

การพยากรณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จังหวัดนครราชสีมา**Forecasting the amount of particulate matter having a diameter of less than 2.5 micrometers****(PM_{2.5}) in Nakhon Ratchasima province**

อินทจักร สุขเกษม

Inchat Sukkasem

สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 นครราชสีมา

The Office of Disease Prevention and Control 9, Nakhon Ratchasima Province

Correspondence to: E-mail: inchat_09@hotmail.com

(Article submitted: August 17, 2020; Final version accepted: December 1, 2020)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสถานการณ์ PM_{2.5} และหาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง และข้อมูลเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} ของเขตเทศบาลนครนครราชสีมา และศึกษาสถานการณ์โรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ด้วยวิธีการระบาดวิทยาเชิงพรรณนา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมงของสถานีตรวจวัดอากาศที่สถานีสูบน้ำประตูลำสน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ข้อมูลตั้งแต่สถานีเริ่มทำการตรวจวัดวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563 และข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} จากฐานข้อมูลการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา (รายงาน 506) และระบบฐานข้อมูลสุขภาพ (Health Data Center กระทรวงสาธารณสุข) รวม 7 โรค ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563 วิธีการหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการพยากรณ์แบบทำให้เรียบ และเทคนิคการพยากรณ์ของบอกรี-เจนกินส์ ส่วนการศึกษาก่อนการเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ใช้สถิติเชิงพรรณนา ค่าสถิติที่ใช้คือ สัดส่วน อัตราส่วน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด และการวัดความสัมพันธ์ ค่าสถิติที่ใช้คือ Incidence rate และ Incidence rate ratio ผลการวิจัย พบว่า เทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ เทคนิคการพยากรณ์ของบอกรี-เจนกินส์ การพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมงช่วงระยะเวลาที่พยากรณ์ได้ความแม่นยำไม่เกิน 48 ชั่วโมง ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ARIMA(1, 1, 1)(1, 1, 1) การพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงระยะเวลาที่พยากรณ์ได้ความแม่นยำไม่เกิน 31 วัน ตัวแบบที่เหมาะสม คือ ARIMA (0, 1, 3) และจากการศึกษาสถานการณ์ปริมาณ PM_{2.5} และสถานการณ์โรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} พบว่า การสัมผัส PM_{2.5} ในช่วงเวลาที่ระดับ PM_{2.5} เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอักเสบ โรคไข้หวัดใหญ่ และโรคระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: การพยากรณ์, ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน, การวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Abstract

This research aimed to study the PM_{2.5} situation. Finding a suitable hourly PM_{2.5} forecasting model and an average 24-hours model to predict the quantitative of PM_{2.5} in Nakhon Ratchasima Municipality. Besides, the study purposed to do the disease surveillance situation from PM_{2.5} in Muang District, Nakhon Ratchasima Province by using descriptive epidemiological methods. The samples consisted of the data of PM_{2.5} per hour of the measuring station at Pratu Phon Saen pumping station, Mueang District, Nakhon Ratchasima Province. The data were collected between 28 June 2019 and 30 June 2020. Moreover, the number of patients with surveillance diseases from PM_{2.5} from the epidemiological surveillance database of Nakhon Ratchasima Provincial Public Health Office (Report 506)

was used. And also, the data of Health Data Center, Ministry of Public Health that included 7 diseases from 1 June 2019 to 30 June 2020 were analyzed. Methods for finding suitable forecasting models were done by comparing smoothing forecasting techniques and Box-Jenkins forecasting techniques. The descriptive statistics were used to study the surveillance disease situation from $PM_{2.5}$ in Muang District, Nakhon Ratchasima Province. The proportion, ratio, minimum and maximum values were used. The correlation was measured by using the incidence rate and the incidence rate ratio. The results revealed that the most suitable forecasting technique was the Box-Jenkins prediction technique. An hourly $PM_{2.5}$ forecasting model had the forecast period with an accuracy of up to 48 hours using the ARIMA (1, 1, 1) (1, 1, 1) model. The 24-hour average $PM_{2.5}$ forecasting model had the forecast period with an accuracy of up to 31 days with the ARIMA (0, 1, 3) model. The study found that exposure to $PM_{2.5}$ at level beginning that affected health having a risk of pneumonia, influenza, and other respiratory diseases at statistically significant.

