

Research Article

การวิเคราะห์ความเสี่ยงของ PM2.5 และ PM10 กรณีศึกษาเมือง ขอนแก่น

Risk analysis of PM2.5 and PM10: A case study at Khon Kaen City

จूरEMAT พรโสดิณ¹ ปิยภัทร บุชบาบดินทร์¹ ทศพล ภูผิวิฟ้า¹ มนชยา เชียงประดิษฐ์¹
และพรรณรัตน์ ก้วยเจริญพานิช^{2*}

Jureemat Pornsopin¹ Piyapatr Busababodhin¹ Tossapol Phoophiwfa¹ Monchaya Chiangpradit¹
and Pannarat Guayjarernpanishk^{2*}

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University

²คณะสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย

²Faculty of Interdisciplinary Studies, Khon Kaen University, Nong Khai Campus

*E-mail: panngu@kku.ac.th

Received: 19/10/2020; Revised: 21/02/2021; Accepted: 29/03/2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) และ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) กับตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาแบบจำลองและการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับ PM2.5 และ PM10 บนตัวแปรร่วม และประเมินความเสี่ยงของการเกิดมลพิษทางอากาศด้วยทฤษฎีค่าสุดขีด กรณีศึกษาเมืองขอนแก่น ผลการวิจัยพบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อ PM2.5 คือ PM10 NO₂ CO และ O₃ ส่วนตัวแปรที่ส่งผลต่อ PM10 คือ PM2.5 NO₂ และ O₃ เมื่อใช้การแจกแจงค่าสุดขั้วนัยทั่วไปในการวิเคราะห์ข้อมูลสุดขีดรายเดือน พบว่าสำหรับข้อมูลของ PM2.5 บนตัวแปรร่วม ได้แบบจำลองที่เหมาะสมคือ $X \square \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ เมื่อ $\mu(x) = -7.01 + 0.31(\text{PM10}) + 0.21(\text{NO}_2) + 9.16(\text{CO}) + 0.22(\text{O}_3)$, $\sigma = 18.24$ และ $\xi = -0.11$ ซึ่งมีการแจกแจงไวบูลสำหรับข้อมูลของ PM10 บนตัวแปรร่วม ได้แบบจำลองที่เหมาะสมคือ $X \square \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ เมื่อ $\mu(x) = -13.37 + 0.75(\text{PM2.5}) + 0.27(\text{NO}_2) + 0.42(\text{O}_3)$, $\sigma = 24.57$ และ $\xi = 0.07$ ซึ่งมีการแจกแจงกัมเบล และเมื่อใช้การ

แจกแจงพารามิเตอร์ทั่วไปวิเคราะห์ข้อมูลสถิติรายวัน พบว่าสำหรับข้อมูลของ PM2.5 บนตัวแปรร่วม ได้แบบจำลองที่เหมาะสมคือ $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ เมื่อ $\sigma(x) = 21.85 + 0.11(\text{PM}_{10}) + 0.31(\text{NO}_2) - 5.72(\text{CO}) - 0.17(\text{O}_3)$ และ $\xi = -0.31$ ซึ่งมีการแจกแจงแกมมา สำหรับข้อมูลของ PM10 บนตัวแปรร่วม ได้แบบจำลองที่เหมาะสมคือ $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ เมื่อ $\sigma(x) = 19.65 + 0.08(\text{PM}_{2.5}) + 0.08(\text{NO}_2) + 0.13(\text{O}_3)$ และ $\xi = -0.11$ ซึ่งมีการแจกแจงแกมมา และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลของระดับการเกิดเข้าไปประยุกต์ใช้ในการหามาตรการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของการเกิดมลพิษทางอากาศได้

คำสำคัญ: การแจกแจงค่าสุดขีดน้อยทั่วไป, การแจกแจงพารามิเตอร์ทั่วไป, มลพิษทางอากาศ

Abstract

The objective of this research is to investigate correlations of variables that affect the dust particle size not more than 2.5 microns (PM2.5) and dust particles not more than 1.0 microns (PM10), to find suitable distribution and model, and to assess the risk of air pollution in Khon Kaen city. The results showed that variables affecting to PM2.5 are PM10, NO₂, CO and O₃ and variables that affecting to PM10 are PM2.5, NO₂, and O₃. Appropriate model and distribution for monthly PM2.5 data on the covariables when using the generalized extreme distribution are $X \sim \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ where $\mu(x) = -7.01 + 0.31(\text{PM}_{10}) + 0.21(\text{NO}_2) + 9.16(\text{CO}) + 0.22(\text{O}_3)$, $\sigma = 18.24$ and $\xi = -0.11$ which is Weibull distribution. Appropriate model and distribution for monthly PM10 on the covariables when using the generalized extreme distribution are $X \sim \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ where $\mu(x) = -13.37 + 0.75(\text{PM}_{2.5}) + 0.27(\text{NO}_2) + 0.42(\text{O}_3)$, $\sigma = 24.57$ and $\xi = 0.07$ which is Gumbel distribution. Appropriate model and distribution for daily PM2.5 on the covariables when using the general Pareto distribution are $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ where $\sigma(x) = 21.85 + 0.11(\text{PM}_{10}) + 0.31(\text{NO}_2) - 5.72(\text{CO}) - 0.17(\text{O}_3)$ and $\xi = -0.31$ which is gamma distribution. Appropriate model and distribution for daily PM10 on the covariables when using the general Pareto distribution are $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ where $\sigma(x) = 19.65 + 0.08(\text{PM}_{2.5}) + 0.08(\text{NO}_2) + 0.13(\text{O}_3)$ and $\xi = -0.11$ which is gamma distribution. In addition, the relevant organizations can apply the result of the return level to find measures to prevent and solve the problem of increasing air pollution.

