, p_k$  สำหรับการแบ่ง  $k$  กลุ่ม จะต้องมีการกำหนดฐานในการเปรียบเทียบ

กำหนดให้  $p_j$  เป็นกลุ่มอ้างอิง (หรือ ฐาน) ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ  $m$  ตัวแปร  
ตัวแบบโลจิท (Logit Model) คือ

$$\ln \frac{p_i}{p_j} = \beta_{0j} + \beta_{1j}x_{1i} + \beta_{2j}x_{2i} + \dots + \beta_{mj}x_{mi} \quad (2.23)$$

โดยที่  $i = 1, 2, \dots, m$  และ  $j = 1, 2, \dots, k - 1$

ในกรณีที่ตัวแปรตามมี 3 กลุ่ม หรือมีค่าเป็นรหัส 3 ค่า และมีตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร

กำหนดให้  $p_3$  เป็นกลุ่มอ้างอิง ( $Y = 3$ ) ตัวแบบโลจิท (Logit Model) คือ

$$\ln \frac{p_1}{p_3} = \beta_{01} + \beta_{11}x_1 + \beta_{21}x_2 + \beta_{31}x_3 \quad (2.24)$$

$$\ln \frac{p_2}{p_3} = \beta_{02} + \beta_{12}x_1 + \beta_{22}x_2 + \beta_{32}x_3 \quad (2.25)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \quad (2.26)$$

พิจารณาสมการ (2.24)

$$\ln p_1 - \ln p_3 = \beta_{01} + \beta_{11}x_1 + \beta_{21}x_2 + \beta_{31}x_3 \quad (2.27)$$

พิจารณาสมการ (2.25)

$$\ln p_2 - \ln p_3 = \beta_{02} + \beta_{12}x_1 + \beta_{22}x_2 + \beta_{32}x_3 \quad (2.28)$$

(2.27) - (2.28) จะได้

$$\ln p_1 - \ln p_3 = (\beta_{01} - \beta_{02}) + (\beta_{11} - \beta_{12})x_1 + (\beta_{21} - \beta_{22})x_2 + (\beta_{31} - \beta_{32})x_3$$

$$\text{หรือ } \ln \frac{p_1}{p_3} = (\beta_{01} - \beta_{02}) + (\beta_{11} - \beta_{12})x_1 + (\beta_{21} - \beta_{22})x_2 + (\beta_{31} - \beta_{32})x_3 \quad (2.29)$$

นำ -1 คูณตลอดสมการ (2.25) จะได้

$$\ln \frac{p_3}{p_2} = -\beta_{02} - \beta_{12}x_1 - \beta_{22}x_2 - \beta_{32}x_3 \quad (2.30)$$

ถ้าเราประมาณค่าตัวแปรไม่ทราบค่าในสมการ (2.29) และ (2.30) จะได้ค่าประมาณของ

$\beta_{01}, \beta_{02}, \beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{21}, \beta_{22}, \beta_{31}$  และ  $\beta_{32}$  และเมื่อแทนค่าลงในสมการ (2.29) และ (2.30) จะได้  $\ln \frac{p_1}{p_3}$  และ

$$\ln \frac{p_3}{p_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.24) สมมติว่าประมาณค่า  $\beta_{31}$  ได้ 0.3 ซึ่งก็คือ 0.3/1 หมายความว่า เมื่อ  $x_3$  มีค่าเพิ่มขึ้น 1 จะ  
มีผลให้  $\ln \frac{p_1}{p_3}$  เพิ่มขึ้น 0.3 ซึ่งสรุปได้ยากกว่า  $p_1$  และ  $p_3$  มีแนวโน้มอย่างไร ดังนั้น เราจึงเปลี่ยนสมการ

(2.24) – (2.26) ให้อยู่ในรูปความน่าจะเป็น  $p_1, p_2$  และ  $p_3$  ซึ่งทำให้ง่ายต่อการแปลผล

จากสมการ (2.24)

$$p_1 = p_3 * \exp(\beta_{01} + \beta_{11}x_1 + \beta_{21}x_2 + \beta_{31}x_3) \quad (2.31)$$

$$p_2 = p_3 * \exp(\beta_{02} + \beta_{12}x_1 + \beta_{22}x_2 + \beta_{32}x_3) \quad (2.32)$$

$$p_3 = p_3 \quad (2.33)$$

นำสมการ (2.31) + (2.32) + (2.33) จะได้

$$1 = p_3 \sum_{i=1}^2 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \beta_{2i}x_2 + \beta_{3i}x_3) + p_3$$

$$1 = p_3 \left( \sum_{i=1}^2 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \beta_{2i}x_2 + \beta_{3i}x_3) + 1 \right)$$

$$p_3 = \frac{1}{\left( \sum_{i=1}^2 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \beta_{2i}x_2 + \beta_{3i}x_3) + 1 \right)} \quad (2.34)$$

เมื่อแทนสมการ (2.34) ลงในสมการ (2.31)

$$p_1 = \frac{\exp(\beta_{01} + \beta_{11}x_1 + \beta_{21}x_2 + \beta_{31}x_3)}{1 + \left( \sum_{i=1}^2 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \beta_{2i}x_2 + \beta_{3i}x_3) + 1 \right)} \quad (2.35)$$

เมื่อแทนสมการ (2.34) ลงในสมการ (2.32)

$$p_2 = \frac{\exp(\beta_{02} + \beta_{12}x_1 + \beta_{22}x_2 + \beta_{32}x_3)}{1 + \left( \sum_{i=1}^2 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \beta_{2i}x_2 + \beta_{3i}x_3) + 1 \right)} \quad (2.36)$$

สมการ (2.34), (2.35) และ (2.36) คือสมการที่ใช้กำหนดหมายค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิด  $Y = 1, Y = 2$

และ  $Y = 3$  ตามลำดับ

สำหรับกรณีทั่วไป เมื่อตัวแปรตามแบ่งเป็น  $k$  กลุ่ม เมื่อ  $p_j$  เป็นกลุ่มอ้างอิง

$$p_i = \frac{\exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \beta_{2i}x_2 + \dots + \beta_{mi}x_m)}{\left( \sum_{n=1}^{k-1} \exp(\beta_{0n} + \beta_{1n}x_1 + \beta_{2n}x_2 + \dots + \beta_{mn}x_m) + 1 \right)} \quad (2.37)$$

เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, k-1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_j = \frac{1}{\left( \sum_{n=1}^{k-1} \exp(\beta_{0n} + \beta_{1n}x_1 + \beta_{2n}x_2 + \beta_{mn}x_m) + 1 \right)} \quad (2.38)$$

### 2.10.8 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการการถดถอยโลจิสติก

การตรวจสอบความเหมาะสมหรือความคล่องจอง (Goodness of fit test) ของสมการการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกดังแสดงในสมการที่ (2.18) กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว หรือสมการที่ (2.21) ซึ่งมีตัวแปรอิสระ  $m$  ตัว

การใช้สถิติทดสอบไคกำลังสอง

การตรวจสอบความเหมาะสมหรือความคล่องจอง (goodness of fit) ของรูปแบบหรือสมการการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก จะใช้สถิติทดสอบไคกำลังสองของเพียร์สัน (Pearson Chi-Square) หรือสถิติไคกำลังสองความควรจะเป็น (Likelihood Ratio Chi-Square)

$$H_0 : \text{model} : P Y = 1 = \frac{1}{1 + e^{-\beta_0 + \beta_1 x}} \text{ เหมาะสมกับข้อมูล}$$

$$H_1 : \text{model} : P Y = 1 = \frac{1}{1 + e^{-\beta_0 + \beta_1 x}} \text{ ไม่เหมาะสมกับข้อมูล}$$

โดยที่สถิติไคกำลังสองของเพียร์สัน  $\chi^2$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{O_{ij} - E_{ij}}{E_{ij}}^2$$

หรือ สถิติไคกำลังสองความควรจะเป็น ( $G^2$ )

$$G^2 = 2 \sum_i \sum_j O_{ij} \log \left( \frac{O_{ij}}{E_{ij}} \right)$$

โดยที่  $O_{ij}$  = ความถี่หรือจำนวนใน cell  $i, j$  ที่ได้จากข้อมูล

$E_{ij}$  = ความถี่หรือจำนวนใน cell  $i, j$  ที่คาดว่าจะเกิดเมื่อสมมติฐาน  $H_0$  จริง

การใช้ฟังก์ชันความควรจะเป็น

จากสมการที่ (2.16) ซึ่งเป็นสมการ ln ของฟังก์ชันความควรจะเป็น หรือ Log likelihood function (LL) กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว จะได้

$$\ln L = LL = \sum_{i=1}^n y_i \left\{ \frac{e^w}{1 + e^w} \right\} + \sum_{i=1}^n (1 - y_i) \left\{ \frac{1}{1 + e^w} \right\} \quad (2.39)$$

โดยที่  $w = \beta_0 + \beta_1 x$

หรือกรณีที่มีตัวแปรอิสระ  $m$  ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ln L = LL = \sum_{i=1}^n y_i \left\{ \frac{e^z}{1+e^z} \right\} + \sum_{i=1}^n (1-y_i) \left\{ \frac{1}{1+e^z} \right\} \quad (2.40)$$

โดยที่  $z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m$

เนื่องจากฟังก์ชันความควรจะเป็น  $L$  มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นจึงศึกษาค่า  $-2LL$  หรือ  $-2\ln L$  โดยจะใช้ค่า  $-2LL$  วัดความเหมาะสมของสมการโลจิสติก ถ้าสมการโลจิสติกเหมาะสม ค่า  $-2LL$  จะต่ำ นั่นคือ ถ้าสมการโลจิสติกเหมาะสมที่สุด ค่า  $-2LL$  จะเป็นศูนย์

ค่าที่ใช้ประเมินวิธีการพยากรณ์

เนื่องจากการพยากรณ์นั้นมีหลายวิธี โดยแต่ละวิธีมีตัวแบบหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ที่แตกต่างกันออกไป ในการตัดสินใจเลือกการพยากรณ์ที่เหมาะสม และถูกต้องนั้นทำได้โดยเลือกใช้การประเมินวิธีต่าง ได้แก่

- 1) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error: MSE)
- 2) รากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE)
- 3) ค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD)
- 4) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE)

โดยแต่ละวิธีมีสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

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

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

$$MAD = \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \right|$$

เมื่อ  $Y_i$  คือ ค่าที่แท้จริงของค่าสังเกตตัวที่  $i$  ในอนุกรมเวลา

เมื่อ  $\hat{Y}_i$  คือ ค่าที่ของตัวแปรพยากรณ์จากค่าสังเกตตัวที่  $i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในหลายวงการ เช่น วงการธุรกิจ วงการการศึกษาและวิทยาศาสตร์ เป็นต้น โดยการใช้เทคนิคในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยตัวแปรอิสระคือตัวแปรที่ผู้วิเคราะห์ข้อมูลเห็นว่าเป็นตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดความผันแปรของตัวแปรตาม หรืออาจกล่าวได้ว่าตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามนั่นเอง ส่วนตัวแปรตามคือตัวแปรที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวหรือลักษณะที่สนใจศึกษา 2 ลักษณะ คือ ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่ได้ถูกกำหนดโดยตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในเรื่องที่ศึกษาอยู่ แต่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับเรื่องที่ศึกษาหรือเป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไป ตัวแปรตาม (Dependent variable) เป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรอิสระ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวอาจมีรูปแบบของความสัมพันธ์ใน 2 แบบ คือความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง (Linear) และความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียวเป็นตัวบ่งบอกอิทธิพลของตัวแปรตาม เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression analysis) ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว  $X_1, X_2, \dots, X_k$  เพื่อการอธิบายตัวแปรตามเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis) จุดประสงค์ของการวิเคราะห์คือเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบและหาอิทธิพลโดยรวมของตัวแปรต้น ( $X_k$ ) ที่มีต่อตัวแปรตาม และเพื่อสร้างสมการเชิงทำนายและวิเคราะห์หาอิทธิพลของตัวแปรต้น ( $X_k$ ) ที่มีต่อ  $Y$  สำหรับงานวิจัยขั้นนี้สนใจศึกษาการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณสำหรับข้อมูล  $n$  ตัวอย่าง คือ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + e_i \quad (2.41)$$

ซึ่ง  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  เป็นตัวแปรไม่ทราบค่า จึงต้องมีการประมาณค่า โดยต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างของตัวแปร  $Y, X_1, X_2, \dots, X_k$  แทนค่าลงในสมการ (2.41) ทำให้ประมาณค่า  $Y$  หรือประมาณสมการที่ (2.41) ด้วยสมการที่ (2.42)

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ki} \quad (2.42)$$

หรือ 
$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} \quad (2.43)$$

โดยที่ 
$$\hat{\beta}_0 = a, \hat{\beta}_1 = b_1, \hat{\beta}_2 = b_2, \dots, \hat{\beta}_k = b_k$$

ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า  $Y_i$  ด้วย  $\hat{Y}_i$  คือ  $Y_i - \hat{Y}_i = e_i$  (สมการที่(2.43) -(2.41))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปการประมาณค่า  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  ด้วยค่า  $a, b_1, b_2, \dots, b_k$  ตามลำดับนั้นยังคงมีเป้าหมายคือ เพื่อให้ผลบวกของค่าคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด นั่นคือหาค่า

$a, b_1, b_2, \dots, b_k$  ที่ทำให้  $\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$  มีค่าต่ำที่สุด

ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว  $(X_1, X_2)$  ที่มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  สมการถดถอยคือ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_i \quad (2.44)$$

ค่าประมาณของ  $Y_i$  คือ

$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} \quad (2.45)$$

และความคลาดเคลื่อน  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$

ต้องการ  $\min \sum_{i=1}^n e_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$  จึงใช้อนุพันธ์เชิงส่วน (Partial Derivative) เทียบกับ  $a, b_1$  และ  $b_2$

แล้วให้เท่ากับศูนย์ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] &= \frac{\partial}{\partial a} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] \\ &= -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0 \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad -2 \sum_{i=1}^n Y_i + 2na + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} = 0$$

$$na + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2.46)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial b_1} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] &= \frac{\partial}{\partial b_1} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] \\ &= -2X_{1i} \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0 \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad -2 \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i + 2a \sum_{i=1}^n X_{1i} + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} = 0$$

$$a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} = \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \quad (2.47)$$

ในทำนองเดียวกัน  $\frac{\partial}{\partial b_2} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = 0$  จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 -2\sum X_{2i}Y_i + 2a\sum X_{2i} + 2b_1\sum X_{1i}X_{2i} + 2b_2\sum X_{2i}^2 &= 0 \\
 a\sum X_{2i} + b_1\sum X_{1i}X_{2i} + b_2\sum X_{2i}^2 &= \sum X_{2i}Y_i
 \end{aligned} \tag{2.48}$$

สมการ (6), (7) และ (8) เรียกว่าชุดของสมการปกติ ดังนี้

$$\left. \begin{aligned}
 na + b_1\sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2\sum_{i=1}^n X_{2i} &= \sum_{i=1}^n Y_i \\
 a\sum X_{1i} + b_1\sum X_{1i}^2 + b_2\sum X_{1i}X_{2i} &= \sum X_{1i}Y_i \\
 a\sum X_{2i} + b_1\sum X_{1i}X_{2i} + b_2\sum X_{2i}^2 &= \sum X_{2i}Y_i
 \end{aligned} \right\} \tag{2.49}$$

จากงานวิจัยของสิริกัลยา ประมวล แสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมให้ประสิทธิภาพในการหาค่าของ  $a, b_1, b_2, \dots, b_k$  ได้ดีกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้สนใจหาค่าของ  $a, b_1, b_2, \dots, b_k$  โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

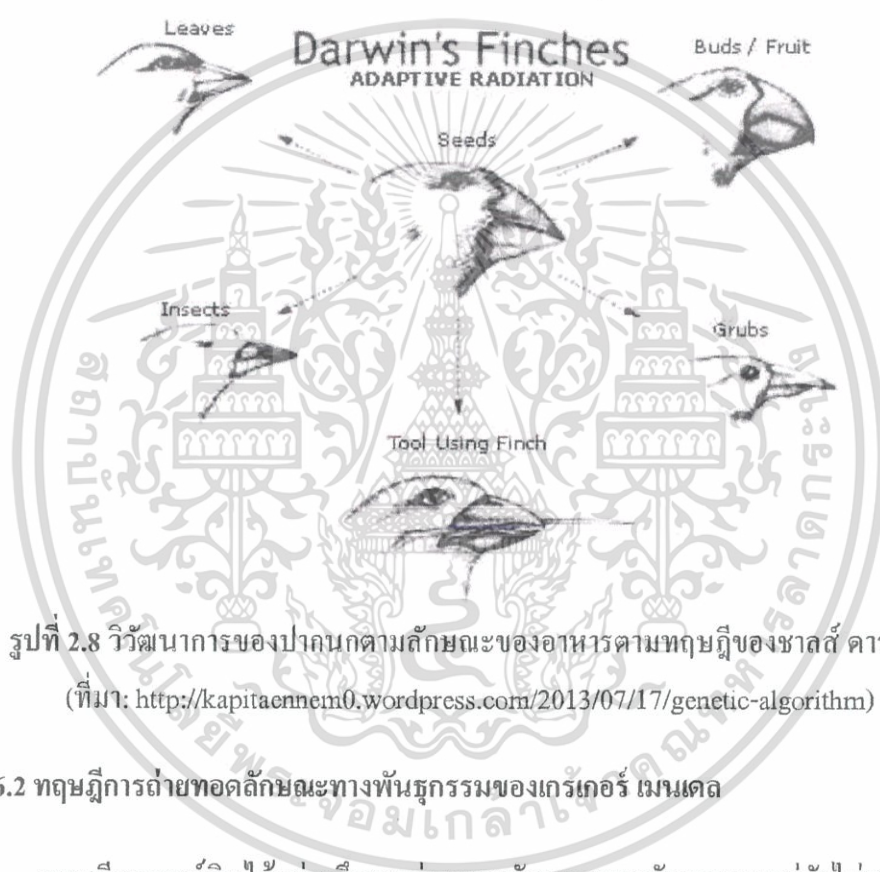
ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm – GA) เป็นเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) อย่างหนึ่งที่ใช้ในการค้นหา การเพิ่มประสิทธิภาพ และการเรียนรู้ (Search Optimization and Learning) ด้วยการเลียนแบบทฤษฎีการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีจุดเด่นในด้านความทนทานต่อความผิดพลาดในการค้นหาคำตอบจากแหล่งข้อมูลที่มีความซับซ้อนและยากที่จะสร้างแบบจำลองด้วยสมการคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นกระบวนการค้นหาที่ไม่มีความเฉพาะเจาะจงกับแบบจำลองหรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่การจัดตารางเวลา (Timetable Scheduling) การออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ (Control System Design) การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อส่งก๊าซ (Gas Pipeline Optimization) และการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมได้ (Genetic Based Machine Learning) เป็นต้น โดยหลักการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ เพื่อพัฒนาหรือทำการ “วิวัฒนาการ” คำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา (<http://kapitaennem0.wordpress.com/2013/07/17/genetic-algorithm>)

### 2.6.1 ทฤษฎีวิวัฒนาการของชาลส์ ดาร์วิน

ทฤษฎีของชาลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin) ได้เสนอทฤษฎีวิวัฒนาการตามธรรมชาติ กล่าวถึงความหลากหลายตามธรรมชาติและความแตกต่างของสายพันธุ์สิ่งมีชีวิต ว่าสายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ มีที่มาร่วมกัน แต่อิทธิพลจากสภาพแวดล้อมและการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความหลากหลายของสายพันธุ์ต่างๆ ขึ้นในที่สุด ซึ่งสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะมีโอกาสอยู่รอดได้มากและมีโอกาสถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปสู่ลูกหลานรุ่นต่อไป ในขณะที่สายพันธุ์ที่ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะมีโอกาสอยู่รอดได้น้อยและมีโอกาสสูญพันธุ์ไปในที่สุด โดยกระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมนี้เรียกว่ากระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะและจำนวนประชากรของสายพันธุ์ที่เหมาะสมไปด้วย รวมถึงสายพันธุ์ที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ทันอาจสูญพันธุ์ไป ตัวอย่างเช่น การศึกษานกที่อาศัยอยู่ในแหล่งอาหารที่แตกต่างกันจะพบว่ามีการวิวัฒนาการลักษณะของปาก เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของอาหารตามสภาพแวดล้อมของนกสายพันธุ์นั้น ดังรูปที่ 2.8 กล่าวโดยสรุปได้ว่าทฤษฎีวิวัฒนาการของชาลส์ ดาร์วิน คือการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของสายพันธุ์และลักษณะทางพันธุกรรม เพื่อให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (<http://kapitaennem0.wordpress.com/2013/07/17/genetic-algorithm>)



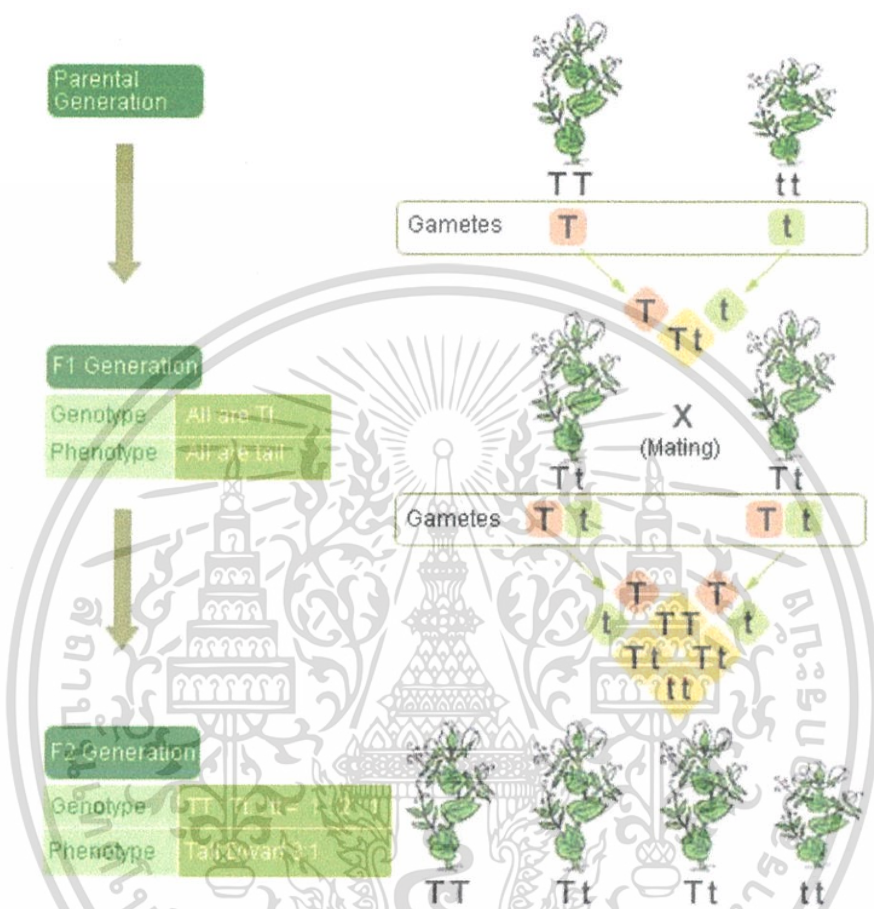
รูปที่ 2.8 วิวัฒนาการของปากนกตามลักษณะของอาหารตามทฤษฎีของชาลส์ ดาร์วิน  
(ที่มา: <http://kapitaennem0.wordpress.com/2013/07/17/genetic-algorithm>)

## 2.6.2 ทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของเกรเกอร์ เมนเดล

ทฤษฎีของดาร์วิน ได้กล่าวถึงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม แต่ยังไม่สามารถอธิบายกลไกการถ่ายทอดได้อย่างชัดเจน เกรเกอร์ เมนเดล (Gregor Mendel) ได้เสนอทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากการศึกษาความแตกต่างในสายพันธุ์ของพืช การเกิดลักษณะพันธุ์ทาง (Hybrids) จากการผสมพันธุ์พืชสายพันธุ์เดียวกันและการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมในการเพาะต้นถั่ว จากการศึกษาพบว่าลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลาน เช่น รูปร่างและสีของดอกไม้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะเด่น (Dominant Characters) กับลักษณะด้อย (Recessive Characters) ซึ่งการเกิดลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นลูกหลานเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลมาจากการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของรุ่นพ่อแม่ผ่านกระบวนการสืบพันธุ์ โดยมีอัตราการเกิดลักษณะต่างๆ ที่คงที่และสามารถคำนวณโอกาสในการเกิดลักษณะนั้นล่วงหน้าได้ ตัวอย่างเช่น การผสมพันธุ์พืชสายพันธุ์เดียวกันที่มีลักษณะสูงกับลักษณะแคระจะให้โอกาสในการเกิดต้นแคระ 1 ใน 4 ในลูกหลานรุ่นที่ 2 ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามทฤษฎีของเกรเกอร์ เมนเดล  
(ที่มา: <http://kapitaennem0.wordpress.com/2013/07/17/genetic-algorithm>)

ทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของเกรเกอร์ เมนเดล เป็นที่มาของการค้นพบหน่วยพันธุกรรม หรือ ยีน (Gene) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโครโมโซม (Chromosome) ในการกำหนดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต และทำหน้าที่ถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมดังกล่าวไปยังรุ่นลูกหลาน ทั้งในส่วนของลักษณะที่มองเห็นได้ภายนอก (Phenotype) และลักษณะทางชีวเคมีภายใน (Genotype) โดยทฤษฎีของเกรเกอร์ เมนเดลสามารถสรุปได้เป็นกฎสำคัญ 2 ข้อ กล่าวคือ กฎการแยกตัว (Law of Segregation) ที่กล่าวว่า โดยปกติแล้วยีนที่กำหนดลักษณะทางพันธุกรรมแต่ละชนิดจะมีลักษณะเป็นคู่ของอัลลีล (Allele) โดยในการสืบพันธุ์คู่ของอัลลีลของพ่อแม่จะถูกแยกออกจากกัน และลูกจะได้รับอัลลีลที่เป็นคู่จากการสุ่มผสมอัลลีลแต่ละข้างของพ่อแม่ กับกฎการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดเรียงอย่างอิสระ (Law of Independent Assortment) ที่กล่าวว่า ยีนที่กำหนดลักษณะทางพันธุกรรมแต่ละชนิดจะถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกโดยไม่มี ความเกี่ยวข้องกับยีนของลักษณะอื่น ตัวอย่างเช่น การถ่ายทอดยีนที่เป็นลักษณะของสีดอกไม้วี จะ เป็นไปโดยอิสระ ไม่มีความเกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดยีนที่เป็นลักษณะของรูปร่างดอกไม้

### 2.6.3 หลักการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

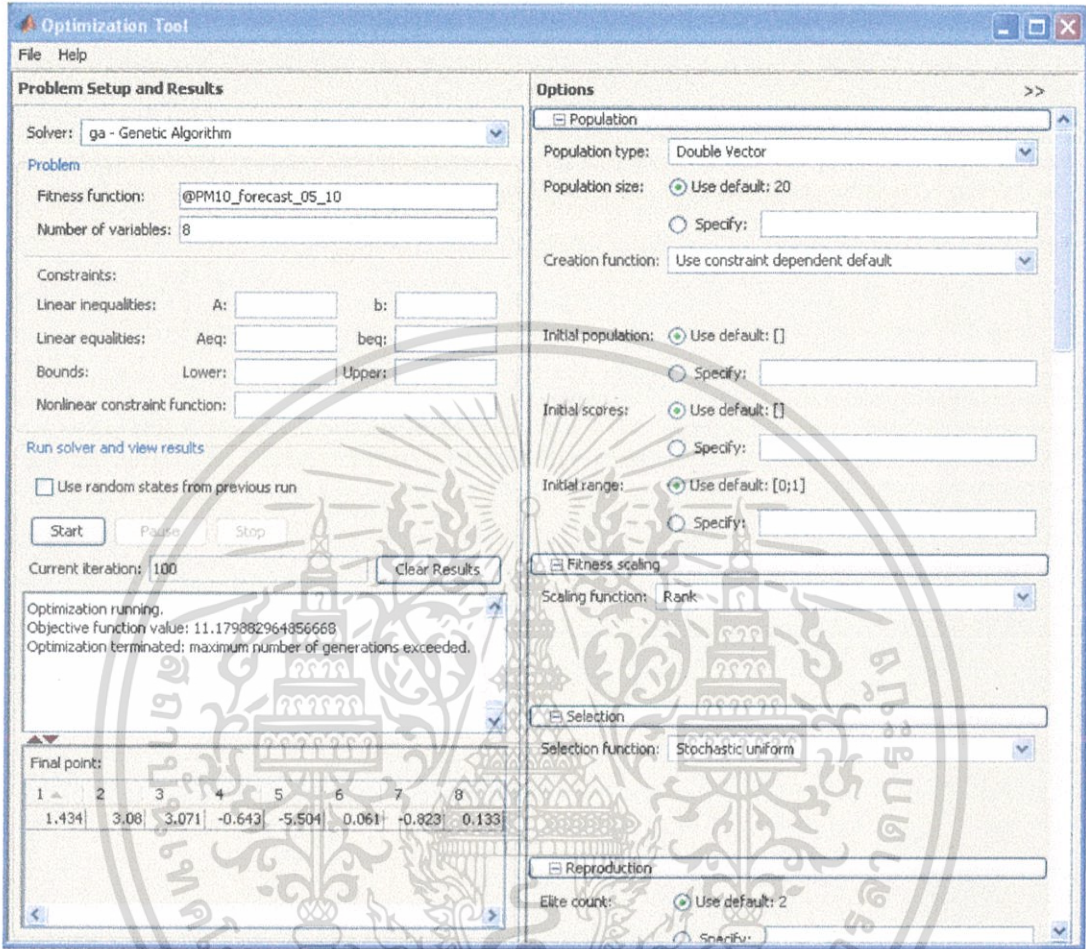
ความสำเร็จของกระบวนการวิวัฒนาการในธรรมชาติในการคัดเลือกสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม การกลายพันธุ์เพื่อเปิดโอกาสในการพัฒนาสายพันธุ์ และการอยู่รอดของเผ่าพันธุ์ด้วยการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการส่งต่อลักษณะทางพันธุกรรมของเผ่าพันธุ์ที่เหมาะสมในลักษณะของการถ่ายทอดและผสมยีนของรุ่นพ่อแม่ไปยังรุ่นลูกหลาน ได้กลายเป็นแรงบันดาลใจของมนุษย์ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นแนวคิดที่ริเริ่มโดยจอห์น ฮอลแลนด์ (John Holland) ในการค้นหาคำตอบในการแก้ปัญหาด้วยการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นแนวคิดใหม่ (Novel Approach) ในการแก้ปัญหาและค้นหาคำตอบด้วยการเลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมใช้การผสมชุดคำตอบที่มีความเหมาะสมและคัดเลือกคำตอบที่ดีกว่าเพื่อสร้างชุดคำตอบที่ดียิ่งขึ้นแทนการเปรียบเทียบคำตอบข้างเคียงเพื่อปรับทิศทาง การค้นหา ทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีจุดแข็งในการที่สามารถใช้ค้นหาคำตอบจากชุดข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องได้ และการใช้ชุดคำตอบจำนวนหนึ่งแทนการเปรียบเทียบระหว่างคำตอบแต่ละคำตอบทำให้การค้นหาด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Minima / Global Maxima) ได้โดยไม่ติดอยู่กับคำตอบที่ดีเฉพาะที่ (Local Minima / Local Maxima) อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่ใช้การคำนวณค่อนข้างมากและใช้เวลานาน แต่ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันทำให้สามารถลดเวลาในการดำเนินการตามกระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้เป็นอย่างมาก จนเป็นที่สนใจของนักวิจัยในปัจจุบัน

กระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการและการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาในรูปของยีนและโครโมโซม และการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในกระบวนการวิวัฒนาการชุดคำตอบ จากนั้นจะกำหนดชุดคำตอบชุดแรก (Initial Generation) ในรูปของโครโมโซมด้วยการสุ่ม และนำชุดคำตอบนั้นเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นกระบวนการต่อเนื่องที่ประกอบด้วยตัวดำเนินการ (Operator) ได้แก่ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การผสมยีน (Crossover) กับการกลายพันธุ์ (Mutation) และนำไปประเมินความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) สำหรับเงื่อนไขในการหยุดทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Stop Condition) สามารถกำหนดได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ครบรอบการทำงานที่ได้กำหนดไว้ พบเป้าหมายหรือคำตอบที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือพบว่าคำตอบที่ได้เริ่มลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด เช่น คำตอบที่ได้จากประชากรแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือคงที่เป็นจำนวนที่ติดต่อกัน



รูปที่ 2.10 หน้าจอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

จะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม อาศัยการหาคำตอบแบบสุ่มจากพื้นที่ในการหาคำตอบ และหวังว่าคำตอบและโครโมโซมที่เลือกมานั้นจะถูกนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงมีขั้นตอนวิธีค้นหาคำตอบทางคอมพิวเตอร์ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจต่างๆได้โดยง่าย

#### 2.6.4 การตั้งปัญหาและแสดงผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB Version 7.10.0.499 (R 2010a)

##### 1. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

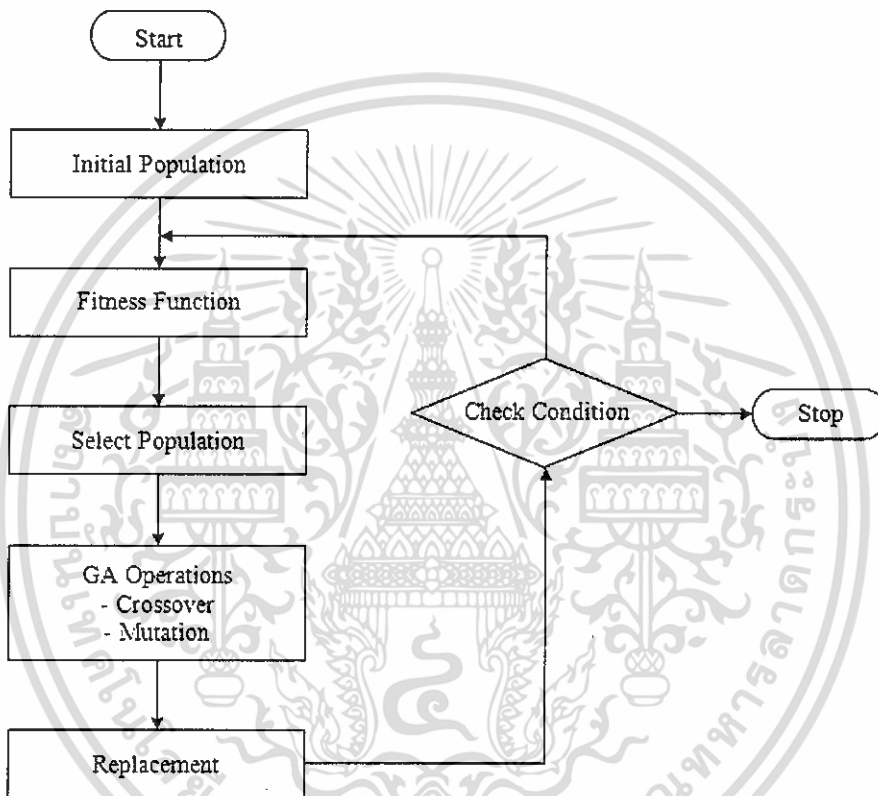
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จำนวนของตัวแปร (Number of variables)

คือจำนวนตัวแปรอิสระที่ใช้ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์

3. การประมวลผลและสรุปผล (Run solver and view results)

การเริ่มประมวลผลนั้นให้คอมพิวเตอร์เริ่มต้น (Start) และเมื่อกระบวนการประมวลผลสิ้นสุดลงจะมีหน้าจอสถานะและสรุปผลออกมา และมีค่าที่ดีที่สุดแสดงออกมา



รูปที่ 2.11 แผนผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในงานวิจัยชิ้นนี้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด กำหนดให้เป็นผลบวกของค่าตลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้ได้มาซึ่งสัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณ ดังสมการที่ (2.43)

## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มงคล ราชะนาคร และคณะ ได้กล่าวว่าคุณภาพอากาศมีความสำคัญมากในการดำรงชีวิต เนื่องจากมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและสุขภาพอนามัยของประชากร การวิจัยในเมืองต่างๆทั่วโลกแสดงให้เห็นว่าระดับของฝุ่นละอองในอากาศมีความสัมพันธ์ต่ออัตราการตายก่อนวัยอันควร และการเจ็บป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเดินหายใจ เช่น โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด โดยเฉพาะผู้ที่ภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น เด็กเล็กและผู้สูงอายุ จังหวัดเชียงใหม่ และลำพูนเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ประกอบด้วยพื้นที่ที่มีภูเขาล้อมรอบ มีสภาพอากาศที่แห้งและนิ่งเป็นเวลานาน ก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษที่ไม่สามารถแพร่กระจายออกสู่ภายนอกได้ ส่งผลให้มีการตรวจพบปริมาณฝุ่นขนาดเล็กสูงเกินมาตรฐาน นอกจากสาเหตุทางด้านภูมิศาสตร์แล้ว การคมนาคมขนส่งที่เพิ่มมากขึ้น การก่อสร้างและการเผาในที่โล่ง ล้วนแต่เป็นสาเหตุของมลพิษดังกล่าว ปัจจุบันยังไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงแต่อย่างใด ผู้คนในพื้นที่ตกอยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ปริมาณฝุ่น  $PM_{10}$  รวมถึง  $PM_{2.5}$  มีปริมาณสูง ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากอนุภาคฝุ่นดังกล่าวสามารถเข้าสู่ปอดได้ อันตรายที่เกิดจาก  $PM_{10}$  คือ ความเป็นพิษ (Toxicity) การก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) และความเป็นกรด (Acidity)

ยุทธ ไกยวรรณ ได้ศึกษาหลักการและการใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสำหรับการวิจัย พบว่าการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเป็นการวิเคราะห์ที่มีเป้าหมายเพื่อพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ โดยอาศัยสมการโลจิสติกที่สร้างขึ้นจากชุดตัวแปรอิสระที่เป็นตัวแปรที่มีข้อมูลอยู่ในระดับช่วงเป็นอย่างน้อย โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระจะต้องมีความสัมพันธ์กันต่ำ ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม และในการวิเคราะห์จะต้องใช้ขนาดตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 30 ตัว เนื่องจากตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไม่อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น ในการวิเคราะห์จะต้องมีการปรับความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น ในรูปของ odds และในการเขียนโมเดล โลจิสติกจะต้องเขียนให้อยู่ในรูป log ของ odds เรียกว่า logit การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกใช้ในงานที่สนใจพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ โดยจำเป็นต้องพยากรณ์ค่าเชิงปริมาณของตัวแปรตามนั้น เช่น นักวิจัยต้องการศึกษาว่าเวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบมีความสัมพันธ์กับผลการสอบของนักศึกษาหรือไม่ ตัวแปรอิสระคือเวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ และตัวแปรตามคือผลการสอบซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีคือ ผ่าน และไม่ผ่าน

วนิดา รัตนมณี และ สุภชัย ปทุมนากุล ได้กล่าวว่าการทำงานในองค์กรต่างๆ ล้วนแล้วแต่ต้องประสบปัญหาในการทำงาน ปัญหาส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่ให้ความพึงพอใจสูงสุด (Optimization problem) ตัวอย่างปัญหาเหล่านี้ได้แก่ ปัญหาด้านการวางแผนการผลิต การจัดผังการทำงาน การกำหนดเส้นทางการขนย้ายสินค้า หรือการวางแผนการเดินทางเดียว เป็นต้น ซึ่งคำตอบของปัญหาต่างๆ เหล่านี้มีคำตอบที่เป็นไปได้อยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ วิธีการที่จะใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ วิธีการแบบฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดจากกลุ่มคำตอบที่สุ่มมาได้ (search space) บางส่วน วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกมีอยู่หลายวิธี เช่น การค้นหาแบบตาบ (Tabu search) ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นต้น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถหาคำตอบแบบฮิวริสติกได้ผลดี และมีกระบวนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีการที่พยายามหาคำตอบที่เป็นไปได้ให้มากที่สุดและมีการพัฒนาคำตอบไปเรื่อยๆ เพื่อการได้มาซึ่งคำตอบที่น่าพึงพอใจที่สุด และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการเช่นนี้เป็นหลักการง่ายๆ แต่สามารถใช้ได้ผลดีกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่โดยไม่ต้องหาค่าตัวแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดมา นอกจากนี้ยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะได้รับคำตอบที่ผิดพลาดซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หากใช้การค้นหาด้วยวิธีอื่นๆ

สิริกัลยา ประมวล ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสำหรับการพยากรณ์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสามวิธี คือ วิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ วิธี โครงข่ายประสาทเทียมแบบเชื่อมโยงไปข้างหน้า และวิธีการจีเนติกอัลกอริทึม โดยใช้ตัวแปรพยากรณ์ทั้งหมด 17 ตัวแปร ผลที่ได้จากงานวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของการพยากรณ์ที่ได้จากวิธีการจีเนติกอัลกอริทึมดีกว่า การพยากรณ์ที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และวิธี โครงข่ายประสาทเทียมแบบเชื่อมโยงไปข้างหน้า

Park และคณะ (2002) ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs 16 ชนิด ในรูปของ pPAHs และ gPAHs พบว่าสารประกอบ PAHs โดยส่วนใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบในรูปของ gPAHs และ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คือ Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b+k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Benzo(g,h,i)pyrene พบในรูปของ pPAHs และปริมาณ Total pPAHs และ Total gPAHs มีค่าเท่ากับ  $26.25 \pm 29.40$  และ  $63.03 \pm 74.26$  ng/m<sup>3</sup> ตามลำดับ

Tsai และคณะ (2002) ศึกษาสารประกอบ PAHs 21 ชนิด ในรูปของ pPAHs และ gPAHs พบว่าสารประกอบ PAHs ที่มีวงเบนซีน 2-3 วง พบในรูปของ gPAHs ส่วนสารประกอบ PAHs ที่มีวงเบนซีน 5-7 วง พบในรูปของ pPAHs โดยส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง นอกจากนี้ ยังพบสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ เป็นสารอะโรมาติกมากกว่า PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ

Kameda และคณะ (2005) ศึกษาการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 21 ชนิด ในฝุ่นที่มีขนาดแตกต่างกัน 6 ขนาด คือ > 7.0, 7.0 - 3.3, 3.3 - 2.0, 2.0 - 1.1, 1.1 - 0.43 และ < 0.43 ไมครอนในเมือง Yokohama เพื่อประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งในปอด พบว่า สาร PAHs 6 ชนิด คือ Dibenzo(a,h)anthracene, Benzo(b)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Dibenzo(a,h)pyrene, Dibenzo(a,e)pyrene และ Benzo(a)pyrene มีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งในปอด 93% รวมถึงสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูง ๆ น่าจะเป็นตัวบ่งชี้ความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งในปอดมากกว่า Benzo(a)pyrene เพียงชนิดเดียว นอกจากนี้ ยังพบว่าการกระจายตัวของสาร PAHs ทั้ง 6 ชนิดในฝุ่นละอองที่มี ขนาด 1.1-0.43 ไมครอน ซึ่งเกิดการตกสะสมในระบบทางเดินหายใจมากที่สุด ประมาณ 57-70 % จากความเข้มข้นของ PAHs ทั้งหมด

Yang และคณะ (2006) ศึกษาขนาดและการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 21 ชนิด ในช่วงระหว่างที่มีการเผาไหม้ฟางข้าว พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ในรูปของอนุภาคฝุ่น และในรูปของก๊าซ คือ 33.0 และ 1,160.0 ng m<sup>-3</sup> และช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้ฟางข้าวพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ในรูปของอนุภาคฝุ่น และในรูปของก๊าซ คือ 13.5 และ 479.0 ng m<sup>-3</sup> นอกจากนี้ ในช่วงระหว่างที่มีการเผาไหม้ฟางข้าว ค่าอัตราส่วนเฉพาะของ BaP/BgP เท่ากับ 2.0 และ ค่าอัตราส่วนเฉพาะของ InP/ InP +BgP เท่ากับ 0.64 แสดงให้เห็นได้ว่า ค่าอัตราส่วนเฉพาะ BaP/BgP สามารถบ่งชี้แหล่งที่มาของสารประกอบ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ฟางข้าวได้ ยกเว้น ค่าอัตราส่วนเฉพาะของ InP/ InP +BgP ซึ่งอัตราส่วนเฉพาะของ InP/ InP +BgP ที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซลอยู่ในช่วง 0.3-0.7 ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกันกับค่าอัตราส่วนเฉพาะของ InP/InP+Bgp ที่มาจากการเผาไหม้ฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lai และคณะ (2009) ศึกษาการกระจายตัวของระดับความเข้มข้นของสาร PAHs 21 ชนิด ในเขตเมือง Jhu-Shan (พื้นที่ชนบท) และ Sin-Gang (พื้นที่ในเมือง) ในช่วงระหว่างที่มี การเผาไหม้ฟางข้าว และไมการเผาไหม้ฟางข้าว พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ Total-PAHs เพิ่มขึ้นเป็น 58 % ในระหว่างที่มีการเผาไหม้ของฟางข้าว ซึ่งมีความมากกว่าช่วงที่ไม่มีการเผาไหม้ฟางข้าว 1.54-2.57 เท่า มีการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นขนาด 0.88-1.21 ไมโครเมตรมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศ ประมาณ 6.3-24.6 % ในช่วงที่มีการเผาไหม้ฟางข้าวทั้งสองพื้นที่ศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน เพื่อศึกษาแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงรายเดือนของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน และตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับทำนายการเกิดหมอกควันรายวัน โดยอาศัยข้อมูลรายวันปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดหมอกควันในการพิจารณา

#### 3.1 ข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ข้อมูลความเข้มข้นรายเดือนของสารมลพิษทางอากาศ 5 ปัจจัย ได้แก่  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$  และ  $PM_{10}$  โดยระบบเครือข่ายการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ในสังกัดสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่เก็บรวบรวมข้อมูลสารมลพิษต่างๆ ตั้งแต่ 1 มกราคม ค.ศ. 2005 ถึง 31 ธันวาคม ค.ศ. 2010

#### 3.2 ตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา

สำหรับตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลาของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน เราพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อวัดความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อ  $PM_{10}$  โดยข้อมูลอนุกรมเวลาที่นำมาพิจารณาเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน คำนวณตามสมการ (2.2)

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆและ  $PM_{10}$  (รายเดือน)

Factor	Correlation	Factor	Correlation
CO	0.74	Temperature	-0.02
NO	0.35	Relative Humidity	-0.80
$NO_2$	0.87	Pressure	0.49
$SO_2$	0.40	Wind speed	-0.08
$O_3$	0.15	Rain	-0.62
Wind direction	-0.10		

จากตารางที่ 3.1 เราสามารถสรุปได้ว่า

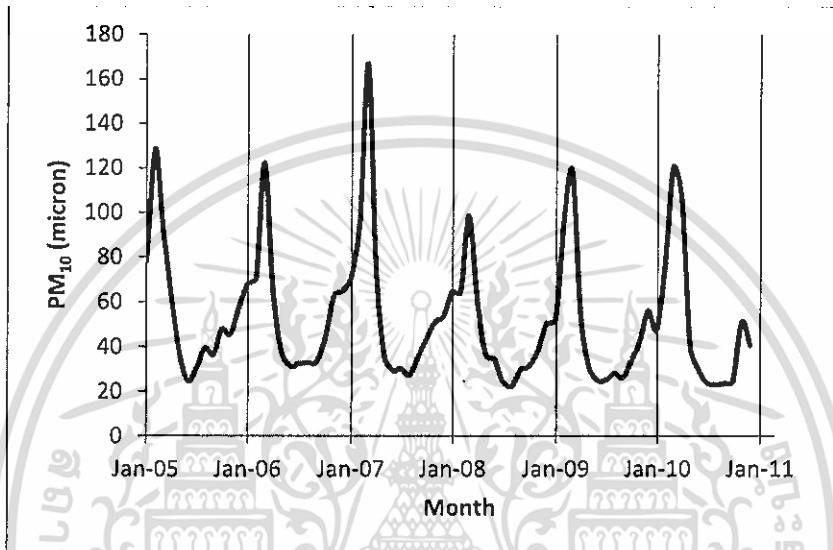
ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ  $PM_{10}$  สูง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

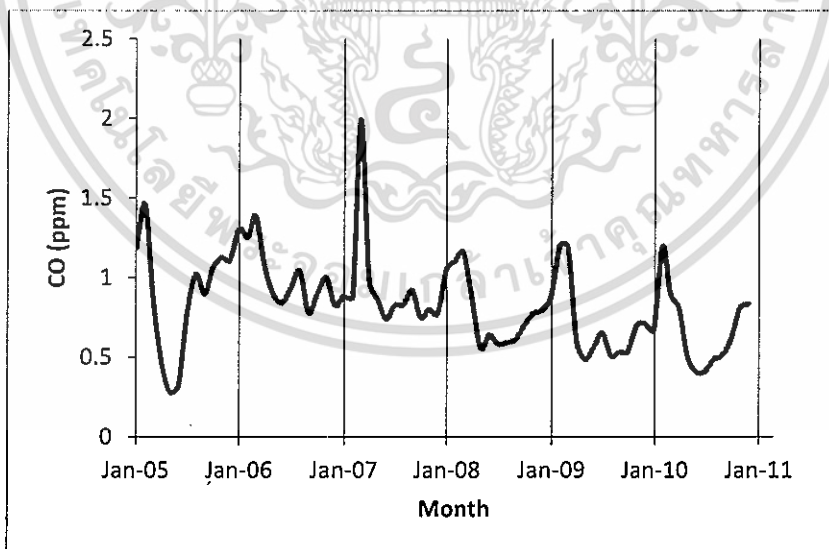
ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ  $PM_{10}$  ปานกลาง ได้แก่ ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ  $PM_{10}$  ต่ำ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ และก๊าซโอโซน