Keywords: Forecasting, $PM_{2.5}$, Time-series analysis

บทนำ

ปัญหามลพิษทางอากาศเป็นหนึ่งในความท้าทายเร่งด่วนของโลกที่กำลังเผชิญอยู่ขณะนี้ คาดการณ์ว่ามลพิษทางอากาศมีส่วนต่อการตายก่อนวัยอันควร 7 ล้านคนต่อปีเป็นสาเหตุอันดับ 4 ของการตายก่อนวัยอันควรของโลก ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ถูกพิจารณาว่าเป็นสารมลพิษที่มีผลกระทบกับสุขภาพมากที่สุดในการบรรดามลพิษทางอากาศโดยทั่วไป⁽¹⁾ และพบว่าเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้อุบัติการณ์ของโรคต่าง ๆ สูงขึ้น ได้แก่ โรคหอบหืดเรื้อรัง (COPD) โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) โรคหัวใจขาดเลือดเฉียบพลัน (Acute coronary disease) โรคมะเร็งปอด (Lung cancer) และโรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจ (Acute respiratory infection) เป็นต้น⁽²⁾

จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติ กรมควบคุมมลพิษจำนวน 64 สถานีใน 34 จังหวัด พบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2560-2562 สถานการณ์ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงเกิน ค่ามาตรฐานที่ระดับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.)⁽³⁾ ในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมจนถึงเดือนมีนาคม เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดมลพิษเพิ่มมากขึ้น⁽⁴⁾ พื้นที่เสี่ยงที่มีปัญหา $PM_{2.5}$ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เมืองใหญ่ที่มีการจราจรหรือบรรทุกขนส่งหนาแน่น เช่น กรุงเทพมหานคร นครราชสีมา ขอนแก่น และพื้นที่ที่มีการเผาในที่โล่ง เช่น พื้นที่จังหวัดทางภาคเหนือ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดขอนแก่น และพื้นที่เขตอุตสาหกรรม เช่น จังหวัดสระบุรี⁽³⁾

การเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพและสถานการณ์ $PM_{2.5}$ อย่างต่อเนื่องมีความสำคัญมากในโลกการเปิดศูนย์ปฏิบัติการด้านการแพทย์และสาธารณสุข กรณี $PM_{2.5}$ อยู่ในระดับที่เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ ($PM_{2.5} \geq 76$ มคก./ลบ.ม. ติดต่อกัน 3 วัน) โดยสามารถติดตามสถานการณ์ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมงแบบเรียลไทม์ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติ กรมควบคุมมลพิษ ข้อมูลจะถูกเก็บบันทึกไว้เป็นข้อมูลที่มีลักษณะอนุกรมเวลาที่สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณ $PM_{2.5}$ ในอนาคตได้ และสามารถนำค่าพยากรณ์ที่ได้ มาใช้ในการประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์ร่วมกับข้อมูลสถานการณ์ $PM_{2.5}$ และข้อมูลสถานการณ์โรคเฝ้าระวังจาก $PM_{2.5}$ เสนอข้อพิจารณาเพื่อตัดสินใจระดับหรือลดระดับการดำเนินงานของศูนย์ปฏิบัติการด้านการแพทย์และสาธารณสุข⁽⁵⁾ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งที่จะศึกษาตัวแบบการพยากรณ์เพื่อหาโมเดลการพยากรณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำโดยใช้การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series analysis) เพื่อนำตัวแบบที่ได้มาหาค่าพยากรณ์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัย เพื่อพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} ต่อการเกิดโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะของการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อศึกษาสถานการณ์ PM_{2.5} และหาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมงและข้อมูลเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} ของเขตเทศบาลนครนครราชสีมา
2. เพื่อศึกษาสถานการณ์โรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ด้วยวิธีการระบาดวิทยาเชิงพรรณนา