Keywords: generalized extreme value distribution, generalized Pareto distribution, air pollution

บทนำ

ประเทศไทยได้ประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตตัวเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น ในเขตที่มีการก่อสร้าง โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสถานการณ์คุณภาพอากาศในภาพรวมของประเทศ ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มดีขึ้น แต่ยังคงมีสารมลพิษทางอากาศที่เกินค่ามาตรฐานในหลายพื้นที่ของประเทศ ซึ่งสารมลพิษหลักที่เป็นปัญหาสำคัญ ได้แก่ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน และ 2.5 ไมครอน ก๊าซโอโซน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่มลพิษทางอากาศเกิดจากกิจกรรมการใช้พลังงานในภาคคมนาคมขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และอุตสาหกรรม ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีมลพิษทางอากาศที่ความรุนแรงมากเนื่องจากพบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ถึงระดับที่เป็นอันตรายในหลายจังหวัด โดยระบบตรวจสอบคุณภาพอากาศแสดงให้เห็นว่าระดับค่า PM2.5 เฉลี่ยต่อวันในเชียงใหม่ ขอนแก่น และ ลำปางเพิ่มขึ้นเกินระดับความปลอดภัยของประเทศไทยที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มกก./ลบ.ม.) ของอากาศ การวัดค่า PM2.5 ในจังหวัดเหล่านั้นอยู่ที่ 80.65, 64.95 และ 50 มกก./ลบ.ม. ตามลำดับ (Air pollution problems, 2019)

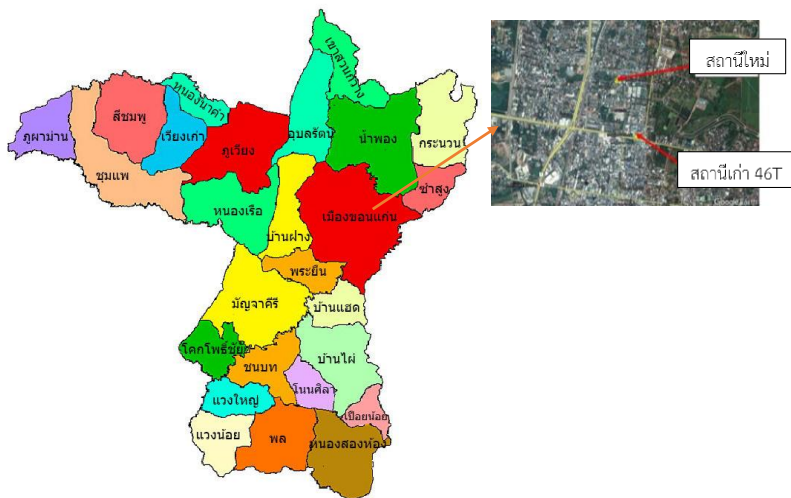
โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามลพิษทางอากาศในประเทศและต่างประเทศมีมากมาย เช่น ในปี พ.ศ. 2559 เจตสราวุฒิ ปัตตะมะ และ ธนาศักดิ์ หนู โนต (Pattattana & Nuot, 2016) ได้ศึกษาการผันแปรเชิงเวลาของโอโซนผิวพื้น สารตั้งต้นและฝุ่น กรณีสถานศึกษาเมืองขอนแก่น ซึ่งได้วิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศและอุณหภูมิ 13 ปี ที่ได้จากการควบคุมมลพิษ โดยพิจารณาเป็นสองพื้นที่ เพื่ออธิบายการผันแปรเชิงเวลาของโอโซน สารตั้งต้น และฝุ่น ที่สัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดและอุณหภูมิ และเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ในแต่ละพื้นที่ จากการศึกษพบว่า การผันแปรรายปีข้อมูลของสถานีเก่านั้น มลสารทางอากาศส่วนใหญ่ มีแนวโน้มที่ลดลง ยกเว้นโอโซนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การผันแปรรายเดือน มีความสอดคล้องกับอิทธิพลของฤดูกาล โดยลดลงในฤดูฝนและเพิ่มขึ้นในฤดูแล้ง การผันแปรรายวันตัวแปรคุณภาพอากาศ มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยในช่วงที่เป็นวันหยุด ยกเว้นโอโซน ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และในปี ค.ศ. 2019 Hazarika, S. และคณะ (Hazarika, et al, 2019) ได้ศึกษาการประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดซ้ำของความเข้มข้นสูงสุดขีด โอโซนในสภาพแวดล้อมของเมืองเคลลี โดยการวิเคราะห์ค่าสูงสุดขีดวงนัยทั่วไป โอโซนที่สูงได้กลายเป็นปัญหาร้ายแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ขนาดใหญ่ของประเทศกำลังพัฒนา ในการศึกษาครั้งนี้มีความพยายามที่จะเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของโอโซนในระดับสูงเนื่องจากสารตั้งต้นและตัวแปรทางอุณหภูมิวิทยาที่แตกต่างกันในช่วงเวลาที่กำหนดโดยใช้ทฤษฎีค่าสูงสุดขีดวงนัยทั่วไป (generalized extreme value: GEV) ความน่าจะเป็นระดับการเกิดซ้ำของความเข้มข้นของโอโซนที่รุนแรงได้ถูกประเมินสำหรับสมมติฐานที่อยู่กับทั้งแบบเสถียรภาพและแบบไม่เสถียรภาพ เนื่องจากความจริงที่ว่าอนุกรมเวลาของโอโซนมีทั้งแนวโน้มและช่วงเวลาหลายช่วงเวลา ภายใต้กรณีพารามิเตอร์คงที่และกรณีพารามิเตอร์ไม่คงที่ (ในรูปแบบฟังก์ชันของสารตั้งต้นและตัวแปรทางอุณหภูมิวิทยา ความเข้มข้นของโอโซนสูงสุดต่อวัน) พบว่าเป็นไปตามการกระจายของฟริเชทที่มีหางหนาในสภาพที่คงที่และไม่คงที่ การรวมตัวแปรร่วมเข้าไว้ในแบบจำลองจะอธิบายลักษณะของโอโซนที่แปรผันตามตัวแปรของสารตั้งต้น