ดังนั้นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ  $PM_{10}$  สูง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และปริมาณน้ำฝน (Rain)

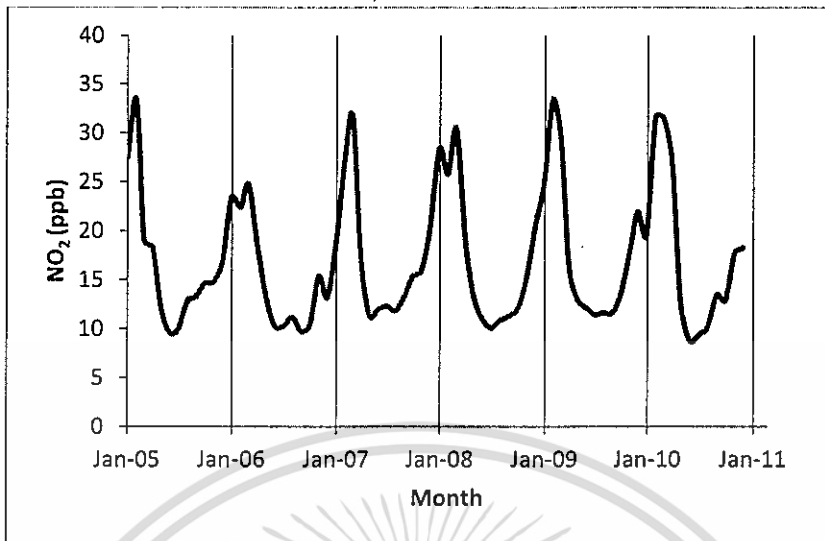


รูปที่ 3.1 ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนรายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010



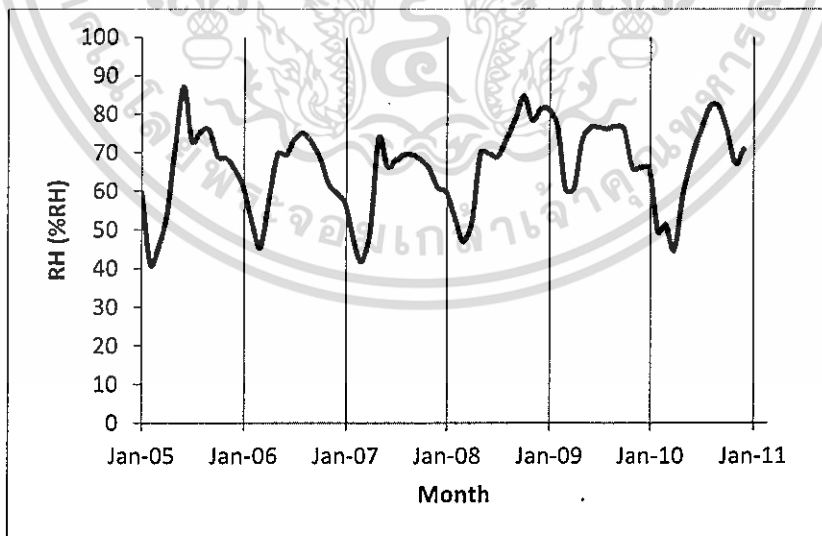
รูปที่ 3.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์รายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



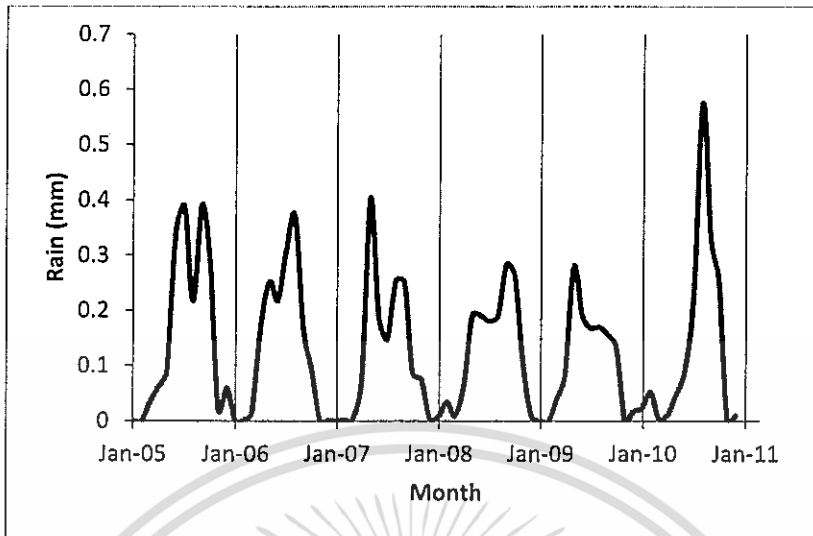
รูปที่ 3.3 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์รายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010

ค่าของข้อมูลที่น่ามาพิจารณา มีการเปลี่ยนแปลงซ้ำทุกๆ 12 เดือน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เนื่องจากค่าในแต่ละปีมีการเปลี่ยนแปลงที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน นั้นหมายความว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกด้วยเช่นกัน รูปที่ 3.1 – 3.5 แสดงปริมาณของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันที่ได้รับการตรวจวัดในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าแต่ละปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีคาบฤดูกาลเป็น 12 เดือน ซึ่งต่อไปเราจะทำการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาของปัจจัยดังกล่าวนี้โดยใช้การวิเคราะห์อนุกรมเวลา จากสมการ (2.4) ถึง (2.7)



รูปที่ 3.4 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนตั้งแต่ปี 2005 – 2010

เนื่องจากอนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีแนวโน้ม และมีคาบของฤดูกาลเท่ากับ 12 เดือน เราเลือกวิเคราะห์ด้วยวิธี  
 วินเตอร์กรณีสถิติฤดูกาลเชิงบวขชนิดที่ไม่มีแนวโน้ม ฉะนั้นตัวแบบที่ใช้ในการพยากรณ์เมื่อ  $n = 72$  และ  $s = 12$  คือ

$$\hat{Z}_{72}(l) = \hat{\beta}_0(72) + \hat{S}_{60+l}, \quad l = 1, 2, \dots \quad (3.1)$$

โดยที่ค่า  $\hat{\beta}_0(72)$  และ  $\hat{S}_{60+l}$  ได้มาจากสมการ

$$\hat{\beta}_0(n) = \alpha_1(Z_n - \hat{S}_{n-12}) + (1 - \alpha_1)\hat{\beta}_0(n-1) \quad (3.2)$$

$$\hat{S}_n = \alpha_3[Z_n - \hat{\beta}_0(n)] + (1 - \alpha_3)\hat{S}_{n-12} \quad (3.3)$$

เนื่องจากข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเชิงบวขชนิดที่ไม่มีแนวโน้ม ทำให้ไม่มีพจน์  $\beta_l$  หรือ  
 สมการ (2.5) ในตัวแบบ ในกรณีนี้ค่าคงที่ในการทำให้เรียบที่ต้องกำหนดคือ  $\alpha_1$  และ  $\alpha_3$  ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้การ  
 วิเคราะห์และตัดสินใจโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการหาคำตอบ

### 3.3 ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

สถานการณ์หมอกควันมักปรากฏชัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนเท่านั้น เนื่องจากระยะเวลา  
 ดังกล่าวถืออยู่ในหน้าแล้ง สภาพอากาศนิ่ง ทำให้สารมลพิษสามารถอยู่ในชั้นบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ประกอบกับ  
 พื้นที่ภาคเหนือตอนบนมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ทำให้สารมลพิษทางอากาศกระจายตัวได้น้อย สำหรับตัวแบบ  
 พยากรณ์การเกิดหมอกควัน เราพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อวัดความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีต่อ  $PM_{10}$   
 โดยข้อมูลอนุกรมเวลาที่นำมาพิจารณาเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยรายวัน กำหนดตามสมการ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆและ PM<sub>10</sub> (รายวัน)

Factor	Correlation	Factor	Correlation
CO	0.6676	Temperature	0.0160
NO	0.3191	Relative Humidity (RH)	-0.6633
NO <sub>2</sub>	0.8845	Pressure	0.3278
SO <sub>2</sub>	0.4719	Wind speed	-0.0642
O <sub>3</sub>	0.5576	Rain	-0.2234
Wind direction	-0.0865		

จากตารางที่ 3.2 เราสามารถสรุปได้ว่า

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ PM<sub>10</sub> สูง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>)

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ PM<sub>10</sub> ปานกลาง ได้แก่ ความดัน (Pressure) ก๊าซไนโตรเจนมอนนอกไซด์ (NO<sub>2</sub>) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ PM<sub>10</sub> ต่ำ ได้แก่ ความเร็วลม (Wind speed) ทิศทางลม (Wind direction) อุณหภูมิ (Temperature) และปริมาณน้ำฝน (Rain)

ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสำหรับตัวแบบการเกิดหมอกควันใช้ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ PM<sub>10</sub> สูงและปานกลางในการสร้างตัวแบบ นั่นคือปัจจัยที่นำมาพิจารณามีทั้งสิ้น 7 ปัจจัย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซโอโซน ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ในการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมากเกินไปหรือไม่นั้น พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ตารางที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทุกคู่มีค่าไม่เกิน 0.65 ตามเกณฑ์ของ Burns and Grove (1993) นั่นคือ ไม่เกิดปัญหาที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก (multicollinearity) ตัวแปรอิสระทั้ง 7 สามารถนำไปสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกได้

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระต่างๆ

Factor	CO	NO <sub>2</sub>	RH	O <sub>3</sub>	Pressure	NO	SO <sub>2</sub>
CO	1						
NO <sub>2</sub>	0.6502	1					
RH	-0.3872	-0.5324	1				
O <sub>3</sub>	0.1688	0.4853	-0.6115	1			
Pressure	0.3202	0.3192	-0.2803	0.1237	1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO	0.4283	0.5380	-0.0213	-0.1483	0.1653	1	
SO <sub>2</sub>	0.4087	0.3577	-0.2446	0.0715	0.3183	0.2296	1

โดยทั่วไปแล้ว กรมควบคุมมลพิษจะรายงานความรุนแรงของปัญหาหมอกควันเมื่อตรวจวัดค่า PM<sub>10</sub> ได้สูงถึง 120 ไมครอน แต่เมื่อค่า PM<sub>10</sub> มีค่าเกิน 100 ก็ควรเฝ้าระวัง เริ่มมีผลต่อสุขภาพของคนในพื้นที่ โดยเฉพาะผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ หรือผู้มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งระดับการเกิดหมอกควันเป็น 3 ระดับ คือ ค่า PM<sub>10</sub> ที่อยู่ระหว่าง 0 – 99 ไมครอน หมายถึง “ไม่มีผลต่อสุขภาพ” ค่า PM<sub>10</sub> ที่อยู่ระหว่าง 100 – 119 ไมครอน หมายถึง “มีผลต่อสุขภาพ” และ ค่า PM<sub>10</sub> ที่เกินกว่า 120 ไมครอน หมายถึง “มีผลต่อสุขภาพมาก”

กำหนดให้  $p_1$  แทน ความน่าจะเป็นที่ PM<sub>10</sub> มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 99 ไมครอน

$p_2$  แทน ความน่าจะเป็นที่ PM<sub>10</sub> มีค่าอยู่ระหว่าง 100 – 199 ไมครอน

$p_3$  แทน ความน่าจะเป็นที่ PM<sub>10</sub> มีค่ามากกว่า 120 ไมครอน

ให้  $p_1$  เป็นกลุ่มอ้างอิง ตัวแบบโลจิท (Logit Model) คือ

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \beta_{02} + \beta_{12}x_1 + \beta_{22}x_2 + \dots + \beta_{72}x_7 \quad (3.4)$$

$$\ln \frac{p_3}{p_1} = \beta_{03} + \beta_{13}x_1 + \beta_{23}x_2 + \dots + \beta_{73}x_7 \quad (3.5)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \quad (3.6)$$

ความน่าจะเป็นสามารถสรุปได้ดังนี้

$$p_1 = \frac{1}{\left( \sum_{i=2}^3 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \dots + \beta_{7i}x_7) + 1 \right)} \quad (3.7)$$

$$p_2 = \frac{\exp(\beta_{02} + \beta_{12}x_1 + \dots + \beta_{72}x_7)}{1 + \left( \sum_{i=2}^3 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \dots + \beta_{7i}x_7) + 1 \right)} \quad (3.8)$$

$$p_3 = \frac{\exp(\beta_{03} + \beta_{13}x_1 + \dots + \beta_{73}x_7)}{1 + \left( \sum_{i=2}^3 \exp(\beta_{0i} + \beta_{1i}x_1 + \dots + \beta_{7i}x_7) + 1 \right)} \quad (3.9)$$

โดยที่  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_7$  คือค่าของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซโอโซน ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์  $\beta$  หาโดยวิธีนิวตันราฟสัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปัจจัยรายเดือนเปรียบเทียบกับ  $PM_{10}$  ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยปัจจัยที่นำมาสร้างตัวแบบนั้นพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อ  $PM_{10}$  สูงและปานกลาง ซึ่งมีทั้งสิ้น 7 ปัจจัย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซโอโซน ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเขียนได้เป็น

$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_7 X_{7i} \quad (3.10)$$

โดยที่  $X_1, X_2, \dots, X_7$  คือค่าของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซโอโซน ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามลำดับ การประมาณค่าพารามิเตอร์  $a, b_1, \dots, b_7$  หาโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่า RMSE

### 3.5 สารเคมีและอุปกรณ์

#### 3.5.1 สารเคมี

1. Acetonitrile (HPLC grade) 99.5%, บริษัท Fisher Science, ประเทศเยอรมนี
2. Dichloromethane (HPLC grade) 99.5%, บริษัท Fisher Science, ประเทศเยอรมนี
3. Hexane (HPLC grade) 99.5%, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
4. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 16 Mix Calibration Standard in Acetonitrile, บริษัท Supelco, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. Helium gas 99.999%, บริษัท Praxair, ประเทศไทย
6. Nitrogen 99.999%, บริษัท Praxair, ประเทศไทย

#### 3.5.2 อุปกรณ์

1. เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8 Stage non-viable cascade impactor), บริษัท TISCH Environmental, ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่อง Calibrator, รุ่น Defender™ 500 Series, บริษัท TISCH Environmental, ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่อง Gas Chromatograph, รุ่น 6830 N และ Mass Spectrophotometer รุ่น 5973N, บริษัท Agilent Technologies, ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. GC capillary column HP 5 ขนาด 30 m x 0.25 mm I.D. x 0.25  $\mu$ m (film thickness), บริษัท J&W Scientific, ประเทศญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง, รุ่น TC - 254, บริษัท Denever Instrument Company, ประเทศเยอรมนี
6. เครื่องชั่งละเอียด 5 ตำแหน่ง, รุ่น Sartorius BA 210, บริษัท Scientific Promotion, ประเทศฝรั่งเศส
7. เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Vacuum Evaporatory), รุ่น N-N Series, บริษัท Tokyo Rikakikai, ประเทศญี่ปุ่น
8. ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator auto dry box), รุ่น CM-3, บริษัท Samplatec Crop., ประเทศเยอรมนี
9. เครื่อง Ultrasonicator
10. Bound Elute C-18, 500 mg 3 ml, บริษัท DIKMA, ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. กระดาษกรองใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาด 0.81 มิลลิเมตร, บริษัท Toyo Roshi Kaisha, ประเทศญี่ปุ่น
12. กระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาด 0.45 ไมครอน, บริษัท ANPL Scientific Instrument, ประเทศจีน
13. คีมคีบปากแบน (Forcep) เคลือบด้วย Teflon
14. ถุงมือไวน์ล ไม่มีแป้ง (Vinyl non powdered gloves)
15. เครื่องแก้วต่าง ๆ

### 3.6 สภาพพื้นที่เก็บตัวอย่าง บริเวณจังหวัดพะเยา

จังหวัดพะเยาตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 18 องศา 44 ลิปดา เหนือ ถึง 19 องศา 44 ลิปดา เหนือ และเส้นแวงที่ 99 องศา 40 ลิปดา ตะวันออกถึง 100 องศา 40 ลิปดา ตะวันออกห่างจาก กรุงเทพมหานคร ประมาณ 735 กิโลเมตร จังหวัดพะเยาที่พื้นที่ติดต่อกับจังหวัดอื่นๆ และประเทศเพื่อนบ้าน ดังนี้

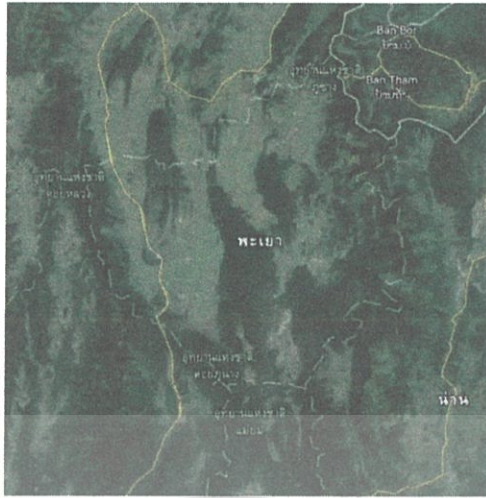
ทิศเหนือ ติดต่อกับจังหวัดเชียงราย

ทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดแพร่

ทิศตะวันออกติดต่อกับจังหวัดน่าน และ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดลำปาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ลักษณะภูมิประเทศ จังหวัดพะเยา ต่อม (www.phayao.go.th)

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดพะเยาล้อมรอบไปด้วยเทือกเขาทอดตัวเป็นแนวยาวจากเหนือลงใต้ ทั้งด้านตะวันออก ด้านตะวันตก ด้านใต้และตอนกลางของจังหวัด มีเนื้อที่ภูเขาสูง ประมาณร้อยละ 47 ของพื้นที่ จังหวัด มีพื้นที่เนินเขาผสมที่ราบ ประมาณร้อยละ 35 และมีที่ราบลุ่มน้อยที่สุด ประมาณร้อยละ 18 ระดับความสูงของพื้นที่จังหวัดพะเยา มีความสูงระหว่าง 300-1,550 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง เทือกเขาที่สำคัญของจังหวัดพะเยา ได้แก่ เทือกเขาคอยภูลังกา คอยสันปันน้ำ คอยแม่สุก คอยขุนแม่ฝาด คอยขุนแม่ต้า และคอยขุนแม่ต๋อม (www.phayao.go.th) ลักษณะภูมิประเทศแสดงดังรูปที่ 3.1

จุดติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศอยู่บริเวณอยู่บริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ตั้งอยู่ที่ ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19 องศา 10 ลิปดา 6.7 ฟลิปดาเหนือและ ลองจิจูด 99 องศา 53 ลิปดา 46 ฟลิปดา ตะวันออก แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.7 พื้นที่เก็บตัวอย่าง ก) บริเวณหอดูดาว ข) จุดเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง Eight Stage Cascade Impactor ประกอบด้วยชั้นอนุภาคนิยม 8 ชั้น ได้แก่ stage 0, stage 1, stage 2, stage 3, stage 4, stage 5, stage 6, stage 7 และชั้นล่างสุด stage F ซึ่งเป็น Back up โดยในแต่ละชั้นจะมีขนาดในการคัดแยกฝุ่นละออง ดังนี้ คือ >9.0, 9.0–5.8, 5.8–4.7, 4.7–3.3, 3.3–2.1, 2.1–1.1, 1.1–0.7, 0.7–0.4 และ <0.4 ไมครอน ตามลำดับ มีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

1. วางกระดาษกรอง Quartz fiber filter ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81 มิลลิเมตร ที่ผ่านการอบไล่สารอินทรีย์ต่าง ๆ และซั่งน้ำหนักเริ่มต้น บนแผ่นเพลตวงกลม ในแต่ละชั้นจะมี O-ring เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

2. ต่อชุด Impactor ในแต่ละชั้น เริ่มตั้งแต่ stage F ตามด้วย stage 7 จนถึงหัวเก็บตัวอย่าง Inlet โดยจากนั้นใช้สปริงทั้ง 3 ยึดเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้นไว้

3. ต่ออุปกรณ์ 8 Stage Cascade Impactor เข้ากับปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ

4. สอบเทียบอัตราการไหล ด้วย Calibrator Defender 520 ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที บันทึกอัตราการไหลของปั๊ม 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย จดบันทึกอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศก่อนเก็บตัวอย่าง

5. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้ Eight Stage Cascade Impactor ในบรรยากาศบริเวณหอดูดาว ณ อุทยานการเรียนรู้บ้านพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 10.00 น. วันที่เริ่มเก็บตัวอย่าง จนถึง 10.00 น. วันที่สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง รวมเป็นเวลา 120 ชั่วโมง มีช่วงวันในการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.4 ช่วงวันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน

สภาพบรรยากาศ	วันที่เริ่ม-สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง
ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน	18-23 กุมภาพันธ์ 2557
	24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557
	3-8 มีนาคม 2557
	11-16 มีนาคม 2557
	17-22 มีนาคม 2557
บรรยากาศปกติ	6-11 ธันวาคม 2557
	17-22 มิถุนายน 2557

6. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ บันทึกอัตราการไหลของปั๊ม 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย จดบันทึกอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศหลังเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สวมถุงมือไนลิตชนิดไม่มีแป้ง และใช้คีบคีบปากแบนคีบกระดวยกรองออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นใส่ plate พลาสติก แล้วหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นเก็บใส่ในถุงพลาสติกปิดถุงให้แน่นสนิทแล้ว เก็บใส่ในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส และนำกลับไปวิเคราะห์ตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการ
8. เก็บตัวอย่าง Experimental blank โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 1-7 แต่ไม่ต้องเก็บตัวอย่างอากาศ
9. ชุดควบคุมทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-8 แต่เก็บตัวอย่างในช่วงสภาพอากาศปกติ ไม่มีพายุหิมอกควัน
10. อบกระดวยกรองหลังเก็บตัวอย่างอากาศในตู้ดูดความชื้น ที่ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า  $50\% \pm 5\%$  อุณหภูมิห้อง ระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง (กรมควบคุมมลพิษ 2546)
11. ชั่งน้ำหนักกระดวยกรองหลังเก็บตัวอย่าง
12. คำนวณความเข้มข้นของแต่ละขนาด และนำไปวิเคราะห์สารประกอบ PAHs ต่อไป (ในกรณีที่ไม่ได้วิเคราะห์สารประกอบ PAHs ในทันที ให้เก็บตัวอย่างกระดวยกรองใส่ plate พลาสติก แล้วหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์แล้วเก็บในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส)

### 3.8 การวิเคราะห์สาร PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

สกัดตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดวยกรองโดยประยุกต์วิธีของ The Compendium Method TO-13A (U.S.EPA, 1999 ; มงคลและคณะ, 2550) มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดกระดวยกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละขนาดคัดแยก ให้เป็นชั้นเล็ก ๆ ใส่ในขวดแก้วสีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชาปิดฝาให้สนิทแล้วพันฝาด้วย paraffin film
3. สกัดโดยการเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonicator ที่มีกำลังเขย่า 154 Hz เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง Ultrasonicator โดยเติมน้ำแข็งเพื่อป้องกันการระเหยของสาร PAHs
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดวยกรองชนิดไนลอน (nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ใส่ในขวดแก้วสีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
5. สกัดกระดวยกรองซ้ำด้วยสารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร โดยสกัดตามข้อ 3-4
6. นำสารละลายที่กรองได้จากข้อ 4 และ 5 มาใส่รวมกัน ในขวดก้นกลม นำไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องหมุนระเหยความดันต่ำ 100 มิลลิบาร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาตรประมาณ 1 มิลลิลิตร
7. ใช้ dropper ดูดสารละลายจากขวดก้นกลมที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรสีชา ขนาด 1 มิลลิลิตร จากนั้นกลั่นสารละลายตัวอย่างที่ตกค้างในขวดก้นกลมด้วย Acetonitrile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ปรับปริมาตรสารละลายที่ได้ให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 มิลลิลิตร โดยใช้ Acetonitrile (ในกรณีที่มีปริมาตรเกิน 1 มิลลิลิตร ให้พ่นด้วยก๊าซไนโตรเจน เพื่อลดปริมาตรสารละลาย)

9. Clean-up สารละลายที่สกัดได้ โดยใช้ C18 cartridge ขนาด 3 มิลลิลิตร และมีน้ำหนัก 500 กรัม ก่อนการใช้ C18 cartridge ต้องปรับสภาพด้วยสารละลายผสม Hexane กับ Dichloromethane อัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