รูปแบบการศึกษา ได้แก่ การวิจัยเชิงสังเคราะห์ โดยดำเนินการวิจัย 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสถานการณ์ PM_{2.5} เขตเทศบาลจังหวัดนครราชสีมา การหาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมงและรายวัน และพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมงและรายวัน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ ข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมงของสถานีตรวจวัดสถานีสูบน้ำประตูล้าน ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ข้อมูลตั้งแต่สถานีเริ่มทำการตรวจวัดวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563 เก็บรวบรวมข้อมูลโดยส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูลไปยังกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม IBM SPSS Statistics 26 วิธีดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการสร้างแฟ้มเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล นำข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง และจัดการกับการขาดหายของข้อมูลรายชั่วโมง โดยนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบโค้งปกติหรือไม่ ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบโค้งปกติจะใช้ค่าเฉลี่ยแทนค่าข้อมูลที่ขาดหายไป แต่ถ้าข้อมูลดังกล่าวไม่มีการแจกแจงแบบโค้งปกติจะใช้ค่าเท่ากับค่าข้อมูลที่อยู่ใกล้เคียงกับค่าข้อมูลที่ขาดหายไปเป็นข้อมูลชุดที่ 1 ข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง มาหาค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเป็นข้อมูลชุดที่ 2 ข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ยรายวัน นำกลุ่มตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์สถานการณ์ PM_{2.5} โดยโปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ค่าสถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด การหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม และการพยากรณ์ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 26 เลือกเทคนิคการพยากรณ์ ดังนี้

1.1 เทคนิคการพยากรณ์แบบทำให้เรียบ (Smoothing Technique)⁽⁶⁾ เลือกตัวแบบที่เหมาะสมตามลักษณะของข้อมูลอนุกรมเวลา 1) ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีความโน้มและไม่มีฤดูกาล ใช้วิธีปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Simple or single exponential smoothing method) ค่าพยากรณ์จะใช้ค่าสังเกตที่ผ่านมาทั้งหมด โดยน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตแต่ละค่าไม่เท่ากัน น้ำหนักที่ให้กับค่าที่เกิดขึ้นล่าสุดจะมากและลดหลั่นไปสำหรับค่าสังเกตที่อยู่ห่างออกไป น้ำหนักจะเป็นค่าเท่าไรขึ้นอยู่กับค่าปรับน้ำหนักเป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 รูปแบบสมการ คือ $\hat{Y}_t = \alpha \sum_{s=0}^{t-1} (1-\alpha)^s Y_{t-s}$ เมื่อ $\hat{Y}_t$ คือข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ Y_{t-s} คือข้อมูลจริงในช่วงเวลาที่ $t-s$, α คือค่าปรับน้ำหนัก $0 < \alpha \leq 1$ 2) ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความโน้มแต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กโปเนนเชียลแบบ Holt (Holt's linear trend) จะใช้กับอนุกรมเวลาที่มีความโน้มเป็นเส้นตรง น้ำหนักที่ให้กับค่าปรับน้ำหนักหรือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 รูปแบบสมการ คือ $\hat{Y}_{t+n} = \left(2 + \frac{\alpha n}{1-\alpha}\right) S_t - \left(1 + \frac{\alpha n}{1-\alpha}\right) D_t$ เมื่อ $S_t = \alpha Y_t + (1-\alpha) S_{t-1}$, $D_t = \alpha S_t + (1-\alpha) D_{t-1}$, $\hat{Y}_{t+n}$ คือ ข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ในช่วงเวลาที่ $t+n$, n คือ ช่วงเวลาการพยากรณ์ Y_t คือ ข้อมูลจริงในช่วงเวลา t , α คือ ค่าปรับน้ำหนัก $0 < \alpha \leq 1$ 3) ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล (Simple seasonal) ใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กโปเนนเชียลแบบ Holt และ Winters (Holt – Winters exponential smoothing method) แบบมีผลกระทบของฤดูกาลแต่ตัดปัจจัยฤดูกาลออกไป 4) ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความโน้มแบบเส้นตรงและมีอิทธิพลของฤดูกาล ใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กโปเนนเชียลแบบ Holt และ Winters (Holt – Winters exponential smoothing method) แบบมีผลกระทบของฤดูกาลมีค่าปรับน้ำหนัก 3 ค่าสำหรับค่าคงที่ (จุดตัดแกน) ค่าความโน้ม