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) กับตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาแบบจำลองและการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับ PM2.5 และ PM10 บนตัวแปรร่วม และประเมินความเสี่ยงของการเกิดมลพิษทางอากาศด้วยทฤษฎีค่าสุดขีด กรณีศึกษาเมืองขอนแก่น เนื่องจากจังหวัดขอนแก่นเป็นจังหวัดขนาดใหญ่และมีการขยายตัวของเมืองสูง ส่งผลให้มลพิษทางอากาศเพิ่มสูงขึ้นจากการจราจรและการขยายตัวของโครงสร้างพื้นฐานที่เพิ่มขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ข้อมูลที่ใช้และพื้นที่ที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลคุณภาพอากาศของจังหวัดขอนแก่น เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ถูกเก็บรวบรวมข้อมูลโดยกรมควบคุมมลพิษ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2552 ถึง 31 สิงหาคม 2562 ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลรายวันและข้อมูลรายเดือน (Pollution Control Department, 2019) และตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจังหวัดขอนแก่นแสดงดังภาพที่ 1 (Khon Kaen Air Quality Monitoring Station Position, 2019)



รูปที่ 1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจังหวัดขอนแก่น

2. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยในครั้งนี้มีขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมข้อมูลคุณภาพอากาศ 11 ตัวแปรของจังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2552 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม 2562 เป็นข้อมูลรายวัน โดยเก็บข้อมูลทุกวัน และข้อมูลรายเดือน
2. วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นคุณภาพอากาศรายวันและรายเดือน โดยจำแนกตามตัวแปร

3. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนและตัวแปรฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับตัวแปรต่าง ๆ

4. หาค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation: MLE) และการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับเงื่อนไขของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนบนตัวแปรร่วม และของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบนตัวแปรร่วม และตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองที่ได้ โดยการใช้วิธีเกณฑ์ข้อสนเทศของอะกะอิเกะ (Akaike's Information Criterion: AIC) โดยใช้การแจกแจงค่าสุดขั้วน้อยทั่วไปสำหรับข้อมูลรายเดือน และการแจกแจงพารโตนัยทั่วไปสำหรับข้อมูลรายวัน

5. ประเมินความเสี่ยงจากแบบจำลองที่ได้ในข้อ 4.

6. สรุปผล

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีค่าสุดขั้ว (extreme value theory)

1. วิธีบล็อกค่าสูงสุด (block maxima method) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ค่าสุดขั้วในคาบช่วงเวลาที่สนใจ เช่น รายปี รายเดือน หรือรายสัปดาห์ ซึ่งค่าสังเกตที่รวบรวมไว้ควรจะมีความมากกว่า 30 ปีขึ้นไป โดยจะเลือกข้อมูลที่สูงสุดในแต่ละช่วงเวลาที่ผู้วิจัยสนใจ ซึ่งลักษณะการเลือกข้อมูลค่าสุดขั้วดังกล่าวเรียกว่า block maxima method

ถ้าให้ X_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$ เป็นตัวแปรสุ่มที่อิสระต่อกันและมีฟังก์ชันการแจกแจงสะสม $F(x, \theta)$ แบบเดียวกัน กำหนดให้ค่าสูงสุดของตัวแปรสุ่ม คือ $X_{(n)} = \text{Max}(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ซึ่งจะประยุกต์ใช้ในรูปแบบของการแจกแจงค่าสุดขั้วน้อยทั่วไปที่มีพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ μ แทนพารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง (location parameter) σ แทนพารามิเตอร์บ่งขนาด (scale parameter) และ ξ แทนพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง (shape parameter) การแจกแจงค่าสุดขั้วน้อยทั่วไป (generalized extreme value distribution: GEV) เขียนแทนด้วย $X \sim \text{GEV}(\mu, \sigma, \xi)$ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution function: CDF) และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution function: PDF) ของ GEV ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ - \left(1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right)^{-1/\xi} \right\} \quad (1)$$

$$f(x; \mu, \sigma, \xi) = \frac{1}{\sigma} \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{(\frac{1}{\xi})-1} \exp \left\{ - \left(1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-1/\xi} \right\} \quad (2)$$

บนเงื่อนไข $\left\{ z: 1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) > 0 \right\}$ เมื่อ $-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$ และ $-\infty < \xi < \infty$

จากสมการที่ 2 ถ้า $\xi = 0$ จะเรียกการแจกแจงค่าสุดขั้วน้อยทั่วไปว่า “การแจกแจงกัมเบล (Gumbel distribution)” ถ้า $\xi > 0$ เรียกว่า “การแจกแจงฟรีเชท (Fréchet distribution)” และถ้า $\xi < 0$ เรียกว่า “การแจกแจง

ไวบูล (Weibull distribution)” และการประมาณค่าระดับการเกิดซ้ำ (return level estimation) ได้จากสมการที่ 3 (Coles, 2001; Busababodhin, 2018)

$$\hat{z}_T = \hat{\mu} + \frac{\hat{\sigma}}{\xi} \left\{ \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-\xi} - 1 \right\} \quad (3)$$

เมื่อ Z_T คือ ระดับการเกิดซ้ำ (return level) และ T คือ คาบเวลาการเกิดซ้ำ (return period)

2. วิธีเกณฑ์ (threshold methods) เป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมใช้เพื่อเลือกค่าสุดขีดที่จะนำมาวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะเลือกค่าสังเกตที่มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด หรือเรียกว่าค่าเกณฑ์กำหนด (threshold)