10. ใช้ dropper ดูดสารละลายตัวอย่างในข้อ 8 ลงใน C18 cartridge กลั้วสารละลายตัวอย่างที่ตกค้างในขวดสีชาด้วย Acetonitrile

11. ชะสารละลายตัวอย่างโดยใช้ 20% Dichloromethane ใน Hexane ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลดปริมาตรลงเหลือ 1 มิลลิลิตร ด้วยการพ่นก๊าซไนโตรเจน

12. วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS/SIM Mode โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน PAHs มาตรฐานผสม 16 ชนิด โดยใช้สภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.5 สภาวะของการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบ PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS

พารามิเตอร์	สภาวะในการวิเคราะห์
Gas Chromatograph	6890 N (Agilent Technologies, USA)
Carrier gas	Helium, Flow rate 1 ml/min
Column	HP 5 ขนาด 30 m x 0.25 mm I.D. x 0.25 $\mu$ m (film thickness) capillary column (J&W Scientific, USA)
Injector temperature	290°C
Temperature program ramp rate	Oven temperature 80°C (initial temperature), holding at 80°C for 2 mins, then increased from 80°C to 150°C at 20°C /min, holding at 150°C to 285°C at 5°C/min, then increased from 285°C to 300°C at 3°C /min and hold at
Injector mode splitless	300°C for 7 mins
Purge flow split vent	1 $\mu$ l
Final temperature	60ml/min @ 1°C
Final hold time	300°C
Analytical time	10 mins
Detector	50 mins

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MS mode	Mass Spectrometer 5973 N (Agilent Technologies, USA)
MS detector temperature	EI mode (SIM mode)
Mass range / scan speed	300°C
Transfer line temperature	30–500 amu/sec.
Filament/ multiplier delay	300°C
	6 mins



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ในส่วนของผลจากการดำเนินการวิจัยแสดง ตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลาของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน และตัวแบบพยากรณ์การเกิดหมอกควันโดยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกที่ได้จากการวิเคราะห์

#### 4.1 ตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลาของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันในการวิเคราะห์อนุกรมเวลานี้ เลือกจากปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ  $PM_{10}$  สูง ซึ่งในตารางที่ 3.1 แสดงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ  $PM_{10}$  สูง ทั้งสิ้น 4 ปัจจัย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และก๊าซโอโซน ผลการหาค่า  $\alpha_1$  และ  $\alpha_3$  ที่ทำให้ RMSE มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละตัวแปรแสดงได้ดังนี้

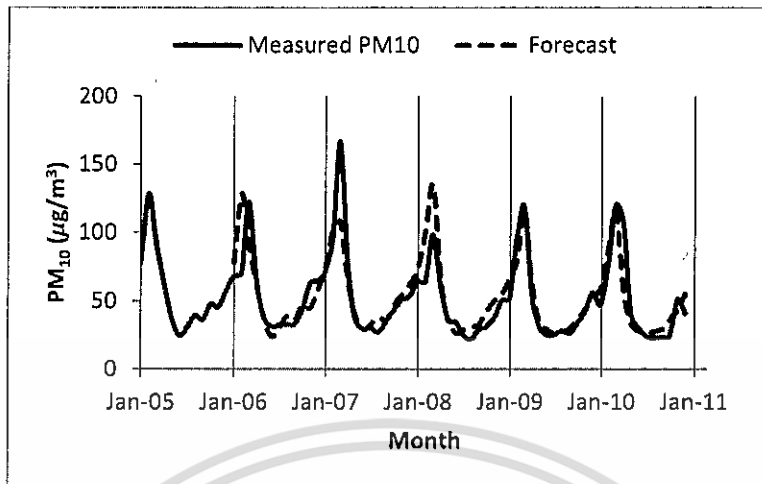
ตารางที่ 4.1 ค่า  $\alpha_1$  และ  $\alpha_3$  ที่ทำให้ RMSE มีค่าน้อยที่สุด

ตัวแปร	$\alpha_1$	$\alpha_3$	RMSE
$PM_{10}$	0.0242	0.4715	16.105
CO	0.0792	0.7383	0.244
$NO_2$	0.0211	0.5426	3.411
RH	0.4522	1	6.033
Rain	0.3921	0.8520	0.100

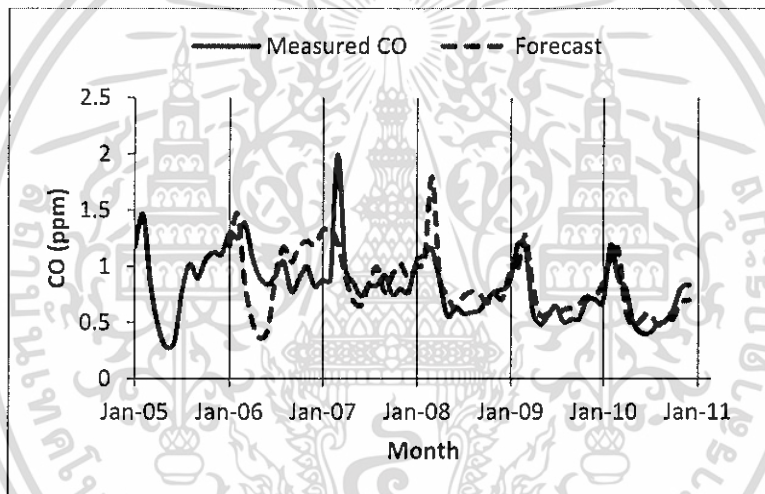
จากข้อมูลอนุกรมเวลาทำให้เราได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่เราสนใจและเวลา โดยกราฟที่แสดงแกนนอน หมายถึงเดือนนับตั้งแต่ ค.ศ. 2005 – ค.ศ. 2010 กราฟเส้นตรงคือค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษ ส่วนกราฟเส้นประคือค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีดังนี้

จากรูปที่ (4.1) – (4.5) เราจะเห็นว่า  $PM_{10}$  และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และไม่มีแนวโน้ม ตัวแบบนี้เป็นตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงบวก ซึ่งหากข้อมูลไม่มีเหตุการณ์ที่ผิดปกติจะทำค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากตัวแบบมีค่าน้อย แต่ถ้าข้อมูลมีเหตุการณ์ผิดปกติ สังเกตว่าค่าจริงและค่าพยากรณ์แตกต่างกันมาก จะทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนมาก และค่าพยากรณ์ในแต่ละเดือนของปีถัดมาจะไม่แตกต่างจากค่าพยากรณ์ในแต่ละเดือนของปีก่อนหน้ามากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

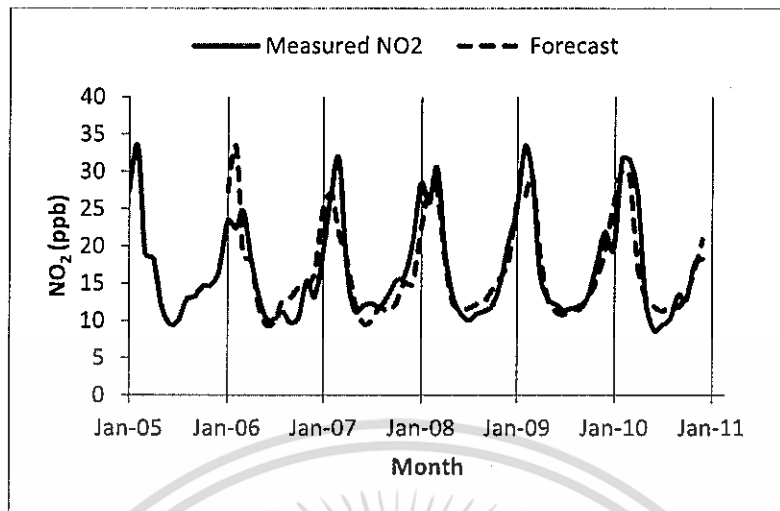


รูปที่ 4. 1 ปริมาณ PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน ปี ค.ศ.2005 – 2010

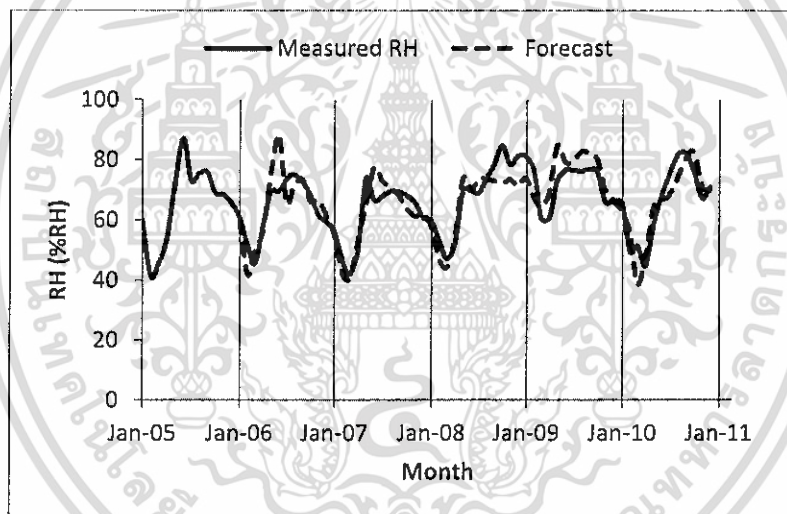


รูปที่ 4. 2 ปริมาณ CO ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน ปี ค.ศ.2005 - 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

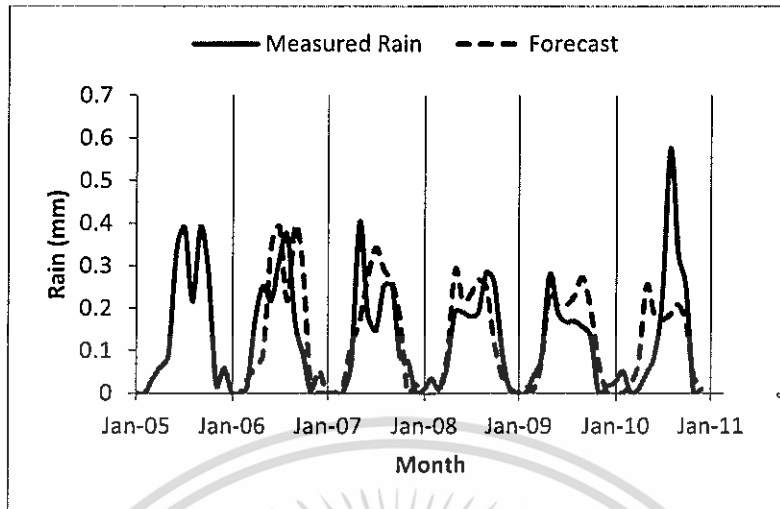


รูปที่ 4.3 ปริมาณ NO<sub>2</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือนปี ค.ศ.2005 - 2010



รูปที่ 4.4 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



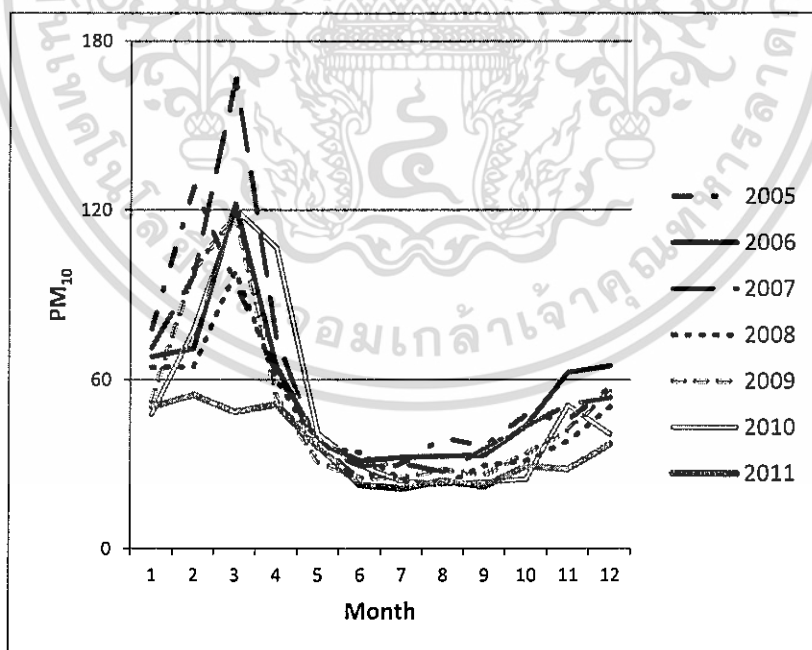
รูปที่ 4.5 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์รายเดือน ปี ค.ศ.2005 – 2010

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษ และค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบพยากรณ์ของโฮลต์และวินเซอร์ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อย ยกเว้นของ  $PM_{10}$  ซึ่งเมื่อสังเกตจากราย พบว่าในช่วงเดือน 2 – 4 ค่าที่พยากรณ์ได้มีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยเฉพาะเดือนที่ 3 ค่าที่พยากรณ์ได้คือ 118.73 แต่ค่าที่ตรวจวัดได้คือ 48.83 ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างกันมาก ทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนสูง หากเราสังเกตค่า  $PM_{10}$  ที่ได้จาก การตรวจวัดอยู่ในช่วง 90 – 120 ไมครอน แสดงว่าในปี 2011 ความรุนแรงของสถานการณ์หมอกควันในบริเวณที่ทำการศึกษามุ่งสูงนัก ทำให้  $PM_{10}$  ถูกพบได้น้อยกว่าปี 2005 - 2010

จากรายที่ 4.3 ค่าพยากรณ์  $PM_{10}$  ที่ได้จากตัวแบบให้ความคลาดเคลื่อนสูง เราจึงศึกษาปริมาณ  $PM_{10}$  ที่ได้จาก การตรวจวัด ปี ค.ศ.2005 – 2011 ดังรูปที่ 4.11 พบว่าสำหรับปีค.ศ.2005 – 2010 อื่นๆ  $PM_{10}$  จะมีแนวโน้มสูงกว่าช่วงอื่นๆของปี แต่ปริมาณ  $PM_{10}$  ที่ได้จาก การตรวจวัดในปี 2011 ช่วงเวลาดังกล่าวมี ปริมาณ  $PM_{10}$  น้อยกว่าปกติ

ตารางที่ 4.2 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันในปีค.ศ.2011

Month	PM <sub>10</sub>		CO		NO <sub>2</sub>		RH		Rain	
	Real	Forecast	Real	Forecast	Real	Forecast	Real	Forecast	Real	Forecast
1	50.36	54.23	0.83	0.72	21.32	22.26	66.93	68.49	21.32	22.26
2	54.59	84.11	0.82	1.17	24.88	31.14	54.25	54.89	24.88	31.14
3	48.83	118.73	0.87	0.98	18.94	30.58	65.25	51.04	18.94	30.58
4	51.41	81.00	0.70	0.76	16.57	22.39	69.34	45.96	16.57	22.39
5	36.71	36.29	0.52	0.50	12.52	12.74	79.00	62.45	12.52	12.74
6	22.69	28.03	0.46	0.45	11.09	10.09	77.89	71.26	11.09	10.09
7	21.34	24.47	0.48	0.48	8.96	10.21	76.28	75.19	8.96	10.21
8	24.03	24.79	0.58	0.51	8.54	10.88	81.40	78.18	8.54	10.88
9	22.09	26.09	0.61	0.54	8.10	12.71	81.26	78.01	8.1	12.71
10	29.36	30.27	0.58	0.61	10.76	13.10	79.76	74.84	10.76	13.1
11	28.06	46.76	0.77	0.79	15.38	17.20	68.98	67.73	15.38	17.2
12	37.06	47.89	0.72	0.80	17.69	19.44	70.41	70.83	17.69	19.44
RMSE : 24.446		RMSE : 0.118		RMSE : 4.570		RMSE : 9.650		RMSE : 0.117		



รูปที่ 4.6 ปริมาณ PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัด ปี ค.ศ.2005 - 2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ตัวแบบพยากรณ์การเกิดหมอกควันโดยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

การศึกษาครั้งนี้แบ่งระดับการเกิดหมอกควันเป็น 3 ระดับ คือ ค่า  $PM_{10}$  ที่อยู่ระหว่าง 0 – 99 ไมครอน หมายถึง “ไม่มีผลต่อสุขภาพ” ค่า  $PM_{10}$  ที่อยู่ระหว่าง 100 – 119 ไมครอน หมายถึง “มีผลต่อสุขภาพ” และ ค่า  $PM_{10}$  ที่เกินกว่า 120 ไมครอน หมายถึง “มีผลต่อสุขภาพมาก” กำหนดให้การเกิดหมอกควันระดับที่ไม่มีผลต่อสุขภาพเป็นกลุ่มอ้างอิง

```
. mlogit out co no2 rh o3 pressure no so2
Iteration 0: log likelihood = -749.87965
Iteration 1: log likelihood = -580.0289
Iteration 2: log likelihood = -399.03679
Iteration 3: log likelihood = -333.00859
Iteration 4: log likelihood = -312.14938
Iteration 5: log likelihood = -304.21215
Iteration 6: log likelihood = -302.97569
Iteration 7: log likelihood = -302.9412
Iteration 8: log likelihood = -302.94117

Multinomial logistic regression
Log likelihood = -302.94117
Number of obs = 2099
LR chi2(14) = 893.88
Prob > chi2 = 0.000
Pseudo R2 = 0.5960
```

	out	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
2	co	.8957	.4771868	1.88	0.061	-.0395689	1.830969
	no2	.2051789	.0335445	6.12	0.000	.1394329	.2709249
	rh	-.0518598	.0160146	-3.24	0.001	-.0832479	-.0204717
	o3	.0680068	.0227069	2.99	0.003	.023502	.1125116
	pressure	.1133021	.0718298	1.58	0.115	-.0274817	.2540859
	no	-.1139172	.0421187	-2.70	0.007	-.1964632	-.0313661
	so2	.2559123	.1436128	1.78	0.075	-.0255637	.5373883
	_cons	-89.63859	52.73306	-1.70	0.089	-192.9935	13.71632
3	co	2.231597	.4868017	4.58	0.000	1.277483	3.185711
	no2	.3623642	.0398866	9.08	0.000	.284188	.4405405
	rh	-.1028791	.018717	-5.50	0.000	-.1395638	-.0661944
	o3	.1358265	.0252098	5.39	0.000	.0864161	.1852368
	pressure	.2418897	.0826411	2.93	0.003	.0799161	.4038634
	no	-.1296898	.0392339	-3.31	0.001	-.2065868	-.0527928
	so2	-.0596997	.155681	-0.38	0.701	-.3648289	.2454296
	_cons	-188.3436	60.94121	-3.09	0.002	-307.7862	-68.901

(out==1 is the base outcome)

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

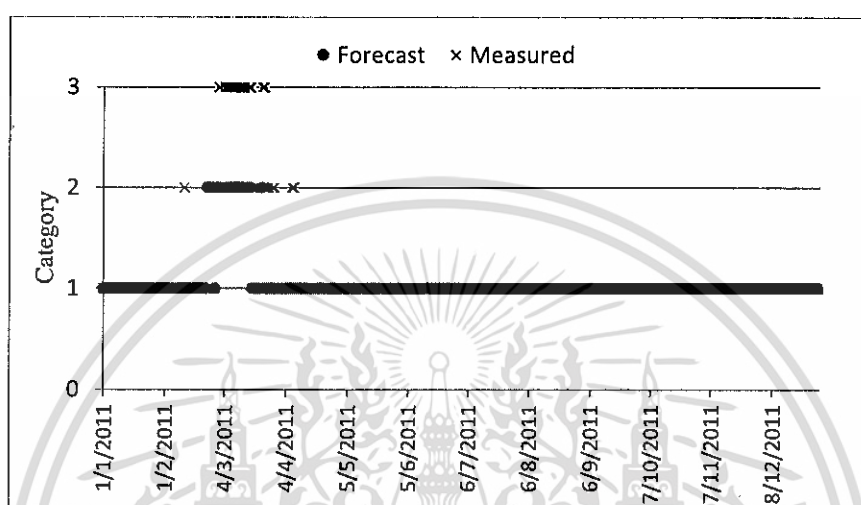
จากรูปที่ 4.7 ตัวแบบโลจิทที่ได้คือ

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = 0.9x_1 + 0.21x_2 - 0.05x_3 + 0.07x_4 + 0.11x_5 - 0.11x_6 + 0.26x_7 - 89.64 \quad (4.1)$$

$$\ln \frac{p_3}{p_1} = 2.23x_1 + 0.36x_2 - 0.1x_3 + 0.14x_4 + 0.24x_5 - 1.13x_6 - 0.06x_7 - 188.34 \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

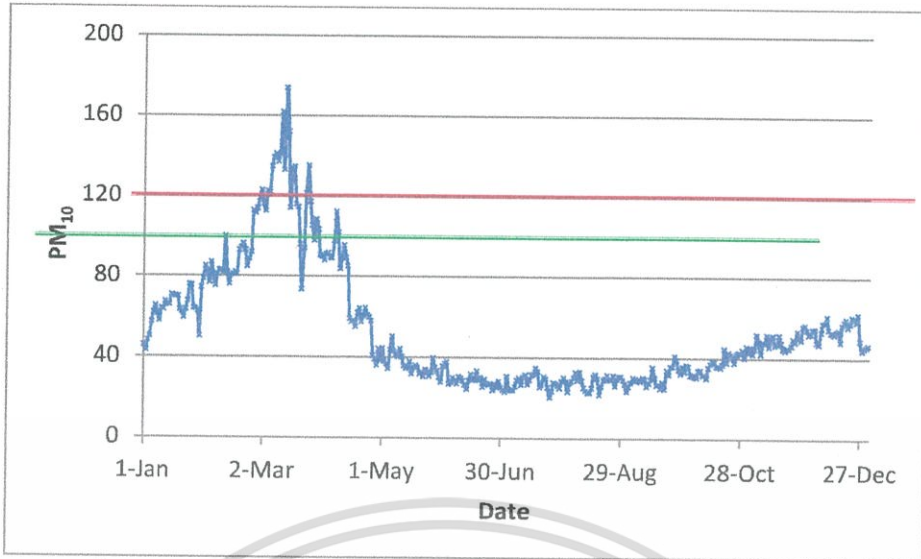
เมื่อ  $X_1, X_2, \dots, X_7$  หมายถึงข้อมูลรายวันของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซโอโซน ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามลำดับ ในการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีของนิวตันกราฟสันให้ค่าความควรจะเป็นสูงสุดเป็น -302.94 ซึ่งเกิดจากการคำนวณซ้ำ 8 ครั้ง ความแปรปรวนของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระมีค่าเป็น 59.60 (Pseudo  $R^2 = 0.5960$ )



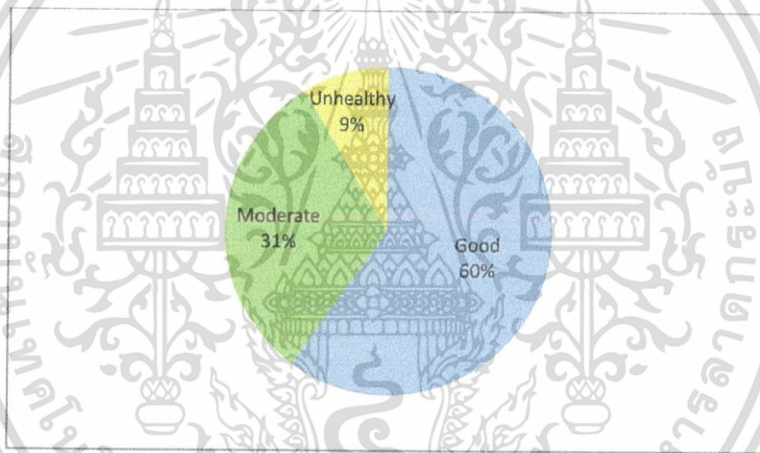
รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์การเกิดหมอกควันโดยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกในปี 2011

รูปที่ 4.8 แสดงค่าที่พยากรณ์ระดับของการเกิดหมอกควันในปี 2011 ที่ได้จากตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเปรียบเทียบกับระดับของการเกิดหมอกควันที่ได้จากการตรวจวัด โดยตัวแบบพยากรณ์ในปี 2011 สร้างจากการค่าเฉลี่ยของข้อมูลรายวันของ  $PM_{10}$  ตั้งแต่ปี 2005 - 2010 จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดพบว่า  $PM_{10}$  มีค่าเกินมาตรฐานในช่วงมีนาคมถึงเมษายน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และเมื่อทำการวิเคราะห์เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของ  $PM_{10}$  ในปี 2011 พบว่า  $PM_{10}$  อยู่ในคุณภาพอากาศดี 60% (219/365) คุณภาพอากาศปานกลาง 31% (114/365) และคุณภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ 9% (32/365) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงว่า  $PM_{10}$  มีค่าเกินมาตรฐานในช่วง 1 เดือนหรือประมาณ 30 วันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นรายวันของ PM10 ที่ได้จากการตรวจวัดในปี ค.ศ. 2011