(Trend) และค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 มีรูปแบบบวก (Winters' additive) รูปแบบสมการ คือ $\hat{Y}_{t+n} = a + bn + c_{t+n-s}$ และรูปแบบคูณ (Winters' multiplicative) รูปแบบสมการ คือ $\hat{Y}_{t+n} = (a + bn)c_{t+n-s}$ เมื่อ $\hat{Y}_{t+n}$ คือ ข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ในช่วงเวลาที่ $t+n$, n คือ ช่วงเวลาการพยากรณ์, Y_t คือ ข้อมูลจริงในช่วงเวลา t , a คือ ส่วนค่าคงที่, b คือ ปัจจัยทางแนวโน้ม, c_t คือ ปัจจัยทางฤดูกาล s คือ เป็นค่าที่ใช้แทนฤดูกาล, α, β, γ คือ ค่าปรับน้ำหนัก $0 < \alpha, \beta, \gamma < 1$

1.2 เทคนิคการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins) รูปแบบ ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) ⁽⁷⁾ มีขั้นตอน ดังนี้ 1) ตรวจสอบข้อมูลว่ามีแนวโน้ม ฤดูกาล ความแปรปรวนคงที่หรือไม่ ถ้าไม่คงที่แสดงว่าไม่เสถียร (Non stationary) ต้องปรับข้อมูลให้เสถียรก่อน 2) เมื่อข้อมูลเสถียรแล้วให้กำหนดรูปแบบโดยพิจารณาฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) พิจารณาจากคอเรโลแกรม (correlogram) 3) ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์จากรูปแบบที่กำหนด ตรวจสอบนัยสำคัญทางสถิติ และความคลาดเคลื่อนจากรูปแบบที่กำหนด ถ้ามีปัญหาต้องทำการกำหนดรูปแบบใหม่

2. การตรวจสอบความแม่นยำของสมการพยากรณ์ที่ได้จากเทคนิคการพยากรณ์แบบทำให้เรียบ และเทคนิคการหาตัวแบบพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ใช้ค่าสถิติ ดังนี้ 1) ค่าสถิติ Ljung-Box Q ใช้ตรวจสอบความเหมาะสม ถ้าตัวแบบที่ได้เลือกไว้มีความเหมาะสม ค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 2) ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) เป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสัมบูรณ์ ระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริง หากค่า MAE มีค่าน้อย แสดงว่า ค่าพยากรณ์สามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ($MAE = \frac{\sum | \text{ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์} |}{n}$) 3) ค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) เป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสัมบูรณ์ ระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงแล้วทำให้เป็นค่าร้อยละ หากค่า MAPE มีค่าน้อย แสดงว่าค่าพยากรณ์สามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ($MAPE = \frac{\sum | \frac{\text{ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์}}{\text{ค่าจริง}} |}{n}$)