ถ้ากำหนดให้ y เป็นตัวแปรสุ่มของการแจกแจงโดยพารามิเตอร์ใด ๆ ซึ่งโดยปกติจะเห็นว่าเหตุการณ์ที่เกินค่าสุดขีด y ที่มีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์กำหนด หรือ u จะทำให้การแจกแจงสะสมของ $y-u$ มีเงื่อนไข คือ $y > u$ เป็นดังสมการที่ 4 และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ดังสมการที่ 5

$$H(y) = 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\sigma} \right)^{-1/\xi} \quad \text{เมื่อกำหนดให้ } y > 0 \text{ โดยที่ } \sigma = \sigma + \xi(u - \mu) \quad (4)$$

$$h(y) = 1 + \left[\xi \left(\frac{y-u}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \quad \text{เมื่อกำหนดให้ } \sigma > 0 \text{ และ } -\infty < \xi < \infty \quad (5)$$

การแจกแจงพารามิเตอร์ใด ๆ แบ่งตามพารามิเตอร์บอกรูปทรงได้ดังนี้ ถ้า $\xi \rightarrow 0$ เรียกว่า การแจกแจงพารามิเตอร์ใด ๆ ว่า “การแจกแจงเอกโปเนนเชียล” (exponential distribution) ถ้า $\xi > 0$ เรียกว่า “การแจกแจงพารेट” (Pareto distribution) และถ้า $\xi < 0$ เรียกว่า “การแจกแจงแกมมา” (gamma distribution) การแจกแจงพารามิเตอร์ใด ๆ (generalized Pareto distribution: GPD) เขียนแทนด้วย $Y \sim \text{GPD}(\sigma, \xi)$ และการประมาณค่าระดับการเกิดซ้ำ ได้จากสมการที่ 6 (Coles, 2001; Busababodhin, 2018)

$$\hat{z}_T = u + \frac{\hat{\sigma}}{\xi} \left[\left(T \eta_y \hat{\lambda}_u \right)^{\xi} - 1 \right] \quad (6)$$

เมื่อ η_y คือ จำนวนวันเฉลี่ยต่อปี และ λ_u คือ ค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าเกินเกณฑ์

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพอากาศเบื้องต้นจำแนกตามตัวแปร

สถิติพื้นฐาน ความเบ้ และความโด่งของข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันและรายเดือนจำแนกตามตัวแปรแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สถิติพื้นฐาน ความเบ้ และความโค้งของข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันจำแนกตามตัวแปร

ตัวแปร	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเบ้	ความโค้ง
ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5)	194.90	9.00	48.73	28.74	1.32	2.06
ตัวแปร	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	ความเบ้	ความโค้ง
ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10)	353.30	12.00	76.26	40.63	1.52	3.33
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	5.00	0.10	1.09	0.61	1.51	4.12
ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ppm	219.00	1.00	25.44	26.61	2.90	14.17
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO ₂) ppm	176.00	1.00	27.77	16.35	1.45	4.26
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂) ppm	38.90	0.20	2.89	2.38	4.86	45.63
ก๊าซโอโซน (O ₃) ppm	158.00	1.00	43.80	22.92	0.96	1.07
ความเร็วลม (WS) นี้อต	4.00	0.20	1.68	0.52	0.63	0.44
อุณหภูมิ (Temp) องศาเซลเซียส	32.49	20.00	32.81	7.65	30.69	1,170.60
ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เปอร์เซนต์	96.00	33.00	70.48	10.72	-0.09	-0.47

จากตารางที่ 1 พบว่า ข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันจำแนกตามตัวแปร มีค่าสูงสุดของข้อมูลอยู่ระหว่าง 4.00 ถึง 353.30 ค่าต่ำสุดอยู่ระหว่าง 0.10 ถึง 33.00 ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.09 ถึง 70.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอยู่ระหว่าง 0.52 ถึง 40.63 ความเบ้อยู่ระหว่าง -0.09 ถึง 30.69 และความโค้งอยู่ระหว่าง -0.47 ถึง 1,170.60 ซึ่งเมื่อพิจารณาความเบ้ของข้อมูลพบว่า พบว่า ข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันส่วนใหญ่มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา นั่นคือข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปร ยกเว้นตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ที่มีลักษณะของการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย นั่นคือข้อมูลของตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์รายวันมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 2 สถิติพื้นฐาน ความเบ้ และความโด่งของข้อมูลคุณภาพอากาศรายเดือนจำแนกตามตัวแปร

ตัวแปร	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเบ้	ความโด่ง
ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	194.90	25.70	94.44	37.22	0.38	-0.49
ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)	353.30	58.00	146.10	6.02	0.89	0.62
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	5.00	0.80	2.21	39.43	0.76	0.02
ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ppm	281.00	9.00	76.93	61.02	0.99	0.71
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO ₂) ppm	176.00	13.00	53.43	0.97	1.34	4.31
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂) ppm	38.90	1.50	7.50	45.76	2.96	10.71
ก๊าซโอโซน (O ₃) ppm	158.00	18.00	72.94	24.31	0.53	-0.22
ความเร็วลม (WS) นี้อต	4.00	1.70	2.76	29.62	0.03	0.20
ตัวแปร	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเบ้	ความโด่ง
อุณหภูมิ (Temp) องศาเซลเซียส	32.49	28.40	41.18	0.51	7.57	56.61
ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เปอร์เซ็นต์	96.00	60.00	84.11	8.51	-0.72	-0.38
ความกดอากาศ (AP) เฮกโตปาสกาล	1,028.00	1,008.00	1,016.00	4.64	0.21	-0.89

จากตารางที่ 2 พบว่า ข้อมูลคุณภาพอากาศรายเดือนจำแนกตามตัวแปร มีค่าสูงสุดของข้อมูลอยู่ระหว่าง 4 ถึง 1,028 ค่าต่ำสุดของข้อมูลอยู่ระหว่าง 0.80 ถึง 1,008 ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.21 ถึง 1,016 ค่าความเบ้อยู่ระหว่าง -0.72 ถึง 7.57 และค่าความโด่งอยู่ระหว่าง -0.89 ถึง 56.61 และเมื่อพิจารณาค่าความเบ้ของข้อมูลพบว่า ข้อมูลคุณภาพอากาศรายเดือนส่วนใหญ่มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา นั่นคือข้อมูลคุณภาพอากาศรายเดือนส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปร ยกเว้นตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ที่มีลักษณะของการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย นั่นคือข้อมูลของตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนและตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนกับตัวแปรต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันและรายเดือน พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀)