รูปที่ 4.10 ระดับเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของ PM<sub>10</sub> ในปี ค.ศ. 2011

แม้ว่าเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศส่วนใหญ่อยู่เกณฑ์คุณภาพอากาศดีถึงร้อยละ 60 แต่หากพิจารณาในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันนั้น แทบจะไม่พบเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศดี ในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควันคุณภาพอากาศอยู่ในช่วงปานกลางประมาณร้อยละ 50 และคุณภาพอากาศที่มีผลต่อสุขภาพประมาณร้อยละ 50 เช่นกัน

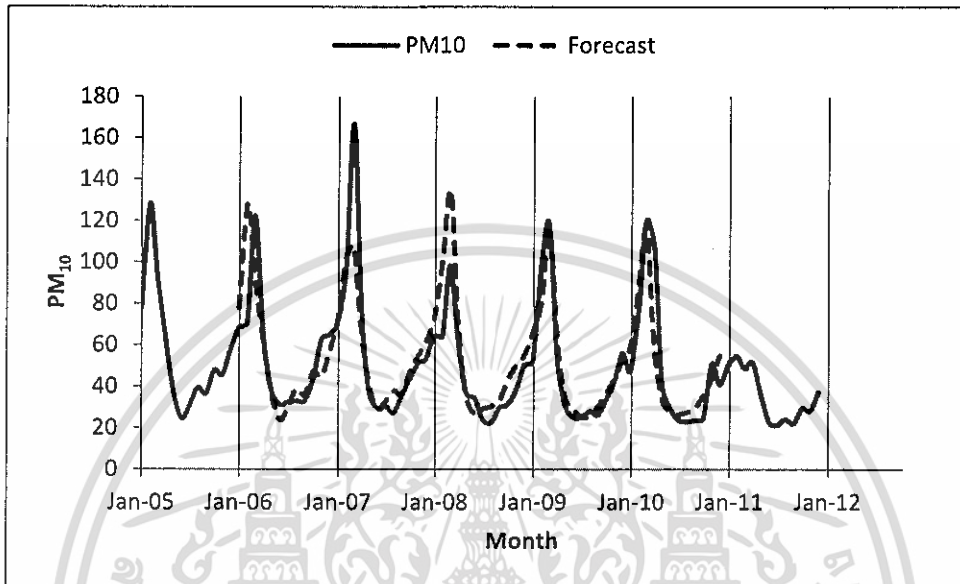
### 4.3 ตัวแบบพยากรณ์ PM<sub>10</sub> โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

สมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมคือ

$$PM_{10} = 1.43 + 3.08CO + 3.07NO_2 - 0.64RH - 5.5Rain + 0.06Pressure - 0.82NO + 0.13SO_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตัวแบบให้ค่า  $R^2 = 0.8615$  และ  $RMSE = 11.18$  ซึ่งหากเปรียบเทียบการพยากรณ์  $PM_{10}$  ด้วยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา พบว่าตัวแบบพยากรณ์  $PM_{10}$  โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณให้ค่า  $RMSE$  ต่ำกว่า ซึ่งหมายความว่าหากต้องการพยากรณ์  $PM_{10}$  อย่างมีประสิทธิภาพควรอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันด้วย



รูปที่ 4. 11 ความเข้มข้นรายวันของ  $PM_{10}$  ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์ในปี ค.ศ. 2011 ของตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

#### 4.4 ผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิด

##### ปัญหาหมอกควัน

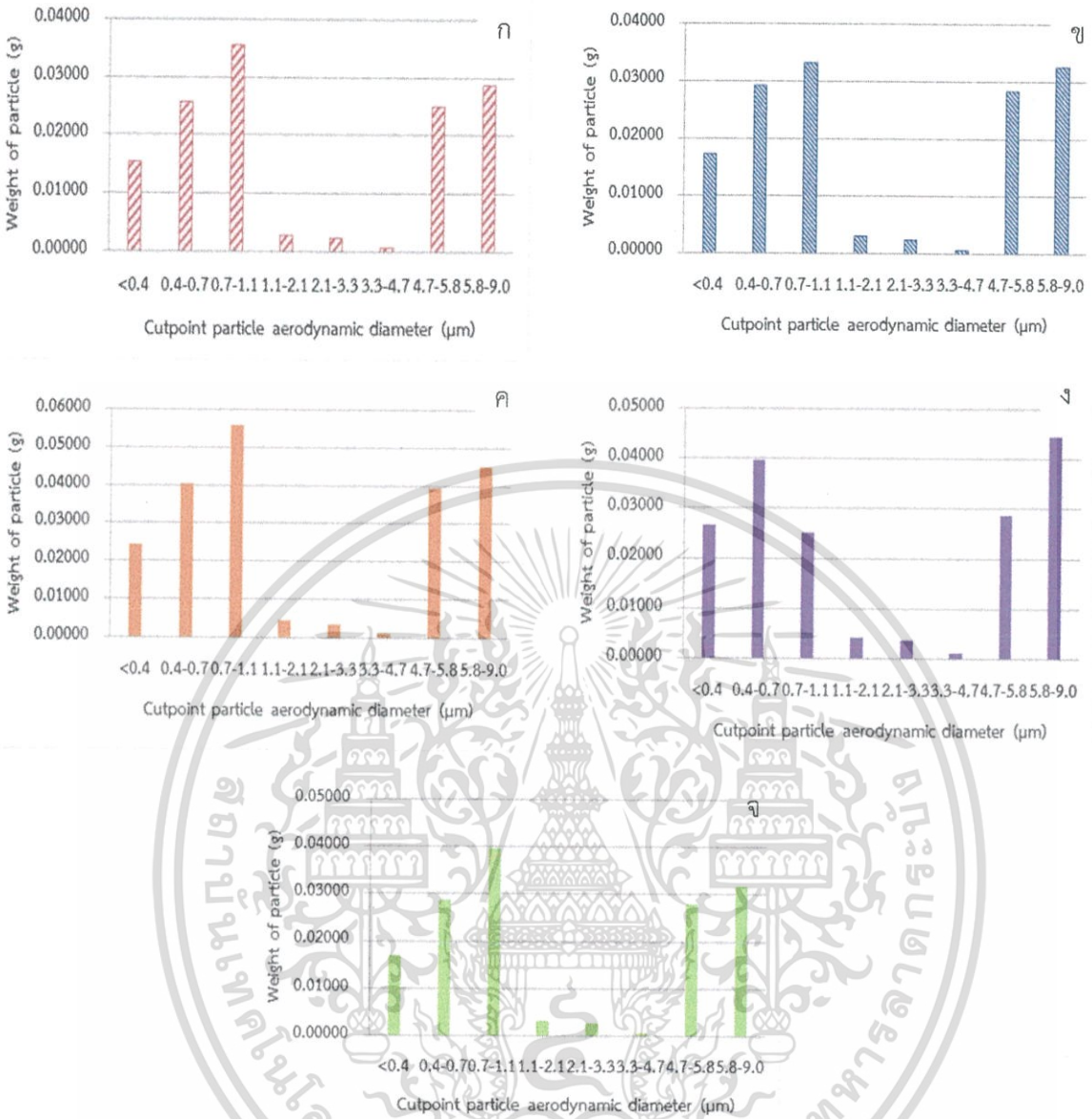
การศึกษารูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ จังหวัดพะเยา ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นฝุ่นละอองดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (รูปที่ 4.1 ก) พบว่าฝุ่นละอองมากที่สุด อยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 173.813 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 3.314 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นรวมเท่ากับ 664.375 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ความดัน 1 บรรยากาศ วันที่ 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 (รูปที่ 4.1 ข) พบว่าฝุ่นละอองมากที่สุด อยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 162.360 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยมีความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 3.569 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นรวมเท่ากับ 718.311 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (รูปที่ 4.1 ค) พบว่าฝุ่นละอองมากที่สุด อยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 282.044 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ใน ช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 5.199 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้น ฝุ่นรวมเท่ากับ 1,078.076 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (รูปที่ 4.1 ง) พบว่าฝุ่นละอองมากที่สุด อยู่ในช่วง 5.8-9.0 ไมโครเมตร (Stage 0) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 221.368 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยมีความเข้มข้น เท่ากับ 4.945 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นรวมเท่ากับ 861.659 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ และวันที่ 3-8 เมษายน 2557 พบว่าฝุ่นละอองมากที่สุดอยู่ในช่วง 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 195.703 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 3.3-4.7 ไมโครเมตร (Stage 2) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 3.562 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นรวม เท่ากับ 748.169 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



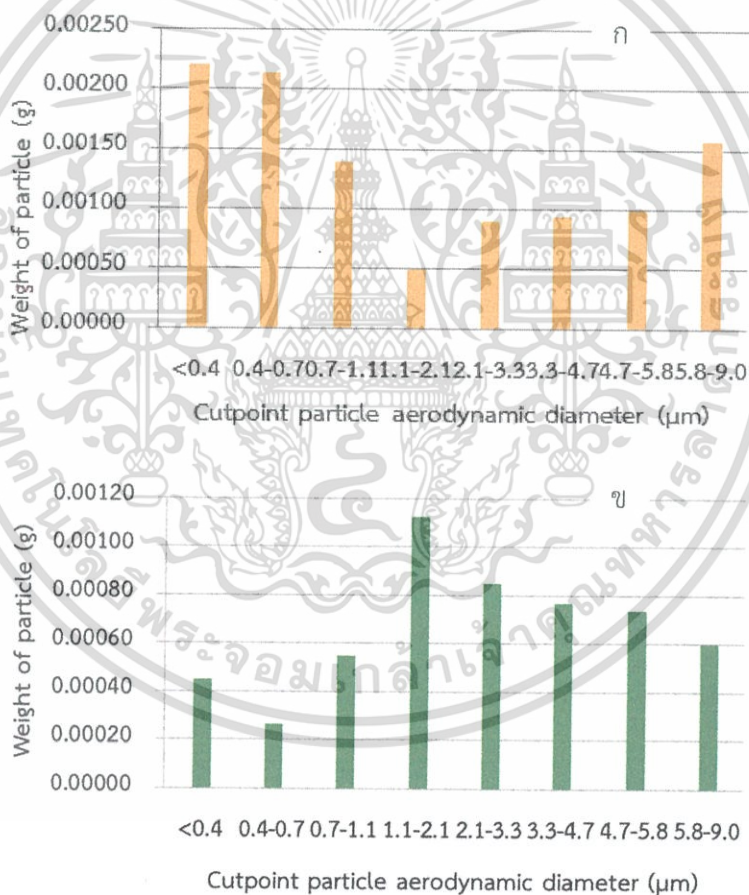
รูปที่ 4.12 รูปแบบการกระจายตัวของขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 (ค) 11-16 มีนาคม 2557 (ง) 17-22 มีนาคม 2557 (จ) 3-8 เมษายน 2557

จากรูปที่ 4.2 พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองในบรรยากาศปกติ วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 พบว่าฝุ่นละอองมากที่สุด อยู่ในช่วง <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 10.845 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 1.1-2.1 ไมโครเมตร (Stage 4) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 2.465 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นรวมเท่ากับ 10.845 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 1 บรรยากาศ และวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 พบว่าฝุ่นละอองมากที่สุด อยู่ในช่วง 1.1-2.1 ไมโครเมตร (Stage 4) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 5.608 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 0.4-0.7 ไมโครเมตร (Stage 6) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.315 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นรวมเท่ากับ 26.645 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศทั่วไป ในสภาพอากาศปกติ และในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน บริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ จ.พะเยา มีความแตกต่างกัน โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน มีค่าเกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ และบดบังทัศนวิสัยในการมองเห็น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ส่วนการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กในช่วงเกิดปัญหาหมอกควันมีรูปแบบแตกต่างจากช่วงบรรยากาศปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดฝุ่นที่ต่างกัน



รูปที่ 4.13 รูปแบบการกระจายขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศปกติ วันที่ 6-11 ธันวาคม 2556 (ก) และวันที่ 17-22 มิถุนายน 2557 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 สภาพบรรยากาศบริเวณหอดูดาว อุทยานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ จ.พะเยา ในระหว่างช่วงเกิดปัญหาหมอกควัน (ก) และช่วงสภาพอากาศปกติ (ข)

#### 4.5 ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

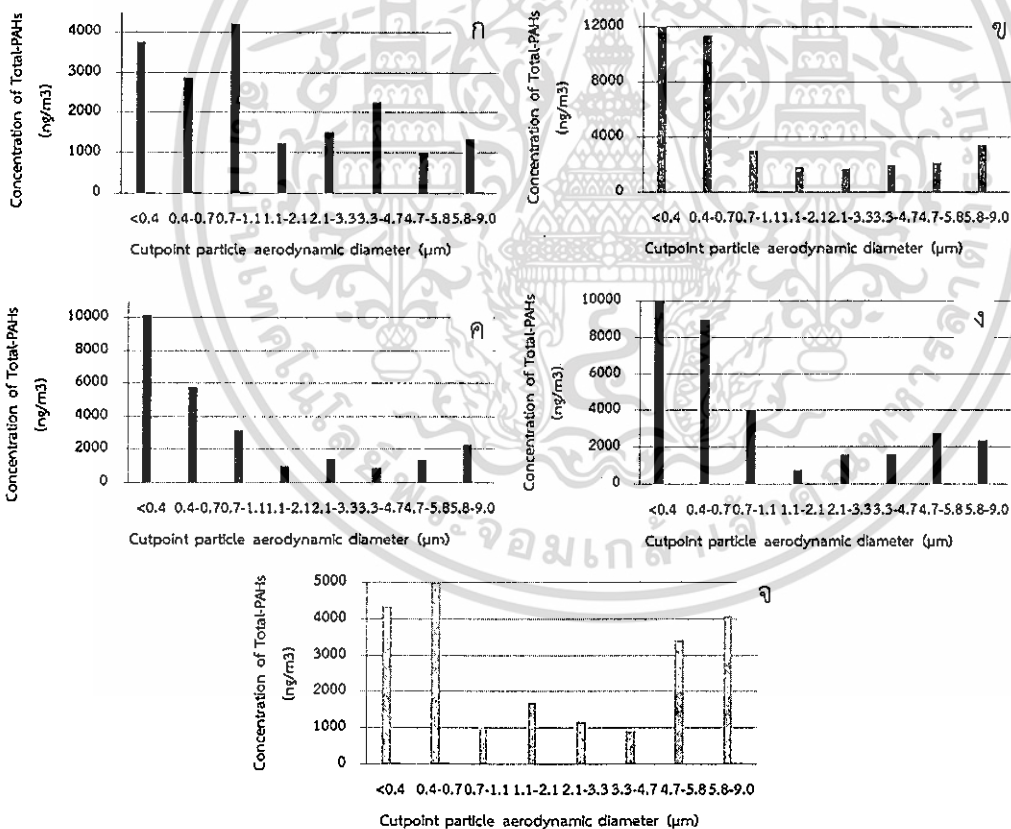
##### 4.5.1 รูปแบบการกระจายตัวของสาร Total-PAHs ในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

ชนิดและปริมาณสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ศึกษาโดยการสกัดด้วย Acetonitrile จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS (SIM mode) โดยชนิดของ PAHs วิเคราะห์โดยเทียบกับ Retention time ของสารละลายมาตรฐานผสม PAHs 16 ชนิด ร่วมกับ Library ของ GC-MS ส่วนปริมาณของ PAHs จำนวนโดยเปรียบเทียบที่ได้ออกมาของสารละลายมาตรฐานผสม PAHs 16 ชนิด พบว่ามีความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆดังรูปที่ 4.4

วันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (รูปที่ 4.4 ก) พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร (Stage 5) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 4,219.14 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 1,018.23 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเข้มข้นของ Total-PAHs รวมเท่ากับ 18,268.08 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ วันที่ 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 (รูปที่ 4.4 ข) พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 12,038.46 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาด 2.1-3.3 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 1,721.54 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเข้มข้นของ Total-PAHs รวมเท่ากับ 37,503.96 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (รูปที่ 4.4 ค) พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10,205.72 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 899.66 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเข้มข้นของ Total-PAHs รวมเท่ากับ 26,303.57 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (รูปที่ 4.4 ง) พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด <0.4 ไมโครเมตร (Stage 7) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 10,026.57 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 735.39 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเข้มข้นของ Total-PAHs รวมเท่ากับ 32,033.18 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ และวันที่ 3-8 เมษายน 2557 (รูปที่ 4.4 จ) พบว่าฝุ่นละอองในช่วงขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (Stage 6) มีความเข้มข้นของ Total-PAHs มากที่สุดเท่ากับ 5373.31 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นของ Total-PAHs น้อยที่สุดเท่ากับ 918.19 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเข้มข้นของ Total-PAHs รวมเท่ากับ 22,008.10 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ



รูปที่ 4.15 รูปแบบการกระจายตัวของ Total-PAHs ในอนุภาคขนาดต่างๆ เก็บตัวอย่างในวันที่ (ก) 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 (ค) 11-16 มีนาคม 2557 (ง) 17-22 มีนาคม 2557 (จ) 3-8 เมษายน 2557

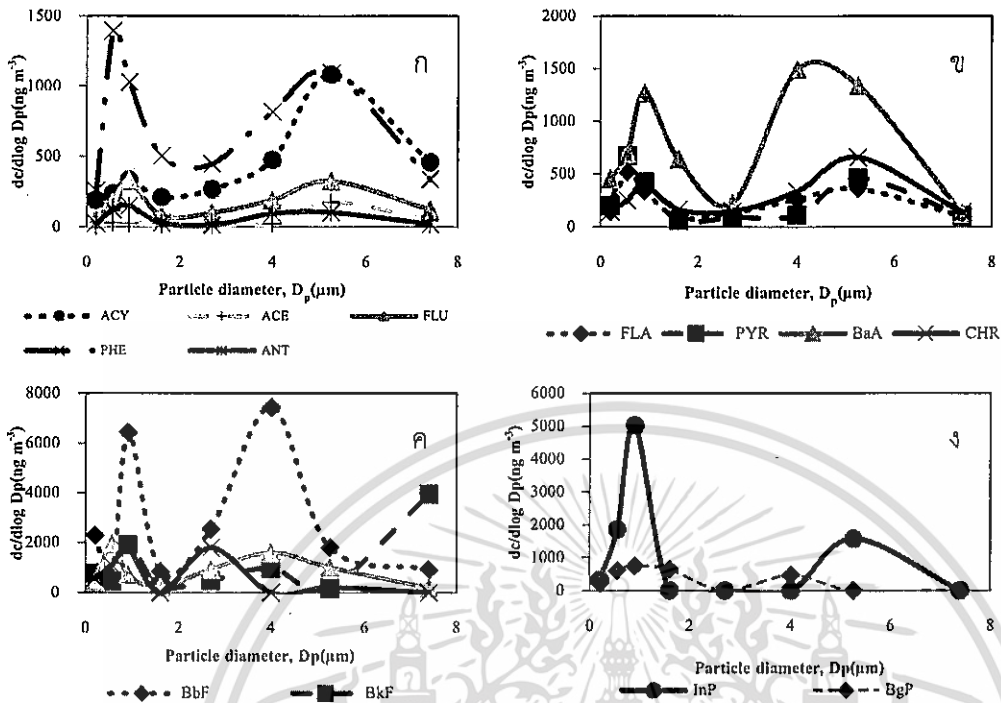
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 ลักษณะการกระจายตัวของ Total-PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน ซึ่งแนวโน้มความเข้มข้นของสาร PAHs จะสูงในฝุ่นละอองมีขนาดเล็ก โดยพบว่า รูปแบบการกระจายตัวของ PAHs จะมีความสัมพันธ์กับรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละออง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Keshtkar และ Ashbaugh (2007)

#### 4.5.2 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ต่างๆ ตามจำนวนวงอะโรมาติก ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน

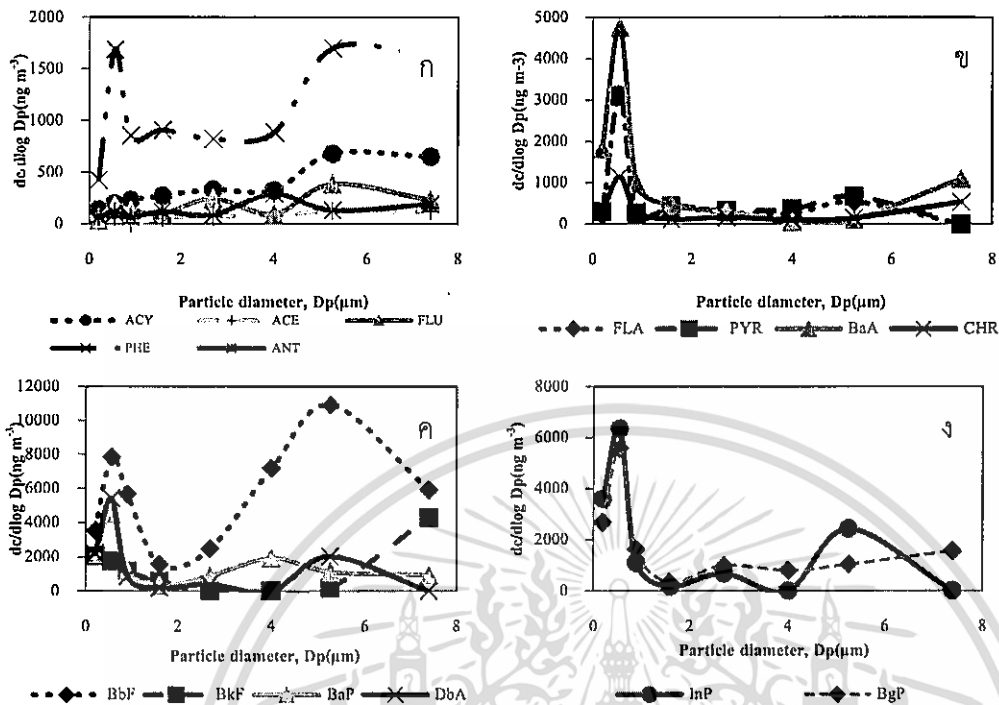
การกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 16 ชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่มตามจำนวนวงอะโรมาติกออกเป็น 4 กลุ่ม คือ สารประกอบ PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 3 วง ได้แก่ Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene และ Anthracene สารประกอบ PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 4 วง ได้แก่ Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene และ Chrysene สารประกอบ PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 5 วง ได้แก่ Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene และ Dibenzo(a,h)anthracene และสารประกอบ PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 6 วง ได้แก่ Benzo(ghi)perylene และ Indeno(1,2,3-cd) pyrene จากกลุ่มสาร PAHs ที่กล่าวมา จึงสามารถทราบรูปแบบการกระจายตัวของชนิดสาร PAHs ในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน

ในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 การกระจายตัวของสาร PAHs เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs ที่มี 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.5 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 4 วง มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.5 ข) การกระจายตัวของสาร PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 5 วง มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.5 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 6 วง มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.7-1.1 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.5 ง)



รูปที่ 4.16 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่าง ในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

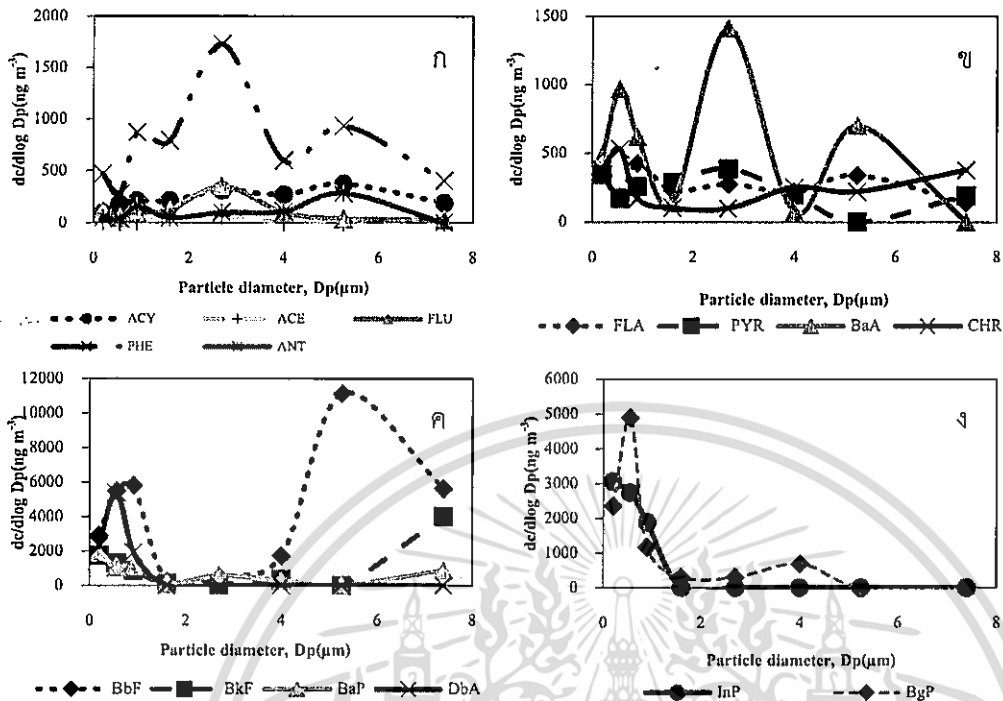
วันที่ 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 การกระจายตัวของสาร PAHs เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.6 ง)