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซโอโซน (O₃) และตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) และก๊าซโอโซน (O₃) แสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้อมูลคุณภาพอากาศรายวัน

ตัวแปร	PM2.5	PM10	CO	NO	NO ₂	SO ₂	O ₃	WS	Temp	RH
PM2.5	1	0.88	0.47	0.24	0.54	0.21	0.58	0.04	0.11	-0.32
PM10		1	0.40	0.20	0.50	0.16	0.57	0.08	0.14	-0.30
CO			1	0.76	0.75	0.35	0.15	-0.29	-0.20	-0.25
NO				1	0.64	0.30	0.08	-0.27	-0.32	-0.00
NO ₂					1	0.33	0.30	-0.26	-0.17	-0.39
SO ₂						1	0.03	0.08	0.06	-0.16
O ₃							1	0.02	0.44	-0.52
WS								1	0.03	-0.15
Temp									1	-0.26
RH										1

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้อมูลคุณภาพอากาศรายเดือน

ตัวแปร	PM2.5	PM10	CO	NO	NO ₂	SO ₂	O ₃	WS	Temp	RH	AP
PM2.5	1	0.80	0.47	0.38	0.63	0.17	0.59	0.30	0.11	-0.43	0.14
PM10		1	0.28	0.19	0.50	0.02	0.60	0.31	0.03	-0.39	0.01
CO			1	0.74	0.69	0.24	0.17	0.13	-0.28	-0.29	0.24
NO				1	0.62	0.18	0.00	0.06	-0.46	-0.30	0.29
NO ₂					1	0.22	0.39	0.29	-0.14	-0.53	0.19
SO ₂						1	0.01	0.01	-0.14	0.01	0.02
O ₃							1	0.38	0.55	-0.29	0.00
WS								1	0.26	-0.34	0.25
Temp									1	0.01	-0.22
RH										1	0.01
AP											1

3. แบบจำลองและการแจกแจงที่เหมาะสม สำหรับเงื่อนไขของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรร่วม และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรร่วม และผลการประเมินความเสี่ยงของแบบจำลอง โดยใช้การแจกแจงค่าสุดขีดนี้ทั่วไป

3.1 แบบจำลองและการแจกแจงสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรร่วม

ค่าประมาณพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซโอโซน ค่าล่อภวะน่าจะเป็นเชิงลบน้อยที่สุด (Negative log-likelihood: NLL) และค่าเกณฑ์ข้อสนเทศของอะกะอิเกะ (Akaike's Information Criterion: AIC) แสดงในตารางที่ 5

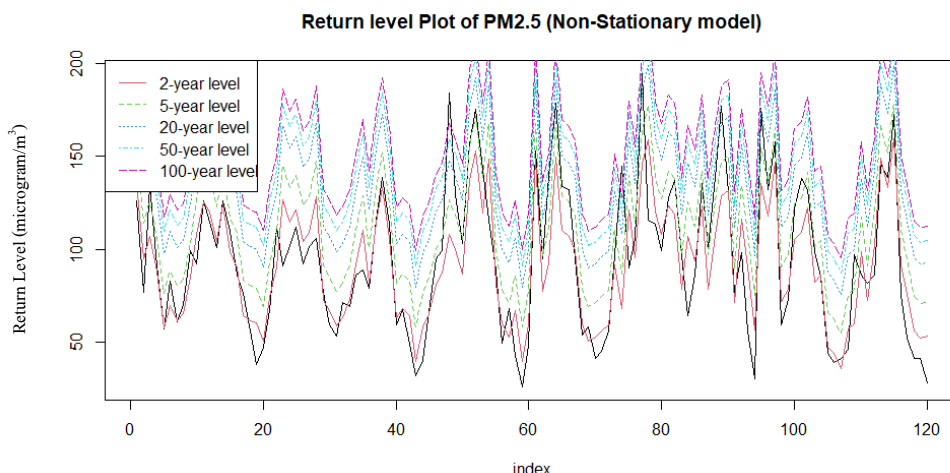
ตารางที่ 5 ค่าประมาณพารามิเตอร์ ค่า NLL และค่า AIC ของแบบจำลอง

แบบจำลอง	ค่าประมาณ			NLL	AIC
	μ	σ	ξ		
1. μ , σ และ ξ เป็นค่าคงที่	78.22	35.29	-0.14	607.94	1,221.87
2. $\mu = \beta_0 + \beta_1\text{PM}_{10} + \beta_2\text{NO}_2 + \beta_3\text{CO} + \beta_4\text{O}_3$ เมื่อ σ และ ξ เป็นค่าคงที่	$\beta_0 = -7.01$				
	$\beta_1 = 0.31$				
	$\beta_2 = 0.21$	18.24	-0.11	528.93	1,071.86
	$\beta_3 = 9.16$				
	$\beta_4 = 0.22$				

จากตารางที่ 5 พบว่า AIC ของแบบจำลองที่ 2 มีค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่ 1 ดังนั้นจะได้ว่าแบบจำลองที่ 2 เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองได้ดังนี้ $X \sim \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ เมื่อ $\mu(x) = -7.01 + 0.31(\text{PM}_{10}) + 0.21(\text{NO}_2) + 9.16(\text{CO}) + 0.22(\text{O}_3)$, $\sigma = 18.24$ และ $\xi = -0.11$ ค่าของพารามิเตอร์รูปร่าง (ξ) มีค่าเป็นลบ และมีช่วงความเชื่อมั่น 95% อยู่ในช่วง $(-0.21, -0.01)$ ซึ่งมีค่าเป็นลบตลอดช่วง ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสม คือ การแจกแจงไวบูล

3.2 การประเมินความเสี่ยงของแบบจำลอง

ความเสี่ยงสามารถประเมินได้จากค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำของแบบจำลอง ซึ่งค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และตัวแปรก๊าซโอโซน ที่ระดับการเกิดซ้ำในรอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 20, 50 และ 100 ปี แสดงดังภาพที่ 2