รูปที่ 4.17 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่าง ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

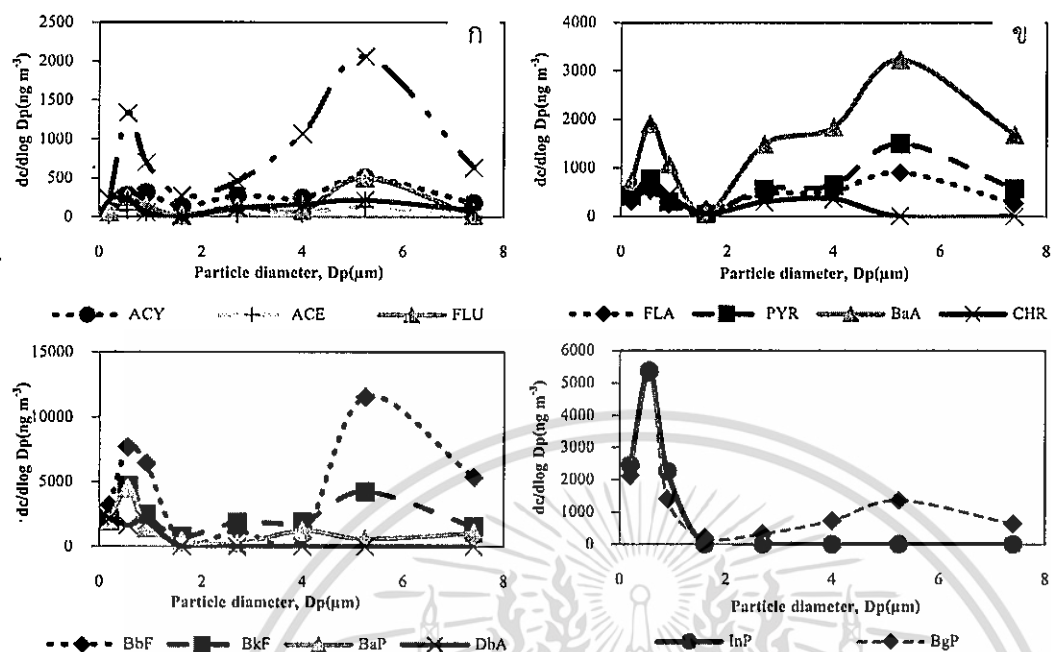
วันที่ 11-16 มีนาคม 2557 การกระจายตัวของสาร PAHs เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 2.1-3.3 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.7 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 2.1-3.3 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร ยกเว้นการกระจายตัวของ Benzo(a)anthracene (BaA) เป็นแบบ multi-modal (รูปที่ 4.7 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.7 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.7 ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

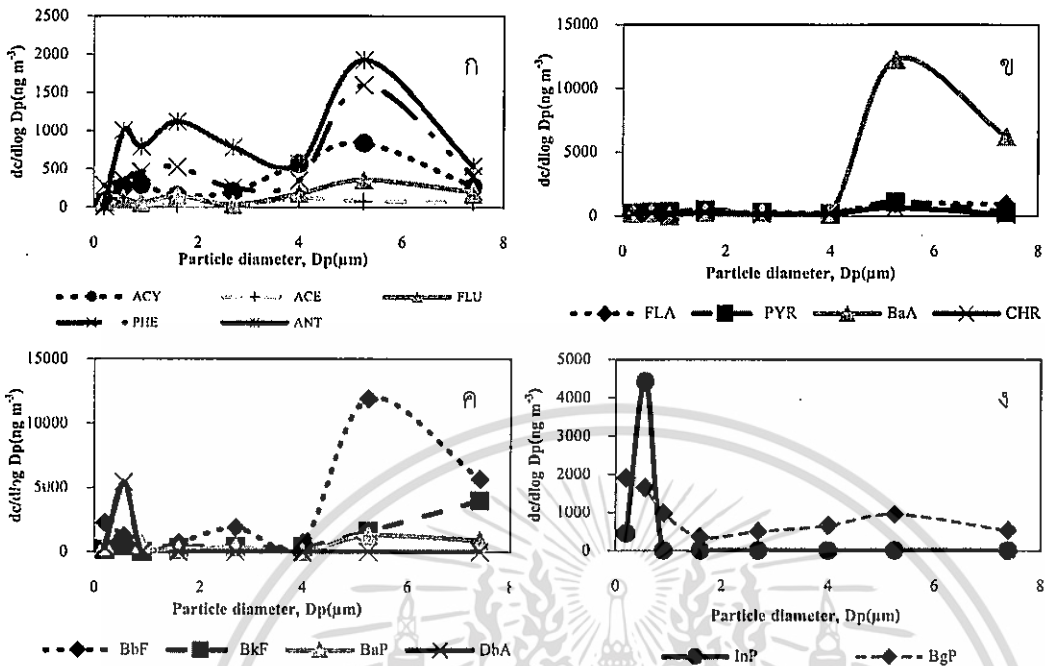
วันที่ 17-22 มีนาคม 2557 การกระจายตัวของสาร PAHs เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.8 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.8 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.8 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.8 ง)



รูปที่ 4.19 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

วันที่ 3-8 เมษายน 2557 การกระจายตัวของสาร PAHs เป็นแบบ bimodal โดยการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.9 ก) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.9 ข) ส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.9 ค) และการกระจายตัวของสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก มีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นขนาด 0.4-0.7 ไมโครเมตร รองลงมาคือ ขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.9 ง)

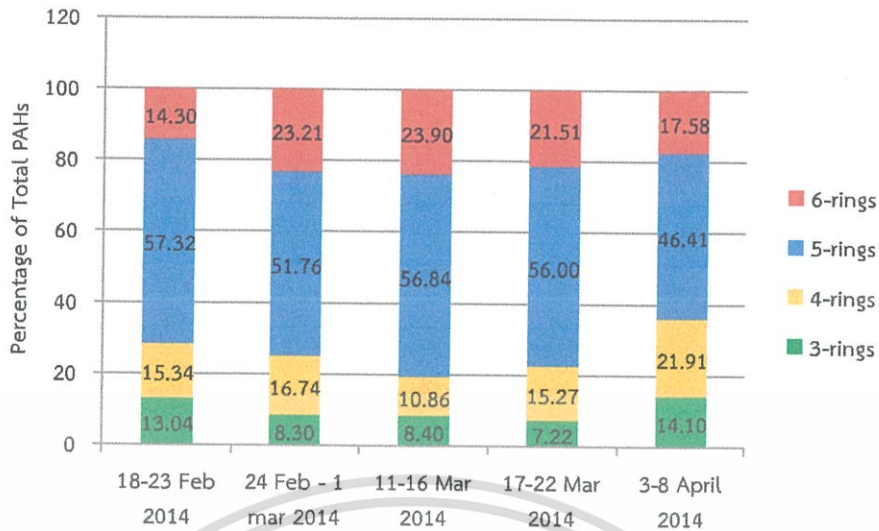
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ระหว่างเกิดปัญหาหมอกควัน เก็บตัวอย่างในวันที่ 3-8 เมษายน 2557 (ก) 3 วงอะโรมาติก, (ข) 4 วงอะโรมาติก, (ค) 5 วงอะโรมาติก, (ง) 6 วงอะโรมาติก

จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 5 ครั้ง พบว่าสาร PAHs 1) เก็บตัวอย่างในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2557 มีการกระจายตัวของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก เท่ากับ 13.04, 15.34, 57.32 และ 14.03% ตามลำดับ 2) เก็บตัวอย่างในวันที่ 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 มีการกระจายตัวของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก เท่ากับ 8.30, 16.74, 51.76 และ 23.21% ตามลำดับ 3) เก็บตัวอย่างในวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 มีการกระจายตัวของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก เท่ากับ 8.40, 10.86, 56.84 และ 23.90% ตามลำดับ 4) เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม 2557 มีการกระจายตัวของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก เท่ากับ 7.22, 15.27, 56.00 และ 21.51% ตามลำดับ 5) เก็บตัวอย่างในวันที่ 3-8 เมษายน 2557 มีการกระจายตัวของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก เท่ากับ 14.10, 21.91, 46.41 และ 17.58% ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของสาร PAHs ที่ได้เก็บตัวอย่างทั้ง 5 ครั้ง จากการเกิดปัญหาหมอกควันในพื้นที่จังหวัดพะเยา มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัดส่วนการกระจายตัวของสาร PAHs 3-6 วงอะโรมาติก

#### 4.6 ชนิดและปริมาณสารของสารประกอบ PAHs ที่เป็นสารร่วมก่อมะเร็ง และสารก่อมะเร็ง

จากผลการวิเคราะห์หาสารประกอบ PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ พบว่า สารประกอบ PAHs จำนวน 16 ชนิด สามารถแบ่งกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม คือ สาร PAHs ที่น่าจะเป็นก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่ก่อมะเร็ง โดย U.S.EPA (1986) ได้กำหนดสาร PAHs ในกลุ่มที่ 2B (Probably carcinogenic to humans) ได้แก่ และ Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene และ Dibenzo(a,h)anthracene และสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene และ Benzo(ghi)perylene จากการศึกษาสาร PAHs ในระหว่างช่วงการเกิดปัญหาหมอกควัน พบสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง ดังนี้ 1) เก็บตัวอย่างในวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ พบสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 73.23% และ 26.77% 2) เก็บตัวอย่างในวันที่ 24 กุมภาพันธ์-1 มีนาคม 2557 พบสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 70.98% และ 29.02% 3) เก็บตัวอย่างในวันที่ 11-16 มีนาคม 2557 มีพบสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 71.03% และ 28.97% 4) เก็บตัวอย่างในวันที่ 17-22 มีนาคม พบสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 72.76% และ 27.24% 5) เก็บตัวอย่างในวันที่ 3-8 เมษายน 2557 พบสารก่อมะเร็ง และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง เท่ากับ 63.01% และ 36.99% ดังแสดงในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน ซึ่งเป็น การอธิบายภาพรวมของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน โดยใช้ข้อมูลรายเดือนของปัจจัยต่างๆ นอกจากนี้ยังได้ ทำการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเพื่อสร้างตัวแบบการเกิดปัญหาหมอกควัน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงลึก เนื่องจากการเกิดหมอกควันไม่ได้เกิดขึ้นตลอดทั้งปี แต่เป็นช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ข้อมูลที่นำมาพิจารณาจึงเป็นข้อมูลรายวัน เพื่อศึกษาการเกิดหมอกควันในแต่ละวัน โดยอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ หอนุกรมเวลา แต่แตกต่างกันที่ใช้ข้อมูลรายวันในการพิจารณา

ในการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควัน พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการ เกิดหมอกควันของจังหวัดเชียงใหม่ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity : RH) และปริมาณน้ำฝน (Rain) ซึ่งเมื่อ วิเคราะห์ข้อมูลหอนุกรมเวลาของปัจจัยดังกล่าว พบว่าเป็นข้อมูลหอนุกรมเวลาที่มีฤดูกาลการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลใน เชิงบวก (Additive seasonal effect) ซึ่งสามารถหาค่าพยากรณ์โดยวิธีของวินเตอร์ โดยหากข้อมูลไม่มีเหตุการณ์ที่ ผิดปกติจะทำค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากตัวแบบมีค่าน้อย แต่ถ้าข้อมูลมีเหตุการณ์ผิดปกติจะทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนมาก และค่าพยากรณ์ในแต่ละเดือนของปีถัดมาจะไม่แตกต่างจากค่าพยากรณ์ในแต่ละเดือนของปีก่อนหน้ามากนัก

ปัญหาหมอกควันในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แม่ฮ่องสอน พะเยา แพร่ และน่าน โดยความรุนแรงปรากฏชัดในช่วงหน้าแล้งของทุกปี สาเหตุ เกิดจากสภาวะอากาศที่แห้งและนิ่ง ทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ ในบรรยากาศได้นาน รวมทั้งปริมาณฝุ่นละอองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาวะอากาศดังกล่าวส่งผลให้เกิดไฟฟ้า เพิ่มขึ้น การเผาที่เกิดจากฝีมือมนุษย์ หากว่าค่าเฉลี่ยรายวันของ  $PM_{10}$  มีค่าเกินกว่า 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถือ ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีผลต่อสุขภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตรวจสอบการเกิดปัญหาหมอกควันโดยใช้การ วิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเพื่อพยากรณ์การเกิดปัญหาหมอกควันในเชียงใหม่ โดยแบ่งการเกิดหมอกควันเป็น 3 ระดับ ตามระดับความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ กลุ่มตัวอย่างคือข้อมูลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาหมอกควัน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 – 2010 ของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ และพยากรณ์การเกิดหมอกควันในปี ค.ศ. 2011 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหมอกควันที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลรายวัน ของ  $PM_{10}$  กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซโอโซน ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกอธิบายความแปรปรวนระหว่างกลุ่มตัวแปรพยากรณ์ได้ 56.29% ทำนายโอกาสในการเกิดหมอกควันได้ถูกต้อง 97.26%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆกับ  $PM_{10}$  พบว่า ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นปัจจัยสำคัญที่พบทั้งในการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งรายวันและรายเดือน สำหรับแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อพยากรณ์  $PM_{10}$  โดยอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันสูงและปานกลาง ซึ่งมีทั้งสิ้น 7 ปัจจัยได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซโอโซน ความดัน ก๊าซไนโตรเจนมอนนอกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตัวแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) 0.8615 และค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็น 11.18 ซึ่งหากเปรียบเทียบกับพยากรณ์  $PM_{10}$  โดยตัวแบบการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) 0.7226 และค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็น 16.105 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงกว่า และค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำกว่าตัวแบบการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา นั่นคือแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแบบพยากรณ์  $PM_{10}$  มากกว่าตัวแบบการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา และจากผลการทดลองพบว่า สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของสารก่อมะเร็งและไม่ใช้สารก่อมะเร็งในช่วงเวลาการเกิดปัญหาหมอกควันจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยส่วนใหญ่จะพบ PAHs 5-6 วงอะโรมาติก ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งมากกว่า PAHs 3-4 วงอะโรมาติก นอกจากนี้ PAHs 5-6 วงอะโรมาติก พบในฝุ่นที่มีขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ จึงทำให้สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ดีกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดโรคมะเร็งปอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

## สรุปผลผลิตงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเขียนบทความและเข้าร่วมนำเสนอในงานประชุมวิชาการทั้งในระดับชาติ และนานาชาติ อีกทั้งได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ในวารสารทั้งระดับชาติ และนานาชาติ ดังต่อไปนี้

1. Kwhansiri Sirimangkhal, Busayamas Pimpunchat (2013), " อนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ", การประชุมวิชาการทางคณิตศาสตร์ ครั้งที่ 18 ประจำปี 2556 (AMM 2013), Aonang Ayodhaya Beach Resort Hotel, Krabi, Thailand, 14-16 มีนาคม 2556.
2. Busayamas Pimpunchat (2013), " **Mathematical Analysis of Haze Problem in the Northern of Thailand using Logistic Regression** ", The 9th East Asia SIAM Conference and the 2<sup>nd</sup> Conference on Industrial and Applied Mathematics (EASIAM – CIAM 2013), The Newton Hotel, Bundung, Indonesia, June 18-20, 2013.
3. Busayamas Pimpunchat, Khwansiri Sirimangkhal, Suwannee Junyapoo (2014). "Modeling Haze Problems in the North of Thailand using Logistic Regression " *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 46(2), pp 183-193.
4. Busayamas Pimpunchat, Khwansiri Sirimangkhal (2014), " **Monitoring Human Respiratory system from Air Pollution Effect: case study in Chiang Mai Province, THAILAND** ", International Conference on Mathematics, Engineering and Industrial Application 2014 (ICoMEIA 2014), The Gurney Resort Hotel & Residences, Penang, Malaysia, May 28-30, 2014.
5. ได้รับรางวัล Hope Award ซึ่งเป็นรางวัลระดับนานาชาติและทุนทำวิจัยต่อเนื่องทางด้าน Math-for-Industry ในการนำเสนอผลงานทางวิชาการเรื่อง " Time Series for Principle Parameters forecasting Related to Particulate Matter of Haze Problem in Upper Northern of Thailand" ของงานประชุมในหัวข้อ "The Impact of applications on Mathematics" ซึ่งจัดโดย Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University, Nishijin Plaza, Fukuoka, Japan, November 4-8, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วาณิชย์บัญชา. 2548. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ขวัญศิริ สิริมงคล และบุษยามาสพิมพ์พรธชาติ. 2555. อนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหมอกควันในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่. การประชุมวิชาการทางคณิตศาสตร์ครั้งที่ 18. พัทลุง : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- วนิดา จีนศาสตร์. 2551. มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์. 2552. เคมีบรรยากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช. 2544. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทพร ฉะอึ้งรัมย์ และคณะ. 2552. การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมในการพยากรณ์ข้อมูลคุณภาพน้ำ. ปัญหาพิเศษ สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ยุทธ ไกยวรรณ. 2555. หลักการและการใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสำหรับการวิจัย. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 4(1) : 1-12.
- พนิดา พานิชกุล และยุทธภูมิ วงศ์วัฒนฤกษ์. 2546. คัมภีร์การวิเคราะห์และตัดสินใจปัญหาเชิงธุรกิจโดยใช้ Excel. กรุงเทพฯ : เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.
- มงคล ราชะนาคร และคณะ. 2550. โครงการการวิเคราะห์เพื่อหามลพิษทางอากาศในอนุภาคฝุ่นในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- มุกดา แม้นมินทร์. 2549. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ : ประกายพริก.
- อดิศักดิ์ โทวิชา. 2551. การวิเคราะห์การถดถอย. กรุงเทพฯ : โครงการตำราวิชาการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษามหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- วนิดา รัตนมณี และ สุขชัย ปทุมนากุล. 2546. การหาค่าตอบที่นำพึงพอใจโดยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น 30(4) : 319-336.
- สิริภัสรา ประมวล. การเปรียบเทียบวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีเจเนติกอัลกอริทึม โดยใช้องค์ประกอบหลักในการพยากรณ์อินทรีย์วัตถุในดิน. วิทยานิพนธ์ สาขาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. 2554. **รู้รอบทิศ มลพิษทางอากาศ**. กรุงเทพฯ : กชกร พิมพ์  
ลิขิต.

กรมควบคุมมลพิษ. 2543. พีเอเอช ฝ่ายศูนย์ข้อมูลสารอันตรายและอนุสัญญา กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย  
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม บริษัท วีรณาเพรส จำกัด กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. พิมพ์ครั้งที่  
1. กรุงเทพฯ ฯ

กรมควบคุมมลพิษ, 2555. เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่น. สำนักจัดการคุณภาพและเสียง. Available on [www.pcd.go.th](http://www.pcd.go.th)  
(accessed on มกราคม 25, 2559)

กรมควบคุมมลพิษ, 2558. Available from: [www.aqnis.pcd.go.th/northhaze](http://www.aqnis.pcd.go.th/northhaze) (accessed on มกราคม 25, 2559).

นภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และ วราวุธ เสือดี. 2547. ตำราบำบัดมลพิษ  
อากาศ. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.  
มงคล ราชะนาคร และคณะ. 2550. โครงการวิเคราะห์เพื่อหามลพิษทางอากาศในอนุภาคฝุ่นในจังหวัดเชียงใหม่และ  
จังหวัดลำพูน. รายงานฉบับสมบูรณ์. สกว.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ นิตยา มหาผล และ อีระ เกรอด. 2543. มลภาวะอากาศ พิมพ์ครั้งที่ 6 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.

Goldberg, D.E. 1989. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. Massachusetts :  
Addison-Wesley Publishing.

Russel, Stuart and Norvig, Peter. 1995. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. New Jersey : Prentice – Hall.

Davis, L. D., and Mitchell. M. 1991. **Handbook of Genetic Algorithms**. New York : Van Nostrand Reinhold.

Phoonthiwut, S. and Junyapoon, S. **Size Distribution of Atmospheric Particulate-bound Polycyclic Aromatic  
Hydrocarbons and Characteristics of PAHs during Haze Period in Lampang Province, Northern  
Thailand**. Air Quality, Atmosphere & Health, 6(2), pp.397-405, 2013.

Chantara, S., Sillapapiromsuk, S., Wiriya, W., **Atmospheric Pollutants in Chiang Mai (Thailand) over a Five-  
year Period (2005-2009), their Possible Sources and Relation to Air Mass Movement**. Atmospheric  
Environment, 60, pp.88-98, 2012.

Wiriya, W., Sillapapiromsuk, S., Chantara, S., **PM<sub>10</sub>-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Chiang Mai  
(Thailand): Seasonal variations, source identification, health risk assessment and their relationship to  
air-mass movement**. Atmospheric Research, 124, pp.109-122, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- PCD (Pollution Control Department). **Maryland Department of the Environment, and Chiang Mai Municipality. Chiang Mai Emission Inventory in Municipality and Neighborhood Area.** Report of Ability of Federal and Local Government Official, Chaing Mai, 2002.
- Pengchai, P., Chantara, S., Sopajaree, K., Wangkarn, S., Tengcharoenkul, U. and Rayanakorn, M., **Seasonal Variation, Risk Assessment and Source Estimation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>10</sub>-bound PAHs in the Ambient Air of Chiang Mai and Lumphun, Thailand.** Environ. Monit. Assess., 154, pp. 197–218, 2009.
- Pollution Control Department, **Manual measurement of dust in ambient**, 2003.
- Rayanakorn, M., **Haze and air pollution in Chiang Mai**, Login design work, 9-14, 2010.
- Jeremy, C., **Air pollution: an introduction**, E&FN Spon, 1997.
- World Health Organization, **WHO air quality guidelines global update 2005**, Report on working group meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005.
- Kleinbaum, D.G., **Logistic regression: a self – learning text**, 3<sup>rd</sup> ed., Springer, 2010.
- Hair, J. F. and others, **Multivariate data analysis**, 7<sup>th</sup> ed., Pearson Prentice Hall, pp.319-348, 2006
- Hilbe, J.M., **Logistic Regression Models**, CRC Press, 2009.
- Hosmer, D.W., **Applied logistic regression**, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley, 2000.
- Shaodong, X. and others, **Characteristics of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> in ambient air during the dust storm period in Beijing**, 345, pp.153-164, 2005.
- William R.D. & Matthew G., **Multivariate analysis: methods and applications**, John Wiley, pp.391-399, 1984.
- Chatterjee, S. & Hadi, A.S., **Regression Analysis by Example**, 4<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons Publisher, pp.317-335, 2006.
- Sophia, R. and Brian, S.E., **A handbook of statistical analyses using Stata**, 4<sup>th</sup>, Chapman & Hall, pp.111-129, 2006.
- Hamilton, L.C., **Statistics with Stata**, Brooks/Cole Publishing Company, pp.137-145, 1990.
- Burn, N. and Grove, S.K. 1993. **The Practice of Nursing Research: Conduct, Critique and Utilization.** W.B.Saunders Company, Philadelphia.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Steven, J. 1996. **Applied multivariate statistics for the social science**. Lawrence Erlbaum Associate, Inc., Mahwah, New Jersey.

[Online]. PCD (Pollution Control Department), <http://www.aqnis.pcd.go.th>, (6 July 2012).

[Online]. กัปตันนีโม (นามแฝง) : <http://kapitaennem0.wordpress.com/2013/07/17/genetic-algorithm>.

[Online]. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม : [www.pcd.go.th](http://www.pcd.go.th)

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons. US Department of Health and Human Services, Public Health Services. Available: [Online].

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.html>

International Agency for the Research on Cancer (IARC). 1984. Evaluation of the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. *Polynuclear Aromatic Hydrocarbons*. Vol 32.

Kameda, Y., Shirai, J., Komai, T., Nakanishi, J. and Masunaga, S. 2005. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: size distribution, estimation of their risk and their depositions to the human respiratory tract. *Science of the Total Environment*, 340, 71–80.

Keshtkar, H. and Ashbaugh, L.L. 2007. Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon particulate emission factors from agricultural burning. *Atmospheric Environment*, 41, 2729–2739.

Lai, C.H., Chen, K.H. and Wang, H.K. 2009. Influence of rice straw burning on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural county of Taiwan. *Journal of Environmental Sciences*, 21, 1200-1207.

Park, S.S., Kim, Y. J. and Kang, C.H. 2002. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment*. 36, 2917-2924.

Tsai, P.J., Shieh, H.Y., Lee, W.J. and Loi, S.O. 2002. Characterization of PAHs in the atmosphere of carbon black manufacturing workplaces. *Journal of Hazardous Material*, A91, 25–42.

U.S. EPA. 1986. Carcinogen Classification, National Center for Environmental Assessment. Office of Research and Development. Washington, EPA-600/R-93-089.