รูปที่ 2 กราฟระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายเดือน

จากภาพที่ 2 พบว่าระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรร่วมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้น โดยมีระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายเดือนสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปี อยู่ที่ 135.49 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี อยู่ที่ 154.20 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 20 ปี อยู่ที่ 175.30 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี อยู่ที่ 187.04 ไมครอน และรอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี อยู่ที่ 195.10 ไมครอน

3.3 แบบจำลองและการแจกแจงสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรร่วม

ค่าประมาณพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2) และก๊าซโอโซน ค่า NLL และค่า AIC แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าประมาณพารามิเตอร์ ค่า NLL และค่า AIC ของแบบจำลอง

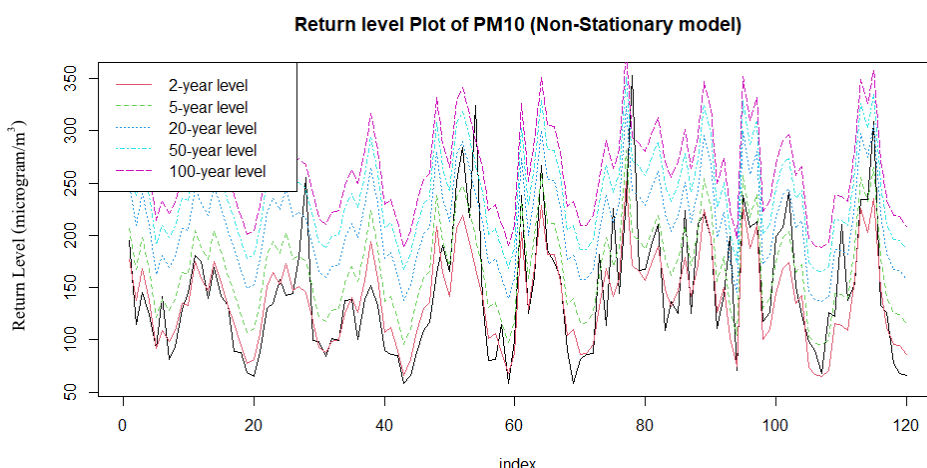
แบบจำลอง	ค่าประมาณ			NLL	AIC
	μ	σ	ξ		
1. μ , σ และ ξ เป็นค่าคงที่	117.04	45.84	0.05	652.58	1,311.16
2. $\mu = \beta_0 + \beta_1\text{PM}_{2.5} + \beta_2\text{NO}_2 + \beta_3\text{O}_3$ เมื่อ σ และ ξ เป็นค่าคงที่	$\beta_0 = 13.37$	24.57	0.07	577.48	1,166.964
	$\beta_1 = 0.75$				
	$\beta_2 = 0.27$				
	$\beta_3 = 0.42$				

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่า AIC ของแบบจำลองที่ 2 มีค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่ 1 ดังนั้นจะได้ว่าแบบจำลองที่ 2 เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองได้ดังนี้ $X \sim \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ เมื่อ $\mu(x) = 13.37 + 0.75(\text{PM}_{2.5}) + 0.27(\text{NO}_2) + 0.42(\text{O}_3)$, $\sigma = 24.57$ และ $\xi = 0.07$ เมื่อพิจารณาค่าของ

๕ พบว่ามีค่าเป็นบวก แต่เมื่อพิจารณาช่วงความเชื่อมั่น 95% ของ ๕ พบว่าอยู่ในช่วง $(-0.11, 0.25)$ ซึ่งเป็นช่วงที่คลุมศูนย์ ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสม คือ การแจกแจงกัมเบล

3.4 การประเมินความเสี่ยงของแบบจำลอง

ค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือน บนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2) และก๊าซโอโซนที่ระดับการเกิดซ้ำในรอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 20, 50 และ 100 ปี แสดงดังภาพที่ 3



รูปที่ 3 กราฟระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือน

จากภาพที่ 3 พบว่าระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรร่วมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้น โดยมีระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือนสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปี อยู่ที่ 167.26 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี อยู่ที่ 197.20 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 20 ปี อยู่ที่ 236.93 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี อยู่ที่ 262.63 ไมครอน และรอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี อยู่ที่ 282.17 ไมครอน

4. แบบจำลองและการแจกแจงที่เหมาะสม สำหรับเงื่อนไขของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายวัน บนตัวแปรร่วม และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายเดือนบนตัวแปรร่วม และผลการประเมินความเสี่ยงของแบบจำลอง โดยใช้การแจกแจงพารโตนัยทั่วไป

4.1 แบบจำลองและการแจกแจงสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายวันบนตัวแปรร่วม

ค่าประมาณพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายวันบนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซโอโซน ค่า NLL และค่า AIC แสดงในตารางที่ 7

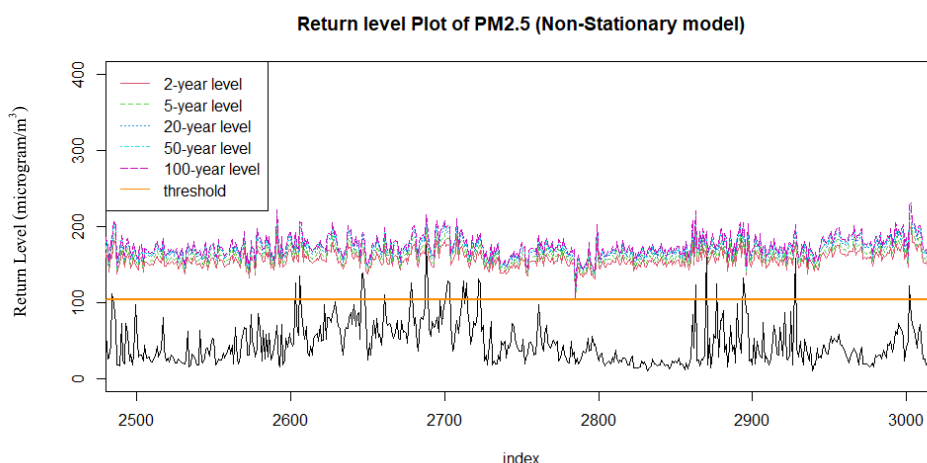
ตารางที่ 7 ค่าประมาณพารามิเตอร์ ค่า NLL และค่า AIC ของแบบจำลอง