U.S. EPA. 1999. Compendium Method TO-13A: Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS).

WHO/IPCS. 1998. Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. Environmental Health Criteria 202; Geneva.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yang, H.H., Tai, C.H., Chao, M.R., Su, Y.L. and Chien, S.M. 2006. Source identification and size distribution of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbon during rice straw burning period. *Atmospheric Environment*, **40**, 1266-1274.

[www.phayao.go.th](http://www.phayao.go.th) (accessed on กุมภาพันธ์ 9, 2559)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก  
ตารางมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทยเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทยเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ

ประเทศ	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>			CO		O <sub>3</sub>		PM <sub>10</sub>	
	1 ชม.	24 ชม.	รายปี	1 ชม.	24 ชม.	รายปี	1 ชม.	8 ชม.	1 ชม.	8 ชม.	24 ชม.	รายปี
สหรัฐอเมริกา	-	0.37	-	-	-	0.10	0.10	10.0	0.24	-	0.15	0.05
ญี่ปุ่น	0.26	0.11	-	-	0.08	-	-	22.8	0.12	-	-	-
เนเธอร์แลนด์	0.76	0.23	-	0.18	-	-	40.0	6.0	0.12	-	-	-
ออสเตรเลีย	0.44	0.16	-	0.30	0.12	-	34.3	11.4	0.24	0.10	-	-
เม็กซิโก	-	-	-	0.40	-	-	-	15.0	-	-	-	-
ไต้หวัน	0.78	0.26	-	-	0.10	-	22.9	-	-	-	-	-
แคนาดา	0.82	0.27	-	0.40	0.20	-	15.0	6.0	0.10	-	-	-
เยอรมันนี	0-	0.27	-	0.20	-	0.80	30.0	-	-	-	-	-
WHO	0.35	0.13	0.05	0.40	0.15	-	30.0	10.0	0.15	0.10	-	-
ประเทศไทย	0.78	0.30	0.04	0.32	-	-	34.2	10.3	0.20	-	0.12	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Month-Year	Measured PM <sub>10</sub>	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted PM <sub>10</sub>
Jan-05	77.872			21.088	
Feb-05	128.168			71.383	
Mar-05	93.817			37.032	
Apr-05	62.825			6.041	
May-05	37.225			-19.560	
Jun-05	24.679			-32.106	
Jul-05	30.383			-26.402	
Aug-05	39.320			-17.465	
Sep-05	36.444			-20.340	
Oct-05	47.577			-9.207	
Nov-05	45.620			-11.164	
Dec-05	57.484	56.785	0.000	0.700	
Jan-06	68.119	56.549	0.000	16.600	77.872
Feb-06	71.079	55.172	0.000	45.226	127.932
Mar-06	122.116	55.896	0.000	50.795	92.204
Apr-06	64.909	55.968	0.000	7.408	61.937
May-06	37.812	56.002	0.000	-18.914	36.408
Jun-06	31.297	56.181	0.000	-28.701	23.896
Jul-06	32.406	56.245	0.000	-25.193	29.779
Aug-06	32.891	56.102	0.000	-20.174	38.780
Sep-06	33.210	56.041	0.000	-21.515	35.762
Oct-06	43.626	55.963	0.000	-10.683	46.833
Nov-06	62.626	56.395	0.000	-2.962	44.799
Dec-06	64.864	56.583	0.000	4.275	57.094
Jan-07	71.315	56.537	0.000	15.740	73.183
Feb-07	96.825	56.418	0.000	42.954	101.763
Mar-07	166.503	57.853	0.000	78.074	107.213
Apr-07	74.856	58.086	0.000	11.822	65.262
May-07	35.744	58.003	0.000	-20.491	39.172
Jun-07	29.400	58.005	0.000	-28.656	29.302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured PM <sub>10</sub>	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted PM <sub>10</sub>
Jul-07	30.283	57.944	0.000	-26.357	32.812
Aug-07	27.329	57.691	0.000	-24.978	37.770
Sep-07	35.437	57.673	0.000	-21.855	36.176
Oct-07	43.598	57.591	0.000	-12.244	46.990
Nov-07	51.021	57.504	0.000	-4.622	54.629
Dec-07	53.585	57.305	0.000	0.505	61.778
Jan-08	64.386	57.096	0.000	11.756	73.046
Feb-08	64.515	56.235	0.000	26.604	100.049
Mar-08	98.275	55.363	0.000	61.495	134.310
Apr-08	60.177	55.193	0.000	8.598	67.185
May-08	36.398	55.234	0.000	-19.711	34.702
Jun-08	34.287	55.421	0.000	-25.109	26.579
Jul-08	24.367	55.307	0.000	-28.518	29.064
Aug-08	22.491	55.117	0.000	-28.584	30.329
Sep-08	29.550	55.027	0.000	-23.563	33.263
Oct-08	31.303	54.749	0.000	-17.526	42.784
Nov-08	38.302	54.463	0.000	-10.063	50.127
Dec-08	50.374	54.352	0.000	-1.609	54.968
Jan-09	52.251	54.016	0.000	5.380	66.108
Feb-09	98.918	54.459	0.000	35.023	80.620
Mar-09	118.338	54.517	0.000	62.592	115.954
Apr-09	53.844	54.293	0.000	4.332	63.115
May-09	30.839	54.202	0.000	-21.433	34.582
Jun-09	25.018	54.103	0.000	-26.984	29.093
Jul-09	25.248	54.095	0.000	-28.673	25.586
Aug-09	28.096	54.158	0.000	-27.395	25.511
Sep-09	26.287	54.053	0.000	-25.545	30.595
Oct-09	33.681	53.985	0.000	-18.836	36.528
Nov-09	42.171	53.942	0.000	-10.868	43.922
Dec-09	55.981	54.030	0.000	0.070	52.333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured PM <sub>10</sub>	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted PM <sub>10</sub>
Jan-10	47.687	53.747	0.000	-0.014	59.411
Feb-10	77.568	53.475	0.000	29.869	88.769
Mar-10	120.184	53.575	0.000	64.486	116.067
Apr-10	106.644	54.755	0.000	26.756	57.908
May-10	40.877	54.938	0.000	-17.957	33.322
Jun-10	29.621	54.978	0.000	-26.217	27.954
Jul-10	23.915	54.921	0.000	-29.773	26.305
Aug-10	23.047	54.812	0.000	-29.455	27.526
Sep-10	23.602	54.675	0.000	-28.152	29.267
Oct-10	24.666	54.404	0.000	-23.976	35.839
Nov-10	50.893	54.583	0.000	-7.483	43.536
Dec-10	40.694	54.245	0.000	-6.352	54.652

ค่าพยากรณ์ PM<sub>10</sub> ในปี 2011 ที่ได้จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา และค่าที่ได้จากการตรวจวัด

Month-Year	Measured PM <sub>10</sub>	Forecasted PM <sub>10</sub>
Jan-11	50.360	54.231
Feb-11	54.594	84.114
Mar-11	48.597	118.730
Apr-11	51.320	81.001
May-11	36.535	36.288
Jun-11	22.658	28.0277
Jul-11	21.317	24.472
Aug-11	24.038	24.789
Sep-11	22.093	26.093
Oct-11	29.362	30.268
Nov-11	28.221	46.761
Dec-11	37.047	47.892

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูล CO ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Month-Year	Measured CO	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted CO
Jan-05	1.1840			0.304	
Feb-05	1.4563			0.576	
Mar-05	0.8771			-0.003	
Apr-05	0.4689			-0.411	
May-05	0.2806			-0.600	
Jun-05	0.3181			-0.562	
Jul-05	0.7707			-0.110	
Aug-05	1.0182			0.138	
Sep-05	0.8965			0.016	
Oct-05	1.0591			0.179	
Nov-05	1.1245			0.244	
Dec-05	1.1090	0.880	0.000	0.229	
Jan-06	1.3018	0.890	0.000	0.384	1.184
Feb-06	1.2516	0.873	0.000	0.431	1.466
Mar-06	1.3863	0.914	0.000	0.348	0.870
Apr-06	1.0751	0.959	0.000	-0.022	0.502
May-06	0.8955	1.001	0.000	-0.235	0.359
Jun-06	0.8412	1.033	0.000	-0.289	0.439
Jul-06	0.9307	1.034	0.000	-0.105	0.924
Aug-06	1.0409	1.023	0.000	0.049	1.172
Sep-06	0.7767	1.003	0.000	-0.163	1.040
Oct-06	0.8947	0.980	0.000	-0.016	1.182
Nov-06	0.9980	0.962	0.000	0.090	1.224
Dec-06	0.8248	0.933	0.000	-0.020	1.191
Jan-07	0.8807	0.898	0.000	0.087	1.317
Feb-07	0.8792	0.863	0.000	0.125	1.329
Mar-07	1.9893	0.924	0.000	0.877	1.211
Apr-07	0.9749	0.930	0.000	0.027	0.903
May-07	0.8604	0.943	0.000	-0.123	0.695
Jun-07	0.7376	0.950	0.000	-0.232	0.654

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล CO ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured CO	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted CO
Jul-07	0.8259	0.948	0.000	-0.118	0.845
Aug-07	0.8290	0.935	0.000	-0.066	0.997
Sep-07	0.9186	0.947	0.000	-0.063	0.772
Oct-07	0.7507	0.932	0.000	-0.138	0.930
Nov-07	0.7984	0.915	0.000	-0.062	1.023
Dec-07	0.7717	0.905	0.000	-0.104	0.895
Jan-08	1.0468	0.909	0.000	0.124	0.992
Feb-08	1.1029	0.915	0.000	0.172	1.034
Mar-08	1.1575	0.864	0.000	0.446	1.792
Apr-08	0.8699	0.863	0.000	0.012	0.892
May-08	0.5600	0.848	0.000	-0.245	0.740
Jun-08	0.6366	0.850	0.000	-0.218	0.616
Jul-08	0.5815	0.838	0.000	-0.220	0.732
Aug-08	0.5897	0.824	0.000	-0.190	0.773
Sep-08	0.6124	0.812	0.000	-0.164	0.760
Oct-08	0.6986	0.814	0.000	-0.121	0.674
Nov-08	0.7739	0.816	0.000	-0.047	0.752
Dec-08	0.7915	0.822	0.000	-0.050	0.712
Jan-09	0.8746	0.816	0.000	0.076	0.946
Feb-09	1.2006	0.833	0.000	0.316	0.988
Mar-09	1.1924	0.826	0.000	0.387	1.279
Apr-09	0.5983	0.807	0.000	-0.151	0.839
May-09	0.4829	0.801	0.000	-0.299	0.562
Jun-09	0.5601	0.799	0.000	-0.234	0.583
Jul-09	0.6489	0.805	0.000	-0.173	0.579
Aug-09	0.5069	0.796	0.000	-0.263	0.615
Sep-09	0.5302	0.788	0.000	-0.233	0.632
Oct-09	0.5366	0.778	0.000	-0.210	0.667
Nov-09	0.6970	0.775	0.000	-0.070	0.731
Dec-09	0.7086	0.774	0.000	-0.061	0.726

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล CO ที่ ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured CO	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted CO
Jan-10	0.6704	0.760	0.000	-0.046	0.849
Feb-10	1.1922	0.769	0.000	0.395	1.076
Mar-10	0.8994	0.748	0.000	0.213	1.156
Apr-10	0.8000	0.764	0.000	-0.013	0.597
May-10	0.5004	0.767	0.000	-0.275	0.466
Jun-10	0.4069	0.757	0.000	-0.320	0.534
Jul-10	0.4100	0.743	0.000	-0.291	0.585
Aug-10	0.4840	0.744	0.000	-0.261	0.480
Sep-10	0.5122	0.744	0.000	-0.232	0.510
Oct-10	0.6120	0.750	0.000	-0.157	0.534
Nov-10	0.8084	0.760	0.000	0.017	0.680
Dec-10	0.8338	0.771	0.000	0.031	0.699

ค่าพยากรณ์ CO ในปี 2011 ที่ ได้จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา และค่าที่ได้จากการตรวจวัด

Month-Year	Measured CO	Forecasted CO
Jan-11	0.8236	0.7248
Feb-11	0.8180	1.1662
Mar-11	0.8690	0.9835
Apr-11	0.7020	0.7576
May-11	0.5173	0.4956
Jun-11	0.4652	0.4511
Jul-11	0.4790	0.4796
Aug-11	0.5798	0.5102
Sep-11	0.6056	0.5388
Oct-11	0.5786	0.6141
Nov-11	0.7671	0.7881
Dec-11	0.7234	0.8014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล NO<sub>2</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Month-Year	Measured NO <sub>2</sub>	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted NO <sub>2</sub>
Jan-05	27.4394			10.605	
Feb-05	33.3477			16.513	
Mar-05	19.1019			2.267	
Apr-05	18.2981			1.463	
May-05	12.0171			-4.818	
Jun-05	9.5573			-7.277	
Jul-05	10.0171			-6.818	
Aug-05	12.7723			-4.062	
Sep-05	13.3000			-3.535	
Oct-05	14.6096			-2.225	
Nov-05	14.8055			-2.029	
Dec-05	16.7511	16.835	0.000	-0.084	
Jan-06	23.3206	16.748	0.000	8.417	27.439
Feb-06	22.4098	16.518	0.000	10.750	33.261
Mar-06	24.7025	16.643	0.000	5.410	18.785
Apr-06	18.4041	16.650	0.000	1.621	18.107
May-06	13.2702	16.680	0.000	-4.054	11.832
Jun-06	10.2459	16.698	0.000	-6.830	9.403
Jul-06	10.2774	16.706	0.000	-6.607	9.880
Aug-06	11.1618	16.675	0.000	-4.850	12.644
Sep-06	9.7058	16.602	0.000	-5.359	13.140
Oct-06	10.4079	16.518	0.000	-4.333	14.377
Nov-06	15.3192	16.536	0.000	-1.588	14.489
Dec-06	13.1936	16.467	0.000	-1.814	16.452
Jan-07	18.8762	16.340	0.000	5.226	24.884
Feb-07	27.3595	16.346	0.000	10.893	27.090
Mar-07	31.6009	16.554	0.000	10.638	21.755
Apr-07	16.9585	16.528	0.000	0.975	18.175
May-07	11.2884	16.503	0.000	-4.684	12.474
Jun-07	11.9763	16.552	0.000	-5.607	9.674

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล NO<sub>2</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Month-Year	Measured NO <sub>2</sub>	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted NO <sub>2</sub>
Jul-07	12.3090	16.602	0.000	-5.351	9.945
Aug-07	11.8715	16.604	0.000	-4.786	11.752
Sep-07	13.2862	16.647	0.000	-4.275	11.246
Oct-07	15.3019	16.711	0.000	-2.747	12.314
Nov-07	16.0059	16.729	0.000	-1.119	15.122
Dec-07	20.3577	16.844	0.000	1.076	14.915
Jan-08	28.3646	16.977	0.000	8.569	22.071
Feb-08	25.7813	16.933	0.000	9.784	27.871
Mar-08	30.4153	16.993	0.000	12.149	27.572
Apr-08	19.1985	17.019	0.000	1.628	17.968
May-08	13.2162	17.038	0.000	-4.216	12.336
Jun-08	10.9388	17.028	0.000	-5.868	11.431
Jul-08	10.0933	16.994	0.000	-6.192	11.676
Aug-08	10.8748	16.966	0.000	-5.494	12.208
Sep-08	11.3197	16.937	0.000	-5.003	12.691
Oct-08	12.0564	16.892	0.000	-3.880	14.190
Nov-08	15.2362	16.880	0.000	-1.404	15.773
Dec-08	20.4507	16.933	0.000	2.401	17.957
Jan-09	24.8803	16.920	0.000	8.239	25.502
Feb-09	33.4109	17.062	0.000	13.346	26.704
Mar-09	29.4626	17.067	0.000	12.283	29.210
Apr-09	16.0029	17.010	0.000	0.198	18.696
May-09	12.9579	17.014	0.000	-4.129	12.794
Jun-09	12.1263	17.034	0.000	-5.347	11.145
Jul-09	11.4340	17.047	0.000	-5.878	10.842
Aug-09	11.6362	17.049	0.000	-5.450	11.553
Sep-09	11.5887	17.039	0.000	-5.246	12.045
Oct-09	13.3975	17.044	0.000	-3.753	13.159
Nov-09	17.6052	17.086	0.000	-0.360	15.640
Dec-09	21.9283	17.137	0.000	3.698	19.486

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล NO<sub>2</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured NO <sub>2</sub>	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted NO <sub>2</sub>
Jan-10	19.5288	17.014	0.000	5.133	25.376
Feb-10	31.6238	17.040	0.000	14.017	30.359
Mar-10	31.5401	17.087	0.000	13.460	29.323
Apr-10	26.8227	17.289	0.000	5.263	17.286
May-10	12.6864	17.279	0.000	-4.380	13.160
Jun-10	8.7516	17.212	0.000	-7.036	11.932
Jul-10	9.3867	17.170	0.000	-6.912	11.334
Aug-10	10.2189	17.139	0.000	-6.247	11.721
Sep-10	13.4531	17.172	0.000	-4.417	11.893
Oct-10	12.9151	17.161	0.000	-4.021	13.418
Nov-10	17.6266	17.179	0.000	0.078	16.801
Dec-10	18.2809	17.124	0.000	2.319	20.876

ค่าพยากรณ์ NO<sub>2</sub> ในปี 2011 ที่ได้จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา และค่าที่ได้จากการตรวจวัด

Month-Year	Measured NO <sub>2</sub>	Forecasted NO <sub>2</sub>
Jan-11	21.3211	22.2570
Feb-11	24.8760	31.1409
Mar-11	18.9423	30.5837
Apr-11	16.5685	22.3870
May-11	12.5198	12.7432
Jun-11	11.0948	10.0875
Jul-11	8.9641	10.2117
Aug-11	8.5413	10.8763
Sep-11	8.0988	12.7064
Oct-11	10.7618	13.1030
Nov-11	15.3804	17.2020
Dec-11	17.6930	19.4430

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Month-Year	Measured RH	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted RH
Jan-05	59.5941			-5.807	
Feb-05	41.2485			-24.153	
Mar-05	45.0996			-20.302	
Apr-05	53.4155			-11.986	
May-05	71.2356			5.834	
Jun-05	87.0675			21.666	
Jul-05	72.9965			7.595	
Aug-05	75.4724			10.071	
Sep-05	75.7595			10.358	
Oct-05	68.9420			3.541	
Nov-05	68.4250			3.024	
Dec-05	65.5585	65.401	0.000	0.157	
Jan-06	60.5787	65.847	0.000	-5.268	59.594
Feb-06	51.3055	70.193	0.000	-18.888	41.694
Mar-06	45.4024	68.163	0.000	-22.761	49.891
Apr-06	57.8755	68.931	0.000	-11.056	56.177
May-06	69.5459	66.571	0.000	2.975	74.765
Jun-06	69.4000	58.052	0.000	11.348	88.237
Jul-06	73.4906	61.599	0.000	11.892	65.648
Aug-06	74.9596	63.087	0.000	11.873	71.670
Sep-06	72.3833	62.607	0.000	9.777	73.445
Oct-06	68.3513	63.603	0.000	4.748	66.147
Nov-06	61.6986	61.375	0.000	0.324	66.627
Dec-06	59.4333	60.426	0.000	-0.992	61.532
Jan-07	56.3193	60.951	0.000	-4.632	55.158
Feb-07	46.5380	62.974	0.000	-16.436	42.063
Mar-07	41.8595	63.719	0.000	-21.859	40.214
Apr-07	49.4733	62.276	0.000	-12.803	52.663
May-07	73.5972	66.050	0.000	7.547	65.251
Jun-07	66.4824	61.114	0.000	5.368	77.398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured RH	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted RH
Jul-07	67.8639	58.789	0.000	9.075	73.006
Aug-07	69.4159	58.225	0.000	11.190	70.662
Sep-07	69.4069	58.861	0.000	10.546	68.002
Oct-07	68.0834	60.884	0.000	7.199	63.609
Nov-07	65.6801	62.906	0.000	2.774	61.208
Dec-07	60.8466	62.424	0.000	-1.577	61.914
Jan-08	59.7769	63.321	0.000	-3.544	57.792
Feb-08	52.9134	66.047	0.000	-13.134	46.885
Mar-08	46.9874	67.313	0.000	-20.326	44.188
Apr-08	52.2179	66.277	0.000	-14.059	54.510
May-08	69.9283	64.515	0.000	5.413	73.824
Jun-08	69.6412	64.406	0.000	5.236	69.883
Jul-08	68.9748	62.368	0.000	6.607	73.480
Aug-08	73.5087	62.346	0.000	11.163	73.558
Sep-08	78.5599	64.909	0.000	13.651	72.892
Oct-08	84.6895	70.598	0.000	14.091	72.108
Nov-08	78.3111	72.832	0.000	5.479	73.372
Dec-08	81.1438	77.304	0.000	3.840	71.255
Jan-09	81.0363	80.594	0.000	0.442	73.759
Feb-09	76.4182	84.645	0.000	-8.227	67.460
Mar-09	60.5484	82.940	0.000	-22.391	64.319
Apr-09	60.5424	79.169	0.000	-18.627	68.881
May-09	72.9664	73.916	0.000	-0.950	84.582
Jun-09	76.5236	72.728	0.000	3.796	79.152
Jul-09	76.4530	71.425	0.000	5.028	79.334
Aug-09	76.1573	68.517	0.000	7.641	82.588
Sep-09	76.7806	66.081	0.000	10.700	82.168
Oct-09	76.1346	64.255	0.000	11.880	80.172
Nov-09	65.9181	62.529	0.000	3.389	69.734
Dec-09	66.1344	62.423	0.000	3.711	66.369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured RH	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted RH
Jan-10	65.7473	63.726	0.000	2.021	62.865
Feb-10	49.3955	60.966	0.000	-11.571	55.499
Mar-10	51.3011	66.721	0.000	-15.420	38.575
Apr-10	44.6625	65.169	0.000	-20.507	48.095
May-10	58.6205	62.637	0.000	-4.017	64.219
Jun-10	68.2651	63.466	0.000	4.799	66.433
Jul-10	75.2429	66.518	0.000	8.725	68.494
Aug-10	81.5886	69.878	0.000	11.711	74.158
Sep-10	82.1167	70.574	0.000	11.543	80.578
Oct-10	76.0511	67.678	0.000	8.373	82.453
Nov-10	67.1899	65.925	0.000	1.265	71.067
Dec-10	70.8306	66.465	0.000	4.366	69.636

ค่าพยากรณ์ความชื้นสัมพัทธ์ ในปี 2011ที่ได้จากการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา  
และค่าที่ได้จากการตรวจวัด

Month-Year	Measured RH	Forecasted RH
Jan-11	66.9328	68.4859
Feb-11	54.2545	54.8944
Mar-11	65.2527	51.0450
Apr-11	69.3444	45.9584
May-11	78.9973	62.4483
Jun-11	77.8917	71.2645
Jul-11	76.2782	75.1904
Aug-11	81.3992	78.1759
Sep-11	81.2569	78.0081
Oct-11	79.7618	74.8377
Nov-11	68.9792	67.7299
Dec-11	70.4073	70.8306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Month-Year	Measured Rain	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted Rain
Jan-05	0.000			-0.158	
Feb-05	0.000			-0.158	
Mar-05	0.032			-0.126	
Apr-05	0.061			-0.096	
May-05	0.089			-0.068	
Jun-05	0.343			0.185	
Jul-05	0.389			0.232	
Aug-05	0.217			0.060	
Sep-05	0.391			0.234	
Oct-05	0.288			0.131	
Nov-05	0.020			-0.138	
Dec-05	0.059	0.158	0.000	-0.098	
Jan-06	0.001	0.158	0.000	-0.157	0.000
Feb-06	0.001	0.158	0.000	-0.157	0.000
Mar-06	0.015	0.157	0.000	-0.135	0.032
Apr-06	0.173	0.160	0.000	-0.036	0.061
May-06	0.252	0.163	0.000	0.017	0.091
Jun-06	0.219	0.160	0.000	0.117	0.348
Jul-06	0.312	0.159	0.000	0.189	0.392
Aug-06	0.371	0.162	0.000	0.141	0.218
Sep-06	0.167	0.157	0.000	0.112	0.396
Oct-06	0.093	0.153	0.000	0.027	0.288
Nov-06	0.001	0.153	0.000	-0.145	0.015
Dec-06	0.001	0.151	0.000	-0.127	0.054
Jan-07	0.000	0.152	0.000	-0.154	-0.006
Feb-07	0.001	0.152	0.000	-0.153	-0.005
Mar-07	0.003	0.151	0.000	-0.142	0.017
Apr-07	0.070	0.150	0.000	-0.060	0.115
May-07	0.403	0.155	0.000	0.142	0.168
Jun-07	0.188	0.154	0.000	0.072	0.272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured Rain	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted Rain
Jul-07	0.148	0.150	0.000	0.086	0.343
Aug-07	0.254	0.149	0.000	0.121	0.290
Sep-07	0.251	0.149	0.000	0.107	0.261
Oct-07	0.087	0.147	0.000	-0.020	0.176
Nov-07	0.075	0.148	0.000	-0.106	0.002
Dec-07	0.005	0.148	0.000	-0.136	0.022
Jan-08	0.008	0.148	0.000	-0.146	-0.006
Feb-08	0.034	0.149	0.000	-0.132	-0.005
Mar-08	0.009	0.149	0.000	-0.141	0.007
Apr-08	0.064	0.149	0.000	-0.073	0.089
May-08	0.192	0.146	0.000	0.090	0.291
Jun-08	0.190	0.146	0.000	0.057	0.218
Jul-08	0.181	0.145	0.000	0.059	0.231
Aug-08	0.190	0.143	0.000	0.081	0.266
Sep-08	0.284	0.144	0.000	0.125	0.250
Oct-08	0.262	0.147	0.000	0.053	0.124
Nov-08	0.098	0.148	0.000	-0.075	0.041
Dec-08	0.009	0.148	0.000	-0.138	0.012
Jan-09	0.000	0.148	0.000	-0.147	0.002
Feb-09	0.001	0.148	0.000	-0.140	0.016
Mar-09	0.038	0.148	0.000	-0.124	0.007
Apr-09	0.083	0.148	0.000	-0.069	0.075
May-09	0.279	0.149	0.000	0.111	0.238
Jun-09	0.190	0.149	0.000	0.048	0.206
Jul-09	0.168	0.148	0.000	0.038	0.208
Aug-09	0.170	0.147	0.000	0.049	0.229
Sep-09	0.156	0.144	0.000	0.064	0.272
Oct-09	0.133	0.143	0.000	0.019	0.198
Nov-09	0.001	0.142	0.000	-0.111	0.068
Dec-09	0.017	0.142	0.000	-0.131	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดและค่าพยากรณ์จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (ต่อ)