แบบจำลอง	ค่าประมาณ		NLL	AIC
	σ	ξ		
1. σ และ ξ เป็นค่าคงที่	30.50	-0.25	749.69	1,503.38
2. $\sigma = \beta_0 + \beta_1 \text{PM}_{10} + \beta_2 \text{NO}_2 + \beta_3 \text{CO} + \beta_4 \text{O}_3$ เมื่อ ξ เป็นค่าคงที่	$\beta_0 = 21.85$	-0.31	737.09	1,486.19
	$\beta_1 = 0.11$			
	$\beta_2 = 0.31$			
	$\beta_3 = -5.72$			
	$\beta_4 = -0.17$			

จากตารางที่ 7 พบว่า ค่า AIC ของแบบจำลองที่ 2 มีค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่ 1 ดังนั้นจะได้ว่าแบบจำลองที่ 2 เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองได้ดังนี้ $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ เมื่อ $\sigma(x) = 21.85 + 0.11(\text{PM}_{10}) + 0.31(\text{NO}_2) - 5.72(\text{CO}) - 0.17(\text{O}_3)$ และ $\xi = -0.31$ เมื่อพิจารณาค่าของ ξ พบว่ามีค่าเป็นลบ และมีช่วงความเชื่อมั่น 95% อยู่ในช่วง $(-0.37, -0.26)$ ซึ่งมีค่าเป็นลบตลอดช่วง ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสม คือ การแจกแจงแกมมา

4.2 การประเมินความเสี่ยงของแบบจำลอง

ค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายวันบนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และตัวแปรก๊าซโอโซนที่ระดับการเกิดซ้ำในรอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 20, 50 และ 100 ปี แสดงดังภาพที่ 4



รูปที่ 4 กราฟระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายวัน

4.3 แบบจำลองและการแจกแจงสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายวันบนตัวแปรร่วม

ค่าประมาณพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายวันบนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) และก๊าซโอโซน ค่า NLL และค่า AIC แสดงในตารางที่ 8

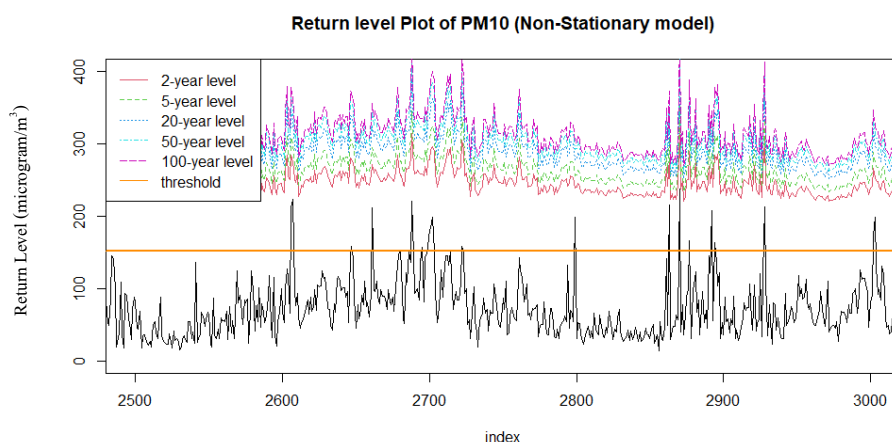
ตารางที่ 8 ค่าประมาณพารามิเตอร์ ค่า NLL และค่า AIC ของแบบจำลอง

แบบจำลอง	ค่าประมาณ		NLL	AIC
	σ	ξ		
1. σ และ ξ เป็นค่าคงที่	45.29	-0.15	849.36	1,702.72
2. $\sigma = \beta_0 + \beta_1 \text{PM}_{2.5} + \beta_2 \text{NO}_2 + \beta_3 \text{O}_3$ เมื่อ ξ เป็นค่าคงที่	$\beta_0 = 19.65$	-0.11	845.90	1,701.80
	$\beta_1 = 0.08$			
	$\beta_2 = 0.08$			
	$\beta_3 = 0.13$			

จากตารางที่ 8 พบว่า ค่า AIC ของแบบจำลองที่ 2 มีค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่ 1 ดังนั้นจะได้ว่าแบบจำลองที่ 2 เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองได้ดังนี้ $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ เมื่อ $\sigma(x) = 19.65 + 0.08(\text{PM}_{2.5}) + 0.08(\text{NO}_2) + 0.13(\text{O}_3)$ และ $\xi = -0.11$ เมื่อพิจารณาค่าของ ξ พบว่ามีค่าเป็นลบและเมื่อพิจารณาช่วงความเชื่อมั่น 95% ของ ξ พบว่าอยู่ในช่วง (-0.21, -0.01) ซึ่งมีค่าเป็นลบตลอดช่วง ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสม คือ การแจกแจงแกมมา

4.4 การประเมินความเสี่ยงของแบบจำลอง

ค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำของแบบจำลองสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายวันบนตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) และก๊าซโอโซนที่ระดับการเกิดซ้ำในรอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 20, 50 และ 100 ปี แสดงดังภาพที่ 5



รูปที่ 5 กราฟระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนรายวัน

จากภาพที่ 5 พบว่าระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนรายวันบนตัวแปร
ร่วมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้น โดยมีระดับการเกิดซ้ำของการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
รายวันสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปี อยู่ที่ 229.30 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี อยู่ที่ 244.42 ไมครอน รอบปีการ
เกิดซ้ำ 20 ปี อยู่ที่ 264.56 ไมครอน รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี อยู่ที่ 276.26 ไมครอน และรอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี อยู่ที่
284.35 ไมครอน

สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) และ
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) กับตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาแบบจำลองและการแจกแจงที่เหมาะสม
สำหรับ PM2.5 และ PM10 บนตัวแปรร่วม และประเมินความเสี่ยงของการเกิดมลพิษทางอากาศด้วยทฤษฎีค่าสุดขีด
กรณีศึกษาเมืองขอนแก่น ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อ PM2.5 คือ PM10 NO₂ CO และ O₃
ส่วนตัวแปรที่สัมพันธ์กับ PM10 คือ PM2.5 NO₂ และ O₃ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลรายเดือนของ PM2.5 บนตัว
แปรร่วม ด้วยการแจกแจงค่าสุดขีดยุติทั่วไป พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมคือ $X \sim \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ เมื่อ
 $\mu(x) = -7.01 + 0.31(\text{PM10}) + 0.21(\text{NO}_2) + 9.16(\text{CO}) + 0.22(\text{O}_3)$, $\sigma = 18.24$ และ $\xi = -0.11$ ซึ่งมีการแจกแจงไวบูล
สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลรายเดือนของ PM10 บนตัวแปรร่วม ด้วยการแจกแจงค่าสุดขีดยุติทั่วไป พบว่า
แบบจำลองที่เหมาะสมคือ $X \sim \text{GEV}(\mu(x), \sigma, \xi)$ เมื่อ $\mu(x) = -13.37 + 0.75(\text{PM2.5}) + 0.27(\text{NO}_2) + 0.42(\text{O}_3)$,
 $\sigma = 24.57$ และ $\xi = 0.07$ ซึ่งมีการแจกแจงแกมมา สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลรายวันของ PM2.5 บนตัวแปรร่วม
ด้วยการแจกแจงพาราโตนิยทั่วไป พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมคือ $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ เมื่อ $\sigma(x) =$
 $21.85 + 0.11(\text{PM10}) + 0.31(\text{NO}_2) - 5.72(\text{CO}) - 0.17(\text{O}_3)$ และ $\xi = -0.31$ ซึ่งมีการแจกแจงแกมมา และสำหรับการ
วิเคราะห์ข้อมูลรายวันของ PM10 บนตัวแปรร่วม ด้วยการแจกแจงพาราโตนิยทั่วไป พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมคือ
 $X \sim \text{GPD}(\sigma(x), \xi)$ เมื่อ $\sigma(x) = 19.65 + 0.08(\text{PM2.5}) + 0.08(\text{NO}_2) + 0.13(\text{O}_3)$ และ $\xi = -0.11$ ซึ่งมีการแจกแจง
แกมมา และเมื่อพิจารณาระดับการเกิดซ้ำ พบว่าระดับการเกิดซ้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้น จาก
ผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดมลพิษทางอากาศ กรณีศึกษาเมืองขอนแก่นในครั้งนี้มีความ
สอดคล้องกับงานวิจัยในปี ค.ศ. 2012 ของ S. Zhou และ คณะ ที่ได้ศึกษาเหตุการณ์มลพิษทางอากาศรุนแรงโดยการ
สร้างแบบจำลองและการทำนายด้วยการวิเคราะห์การแจกแจงพาราโตนิยทั่วไป ในการประเมินความเสี่ยง ผลสรุปที่
ได้คือ การทำนายระดับการเกิดซ้ำสอดคล้องกับรอบระยะเวลาการเกิดซ้ำที่แตกต่างกัน ระดับการเกิดซ้ำที่คาดการณ์
ไว้ชี้ให้เห็นว่าความรุนแรงของเหตุการณ์มลพิษทางอากาศ PM10 และ SO₂ จะรุนแรงขึ้นในอนาคต ดังนั้นจาก
ผลการวิจัยที่ได้ รัฐบาล หน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องควรหามาตรการหรือวิธีการในการป้องกันและ
แก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของการเกิดมลพิษทางอากาศ อีกทั้งควรมีการควบคุมการเผา และส่งเสริมให้มี
การใช้รถสาธารณะให้มากขึ้น เพื่อลดการเกิดมลพิษทางอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษและกรมอุตุนิยมวิทยาที่อนุเคราะห์ข้อมูลคุณภาพอากาศ และภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Air pollution problems, (2019). Retrieved October 3, 2019, from <http://www.greenpeace.org/seasia/en/campaigns/UrbanRevolution/Air Pollution/Right-To-Clean-Air/City-ranking/2017/>.
- Busababodhin, P. (2018). *Extreme value analysis*. Maha Sarakham Rajabhat University Press, Maha Sarakham.
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer-Verlag London, London.
- Hazarika, S., Borah, P. and Prakash, A. (2019). The assessment of return probability of maximum ozone concentrations in an urban environment of Delhi: A Generalized Extreme Value analysis approach. *Atmospheric Environment*, 202, 53-63.
- Khon Kaen Air Quality Monitoring Station Position (2019). Retrieved October 3, 2019, from <http://www.google.com/earth/>.
- Kütchenhoff, H., Thamerus, M. (1996). Extreme value analysis of Munich air pollution data. *Environ Ecol Stat*, 3, 127-141.
- Pattattana, J. and Nuot, T. (2016). Time Variation of Surface Ozone, Substrate and Dust: A Case Study of Khon Kaen City. Maha Sarakham. (in Thai)
- Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2019). Retrieved October 3, 2019, from http://www.pcd.go.th/info-serv/air_dust.htm.
- Turnbull, K. (2016). *Extreme Weather Events*. Retrieved October 25, 2019, from <https://kturnbullblog.wordpress.com>.
- Zhou, S., Deng, Q. & Liu, W. (2012). Extreme air pollution events: Modeling and prediction. *J. Cent. South Univ. Technol.* 19, 1668-1672.