Month-Year	Measured Rain	Base Level	Trend	Seasonal Factor	Forecasted Rain
Jan-10	0.024	0.143	0.000	-0.132	-0.005
Feb-10	0.051	0.144	0.000	-0.114	0.002
Mar-10	0.005	0.143	0.000	-0.132	0.019
Apr-10	0.010	0.142	0.000	-0.103	0.074
May-10	0.047	0.138	0.000	0.002	0.253
Jun-10	0.088	0.135	0.000	-0.004	0.186
Jul-10	0.217	0.136	0.000	0.061	0.173
Aug-10	0.574	0.145	0.000	0.256	0.186
Sep-10	0.332	0.147	0.000	0.129	0.208
Oct-10	0.249	0.149	0.000	0.063	0.166
Nov-10	0.000	0.148	0.000	-0.131	0.038
Dec-10	0.009	0.148	0.000	-0.135	0.017

ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน ในปี 2011ที่ได้จากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา  
และค่าที่ได้จากการตรวจวัด

Month-Year	Measured Rain	Forecasted Rain
Jan-11	0.010	0.016
Feb-11	0.001	0.034
Mar-11	0.084	0.016
Apr-11	0.104	0.045
May-11	0.495	0.150
Jun-11	0.299	0.144
Jul-11	0.218	0.209
Aug-11	0.440	0.404
Sep-11	0.358	0.277
Oct-11	0.132	0.211
Nov-11	0.001	0.017
Dec-11	0.003	0.013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและจากตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยวิธีเชิงพันธุกรรม

Month-Year	CO	NO <sub>2</sub>	RH	Rain	Pressure	NO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> (GA)
Jan-05	1.18	27.44	59.59	0.00	734.56	11.25	20.26	77.87	89.59
Feb-05	1.46	33.35	41.25	0.00	733.40	13.83	23.81	128.17	118.66
Mar-05	0.88	19.10	45.10	0.03	733.42	7.46	26.98	93.82	76.13
Apr-05	0.47	18.30	53.42	0.06	732.14	5.01	27.53	62.83	68.90
May-05	0.28	12.02	71.24	0.09	729.89	2.97	24.02	37.23	38.48
Jun-05	0.32	9.56	87.07	0.34	728.56	3.75	11.31	24.68	17.06
Jul-05	0.77	10.02	73.00	0.39	728.97	5.63	9.67	30.38	26.92
Aug-05	1.02	12.77	75.47	0.22	727.88	9.96	7.72	39.32	31.61
Sep-05	0.90	13.30	75.76	0.39	730.83	7.15	13.00	36.44	34.90
Oct-05	1.06	14.61	68.94	0.29	733.97	6.37	15.34	47.58	45.53
Nov-05	1.12	14.81	68.43	0.02	733.90	9.84	9.36	45.62	44.49
Dec-05	1.11	16.75	65.56	0.06	734.51	9.44	12.51	57.48	52.83
Jan-06	1.30	23.32	60.58	0.00	733.39	10.37	18.71	68.12	77.11
Feb-06	1.25	22.41	51.31	0.00	733.86	7.57	19.03	71.08	82.50
Mar-06	1.39	24.70	45.40	0.01	731.75	5.85	25.64	122.12	95.84
Apr-06	1.08	18.40	57.88	0.17	731.19	4.51	22.43	64.91	67.28
May-06	0.90	13.27	69.55	0.25	731.09	3.95	18.97	37.81	43.02
Jun-06	0.84	10.25	69.40	0.22	730.16	3.52	15.15	31.30	33.63
Jul-06	0.93	10.28	73.49	0.31	728.83	5.20	12.20	32.41	29.00
Aug-06	1.04	11.16	74.96	0.37	729.21	7.76	10.35	32.89	28.46
Sep-06	0.78	9.71	72.38	0.17	731.86	6.95	10.70	33.21	26.83
Oct-06	0.89	10.41	68.35	0.09	734.03	4.65	10.26	43.63	34.32
Nov-06	1.00	15.32	61.70	0.00	734.02	6.14	12.24	62.63	53.54
Dec-06	0.82	13.19	59.43	0.00	734.96	7.62	10.43	64.86	46.54
Jan-07	0.88	18.88	56.32	0.00	734.74	9.26	14.53	71.31	65.35
Feb-07	0.88	27.36	46.54	0.00	733.73	10.41	20.57	96.83	97.48
Mar-07	1.99	31.60	41.86	0.00	732.30	11.52	31.08	166.50	117.32
Apr-07	0.97	16.96	49.47	0.07	733.35	3.00	30.84	74.86	71.00
May-07	0.86	11.29	73.60	0.40	731.21	2.63	16.14	35.74	34.11
Jun-07	0.74	11.98	66.48	0.19	728.00	4.82	13.99	29.40	39.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและจากตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยวิธีเชิงพันธุกรรม (ต่อ)

Month-Year	CO	NO <sub>2</sub>	RH	Rain	Pressure	NO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> (GA)
Jul-07	0.83	12.31	67.86	0.15	727.60	7.50	10.19	30.28	37.21
Aug-07	0.83	11.87	69.42	0.25	727.23	5.86	9.03	27.33	35.47
Sep-07	0.92	13.29	69.41	0.25	728.55	6.08	10.51	35.44	40.20
Oct-07	0.75	15.30	68.08	0.09	731.14	7.17	9.93	43.60	46.82
Nov-07	0.80	16.01	65.68	0.07	732.71	9.87	12.94	51.02	49.01
Dec-07	0.77	20.36	60.85	0.00	732.51	11.06	16.02	53.58	65.21
Jan-08	1.05	28.36	59.78	0.01	732.27	12.10	19.20	64.39	90.87
Feb-08	1.10	25.78	52.91	0.03	731.74	11.63	25.22	64.51	88.54
Mar-08	1.16	30.42	46.99	0.01	730.85	7.40	33.62	98.28	111.42
Apr-08	0.87	19.20	52.22	0.06	729.64	3.85	35.77	60.18	75.55
May-08	0.56	13.22	69.93	0.19	727.60	4.41	17.92	36.40	41.17
Jun-08	0.64	10.94	69.64	0.19	728.16	6.35	15.32	34.29	32.70
Jul-08	0.58	10.09	68.97	0.18	727.72	6.21	11.27	24.37	29.96
Aug-08	0.59	10.87	73.51	0.19	728.38	7.69	11.38	22.49	28.26
Sep-08	0.61	11.32	78.56	0.28	729.30	8.52	10.58	29.55	25.20
Oct-08	0.70	12.06	84.69	0.26	731.47	8.57	10.31	31.30	23.96
Nov-08	0.77	15.24	78.31	0.10	732.69	12.03	11.77	38.30	36.39
Dec-08	0.79	20.45	81.14	0.01	733.00	13.34	15.00	50.37	50.49
Jan-09	0.87	24.88	81.04	0.00	733.17	15.54	1.37	52.25	60.86
Feb-09	1.20	33.41	76.42	0.00	730.33	15.12	1.13	98.92	91.18
Mar-09	1.19	29.46	60.55	0.04	730.08	10.39	0.67	118.34	92.84
Apr-09	0.60	16.00	60.54	0.08	729.19	5.34	0.52	53.84	53.52
May-09	0.48	12.96	72.97	0.28	728.51	4.24	0.07	30.84	35.54
Jun-09	0.56	12.13	76.52	0.19	727.10	5.44	0.16	25.02	30.36
Jul-09	0.65	11.43	76.45	0.17	727.04	7.07	0.25	25.25	27.34
Aug-09	0.51	11.64	76.16	0.17	727.98	8.04	0.29	28.10	26.97
Sep-09	0.53	11.59	76.78	0.16	728.66	7.31	0.30	26.29	27.21
Oct-09	0.54	13.40	76.13	0.13	730.50	8.28	0.30	33.68	32.64
Nov-09	0.70	17.61	65.92	0.00	732.16	10.85	0.52	42.17	51.38
Dec-09	0.71	21.93	66.13	0.02	732.10	14.43	0.49	55.98	61.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการตรวจวัดและจากตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยวิธีเชิงพันธุกรรม (ต่อ)

Month-Year	CO	NO <sub>2</sub>	RH	Rain	Pressure	NO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> (GA)
Jan-10	0.67	19.53	65.75	0.02	732.34	13.40	0.46	47.69	55.09
Feb-10	1.19	31.62	49.40	0.05	730.64	20.77	0.87	77.57	98.11
Mar-10	0.90	31.54	51.30	0.00	730.52	9.81	0.91	120.18	104.99
Apr-10	0.80	26.82	44.66	0.01	729.38	7.68	1.58	106.64	96.21
May-10	0.50	12.69	58.62	0.05	727.62	4.84	0.42	40.88	44.76
Jun-10	0.41	8.75	68.27	0.09	727.66	6.14	0.18	29.62	24.86
Jul-10	0.41	9.39	75.24	0.22	727.48	7.56	0.56	23.92	20.49
Aug-10	0.48	10.22	81.59	0.57	727.37	10.51	0.90	23.05	14.84
Sep-10	0.51	13.45	82.12	0.33	728.61	8.79	0.59	23.60	27.30
Oct-10	0.61	12.92	76.05	0.25	729.44	6.57	0.33	24.67	32.16
Nov-10	0.81	17.63	67.19	0.00	731.35	9.97	1.33	50.89	51.75
Dec-10	0.83	18.28	70.83	0.01	730.01	12.61	1.20	40.69	49.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพยากรณ์ PM<sub>10</sub> ในปี 2011 ที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ  
โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และค่าที่ได้จากการตรวจวัด

Month- Year	CO	NO <sub>2</sub>	RH	Rain	Pressure	NO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> (GA)
Jan-11	0.99	23.73	63.84	0.01	733.41	11.99	12.42	50.36	73.15
Feb-11	1.18	28.99	52.97	0.01	732.28	13.22	15.11	54.59	96.08
Mar-11	1.25	27.80	48.53	0.02	731.49	8.74	19.82	48.60	99.76
Apr-11	0.80	19.28	53.03	0.08	730.82	4.90	19.78	51.32	72.08
May-11	0.60	12.57	69.32	0.21	729.32	3.84	12.92	36.53	39.51
Jun-11	0.58	10.60	72.90	0.20	728.27	5.00	9.35	22.66	29.65
Jul-11	0.69	10.59	72.50	0.24	727.94	6.53	7.36	21.32	28.49
Aug-11	0.74	11.42	75.18	0.30	728.01	8.30	6.61	24.04	27.60
Sep-11	0.71	12.11	75.83	0.26	729.63	7.47	7.61	22.09	30.27
Oct-11	0.76	13.11	73.71	0.19	731.76	6.94	7.75	29.36	35.91
Nov-11	0.87	16.10	67.87	0.03	732.81	9.78	8.02	28.22	47.76
Dec-11	0.84	18.49	67.32	0.02	732.85	11.42	9.27	37.05	54.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการใช้จ่ายเงิน

ปีที่ 1

รายการ	วงเงินที่ใช้แต่ละเดือน												หมายเหตุ	
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.		
ค่าจ้างค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย 2 คน (วุฒิปริญญาตรี 9,140 บาทต่อเดือน) ระยะเวลาจ้าง 6 เดือน					18,280				18,280	18,280	18,280	18,280	18,280	
ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง			10,000	10,000	10,000	10,000			18,000	18,000	18,000	19,200		
ค่าจ้างเหมาบริการ						5,000			5,000	5,000	5,000	5,000		
ค่าอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างอากาศ กระดากกรอง				50,000										
ค่าสารเคมี/ ก๊าซต่างๆ สำหรับวิเคราะห์ GC-MS-SIM				10,000		5,000	5,000	10,000		10,000			10,000	
ค่าสารมาตรฐาน 16 PAHs				20,000										
ค่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์				30,000										
ค่าลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์				50,000										
ค่าวัสดุสำนักงาน	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000						5,000	5,000		
ค่าถ่ายเอกสารและทำรูปเล่มงานวิจัย	1,000	2,000											5,000	
รวมเงิน	3,000	4,000	12,000	172,000	30,280	20,000	5,000	51,280	41,280	51,280	46,280	62,480		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	วงเงินที่ใช้แต่ละเดือน													หมายเหตุ			
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.					
ค่าจ้างช่างผู้ช่วยวิจัย 2 คน (วุฒิปริญญาตรี 9,140 บาทต่อเดือน) ระยะเวลาจ้าง 6 เดือน					18,280					18,280			18,280			18,280	
ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง			10,000		10,000					10,000			18,000			18,000	
ค่าจ้างเหมาบริการ					5,000					5,000			5,000			5,000	
ค่าสารเคมี/ ก๊าซต่างๆ สำหรับวิเคราะห์ GC-MS-SIM				10,000						5,000			10,000			10,000	
ค่าสารมาตรฐาน 16 PAHs				20,000													
ค่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์				30,000													
ค่าวัสดุสำนักงาน	2,000	2,000		2,000	2,000					2,000						5,000	
ค่าถ่ายเอกสารและทำรูปเล่มงานวิจัย	1,000	2,000															7,000
<b>รวมเงิน</b>	<b>3,000</b>	<b>4,000</b>	<b>12,000</b>	<b>72,000</b>	<b>35,280</b>	<b>20,000</b>	<b>10,000</b>	<b>51,280</b>	<b>41,280</b>	<b>51,280</b>	<b>46,280</b>	<b>64,480</b>					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)                      ดร. นุชymas พิมพ์พรรณชาติ  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)                      Dr. Busayamas Pimpunchat
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน    3 7503 00082 515
3. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

(e-mail)

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง แขวง ลาดกระบัง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ (662)-329-8400-10 ต่อ 283, 316

โทรสาร (662)-329-8400-10 ต่อ 284

E-mail: [knbusaya@kmitl.ac.th](mailto:knbusaya@kmitl.ac.th)

4. ประวัติการศึกษา
  - พ.ศ. 2547-2550                      ปริญญาเอกทางคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
  - พ.ศ. 2537-2540                      ปริญญาโททางคณิตศาสตร์ประยุกต์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
  - พ.ศ. 2533-2536                      ปริญญาตรีทางคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการ และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอผลงานวิจัย
  - 5.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย -
  - 5.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :
    - 5.2.1 ชื่อโครงการวิจัย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์ค่า DO BOD ในปัญหามลพิษทางน้ำโดยใช้เทคนิคเงินเนติกอัลกอริทึม ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ปี 2554
    - 5.2.2 ชื่อโครงการวิจัย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการหาค่าเหมาะสมที่สุดในการวิจัยและพัฒนาการบำบัดน้ำเสียจากสาหร่ายชีวภาพ โครงการวิจัยกลุ่ม ศูนย์ความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์ ประจำปี 2554
  - 5.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **B. Pimpunchat**, W.L. Sweatman , G.C. Wake, W. Triampo and A. Parshotam (2007) “A mathematical model for pollution in a river and its remediation by aeration”, *Applied Mathematic Letters*. Impact factor 0.699.
2. **B. Pimpunchat**, W.L. Sweatman , W. Triampo, G.C. Wake and A. Parshotam (2007) “Modelling River Pollution and Removal by Aeration”, in Oxley, L. and Kulasiri, D. (eds). Proceeding of MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation. Land, Water & Environmental Management: Integrated Systems for Sustainability. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2007, pp. 2431 - 2437. ISBN: 978-0-9758400-4-7.
3. **B. Pimpunchat**, W.L. Sweatman , W. Triampo, G.C. Wake and A. Parshotam. (2007). Modelling River Pollution and Removal by Aeration. Proceeding of IIMS-PGC 2007 Post-Graduate Conference, Institute of Information and Mathematical Science, Massey University, Albany, New Zealand, October 24, 2007, pp. 38-44.
4. C. Modchang, **B. Pimpunchat**, W. Triampo, D. Triampo and Y. Lenbury. (2011). “Modelling and Optimization of G-protein Coupled receptor signal transduction”. *Far East Journal of Mathematical Science (FJMS)*, 53 (1), 17-33.
5. S. Amornsamankul, **B. Pimpunchat**, S. Duangchai-yoosook, W. Triampo (2012). “Modified WQI Model using Fourier Series and Genetic Algorithm Technique”. Proceeding of the 14<sup>th</sup> International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation (ACMOS'12), Saint Malo & Mont Saint Michel, France, April 2-4, pp. 73-76.

#### ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)                      ศศ. ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)                      Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน    3100800861 535

3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ (662)-329-8400-11 ต่อ 262, 349

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรสาร (662)-326-4415

E-mail [kjsuwann@kmitl.ac.th](mailto:kjsuwann@kmitl.ac.th)

4. ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2540-2544      ปริญญาเอกทางเคมี มหาวิทยาลัยลีดส์ เมืองลีดส์ ประเทศอังกฤษ
- พ.ศ. 2539-2540      ปริญญาโททางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแบรดฟอร์ด  
เมืองแบรดฟอร์ด ประเทศอังกฤษ
- พ.ศ. 2530-2534      ปริญญาตรีทางเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการ และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ  
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละ  
ข้อเสนอผลงานวิจัย

- 5.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย -
- 5.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :
- 5.2.1 ชื่อโครงการวิจัย การผลิตไบโอไฮโดรเจนจากสลัดจ์น้ำทิ้งชุมชน โดยใช้จุลินทรีย์คัดแยกได้จาก  
แหล่งกำเนิดท้องถิ่น โครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท. ประจำปี 2549
- 5.2.2 ชื่อโครงการวิจัย การทำน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านไม้ให้บริสุทธิ์โดยใช้เมมเบรน ทุนวิจัย  
มหาวิทยาลัย สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2549
- 5.2. ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง  
ตามบ้านเรือน โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์ ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ปี 2549
- 5.3 งานวิจัยที่สำเร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)
- 1) **Suwanee Junyapoon**, Warunee Buala and Saranya Phunpruch. 2011. Hydrogen production with *Escherichia coli* isolated from municipal sewage sludge. *The Thammasat International Journal of Science and Technology*, 16(1), 9-15.
  - 2) Surattiporn Rattana, **Suwanee Junyapoon**, Aran Incharoensakdi and Saranya Phunpruch. 2010. Hydrogen Production by the Green Alga *Scenedesmus* sp. KMITL-O1 under Heterotrophic Conditions. *Proceeding of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*, October 4-6, 2010, Pattaya, pp. 73-79.
  - 3) Raivada Roobsuaydee, **Suwanee Junyapoon** and Mongkol Phensajjai. 2010. Distribution of Different Sized Viable Airborne Particles in Air-conditioned Public Vehicles in Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- District. *Proceeding of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*, October 4-6, 2010, Pattaya, pp. 66-72.
- 4) Pitsamai Rungruang and Suwannee Junyapoon. 2010. Antioxidative Activity of Phenolic Compounds in Pyrolytic Acid Produced from Eucalyptus Wood. *Proceeding of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*, October 4-6, 2010, Pattaya, pp. 61-65.
  - 5) พิสมัย รุ่งเรือง และ สุวรรณิ จรรยาพูน. 2552. การศึกษาปริมาณของสารฟีนอลิกในน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตจากการเผาถ่านไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และไม้สัก. *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35 (วทท 35)*. The Tide Resort หาดบางแสน จังหวัดชลบุรี, ประเทศไทย 15-17 ตุลาคม 2552.
  - 6) สวรรค์ ภูษิต และ สุวรรณิ จรรยาพูน. 2552. การกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ฟางข้าวในโรง. *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35 (วทท 35)*. The Tide Resort หาดบางแสน จังหวัดชลบุรี, ประเทศไทย 15-17 ตุลาคม 2552.
  - 7) นิอุบล นุ่มสกุล, สุวรรณิ จรรยาพูน และชลอ จารุสุทธิรักษ์. 2551. การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีเติมอากาศร่วมกับถ่านกัมมันต์ วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม หน้า 93-103.
  - 8) วิชัย ชันดี และสุวรรณิ จรรยาพูน. 2551. Recovery of Copper from Electroplating Sludge using Chelating Agent and Cementation Process. *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34 (วทท 34)*. ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย, 31 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2551, หน้า 278-279.
  - 9) นิอุบล นุ่มสกุล, สุวรรณิ จรรยาพูน และชลอ จารุสุทธิรักษ์. 2551. การทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์โดยวิธีเมมเบรน. *การประชุมวิชาการโครงการทุนวิจัยมหาวิทยาลัย สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 2*, โรงแรมจอมเทียน ปาล์มบีช รีสอร์ท เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี, ประเทศไทย, 4-6 เมษายน 2551, หน้า 106-107.
  - 10) Warunee Buala, Suwannee Junyapoon and Saranya Phunpruch. 2007. Isolation and Characterization of High Hydrogen Producing Strain from Waste Materials in Thailand. *The 5<sup>th</sup> International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*, Khon Kaen University, Nong Khai Campus, Nong Khai, Thailand, November 1-3, 2007, p. 89.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 11) สุวรรณี จรรยาพูน กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ เกศกาญจน์ ชะวิเชียร และขนิษฐา วงษ์ธัญกรณ์ 2548. การใช้รังควัตถุที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติเป็นพีเอชอินดิเคเตอร์ วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน หน้า 11-25.
- 12) Ross, A.B., Junyapoon, S., Jones, J.M., Williams, A. and Bartle, K.D. 2005. A Study of Different Soots using Pyrolysis-GC-MS and Comparison with Solvent Extractable Material. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 74, 494-501.
- 13) วรณวิภา ผลาหาญ และสุวรรณี จรรยาพูน. 2547. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟในน้ำทิ้งโรงฟอกย้อม โดยใช้เศษผลเหลือทิ้ง วารสารวิทยาศาสตร์-ลาดกระบัง ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม หน้า 38-52.
- 14) Palaharn, W. and Junyapoon, S. 2004. Discoloration of Relative Blue 5 in Aqueous Solutions by Waste Iron Particles, The 1<sup>st</sup> KMITL International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development, Bangkok, Thailand, 25-26 August 2004, Vol. 1, 217-220.
- 15) Junyapoon, S., Bartle, K.D., Ross, A.B., and Cooke, M. 2002. Analysis of Malodorous Sulfur Gases and Volatile Organometalloid Compounds in Landfill Gas Emissions using Capillary Gas Chromatography with Programmed Temperature Vaporization Injection and Atomic Emission Detection. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 82(2), 47-59.
- 16) Ross, A.B., Junyapoon, S., Bartle, K.D., Jones, J.M. and Williams, A. 2000. Development of Pyrolysis-GC with Selective Detection: Coupling of Pyrolysis-GC to Atomic Emission Detection (py-GC-AED). *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 58, 371-385.
- 17) Junyapoon, S., Bartle, K.D., Ross, A.B., Cooke, M. and Smethurst, B.F. 2000. Programmed Temperature Vaporization Injection (PTV) in the Analysis by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) of the Constituents of Landfill Gas. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 77(4), 337-348.
- 18) Junyapoon, S., Ross, A.B., Bartle, K.D., Frere, D., Lewis, A.C. and Cooke, M. 1999. Injection by Programmed Temperature Vaporization Injection (PTV) of Gaseous Samples for Gas Chromatography Atomic Emission Spectrometry (GC-AED) *J. High Resolut. Chromatogr.*, 22(1), 47-51.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้