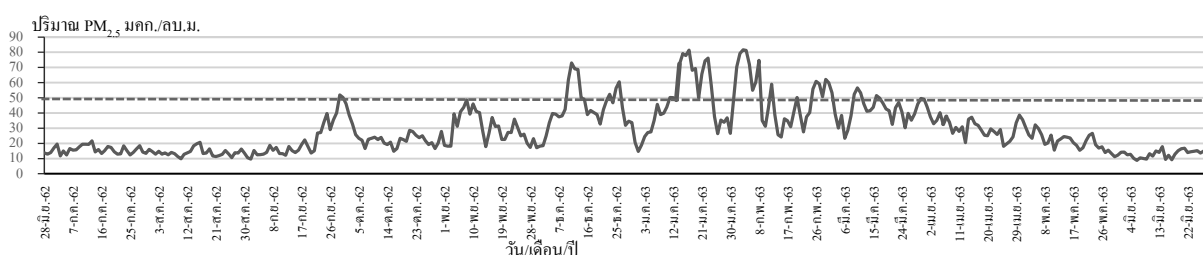
3. ทำการพยากรณ์ค่าในอนาคตจากสมการที่สร้างขึ้นจากรูปแบบที่กำหนดซึ่งได้ประมาณค่าพารามิเตอร์และผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาสถานการณ์โรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อกำหนดกลุ่มโรคที่เป็นตัวบ่งชี้ด้านสุขภาพในการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} จากฐานข้อมูลการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา (รายงาน 506) จำนวน 2 โรค ได้แก่ โรคปอดอักเสบ (Pneumonia; ICD-10: J12, J13, J14, J15, J16, J18) และโรคไข้หวัดใหญ่ (Influenza; ICD-10: J10, J11) และระบบฐานข้อมูลสุขภาพ (Health Data Center กระทรวงสาธารณสุข) 5 โรค ได้แก่ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease; รหัส ICD-10: J44) โรคหอบหืด (Asthma; ICD-10: J45 ร่วมกับ Y96) โรคหลอดเลือดในสมอง (ICD-10: I60-I69) โรคหัวใจขาดเลือด (ICD-10: I20-I25) และโรคระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ (ICD-10: J00-J39, J60-J99) ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563 โดยส่งหนังสือขออนุญาตใช้ข้อมูลไปยังสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการสร้างแฟ้มเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลผู้ป่วยโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ค่าสถิติที่ใช้ คือ สัดส่วน อัตราส่วน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด และการวัดความสัมพันธ์ ค่าสถิติที่ใช้ คือ Incidence rate ที่คำนวณจากจำนวนผู้ป่วยในช่วงเวลาหนึ่งหารด้วยผลรวมของเวลาที่ติดตามประชากร กลุ่มเสี่ยง แล้วนำมาหา Incidence rate ratio เพื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อการเกิดโรคระหว่างกลุ่มผู้มีปัจจัยกับผู้ที่ไม่มีปัจจัย โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม Epi Info version 7.2

ผลการศึกษา

สถานการณ์ PM_{2.5} จากการวิเคราะห์ข้อมูลของสถานีสูบน้ำประตูล้าน ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมาจำนวน 1 สถานีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562 – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563 (สถานีเริ่มทำการตรวจวัดเมื่อวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562) จำนวน 396 วัน รวม 8,827 ชั่วโมง แสดงตามรูปที่ 1 ปริมาณ PM_{2.5} ที่วัดได้ต่ำสุดวันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2563 เวลา 03.00 น. เท่ากับ 3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) สูงสุด 193 มคก./ลบ.ม. วันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2562 เวลา 20.00 น. ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่ำสุดเท่ากับ 8.78 มคก./ลบ.ม. สูงสุดเท่ากับ 81.67 มคก./ลบ.ม. จำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐาน เท่ากับ 42 วัน (ร้อยละ 4.15) ค่ามาตรฐานในบรรยากาศทั่วไปของ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ประเทศไทยเท่ากับ 50 มคก./ลบ.ม. ⁽⁸⁾

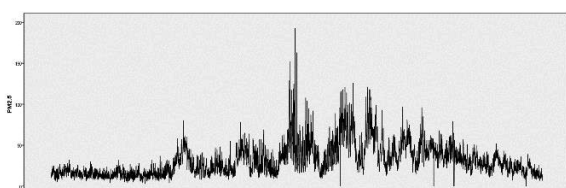


รูปที่ 1 ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เขตเทศบาลนครนครราชสีมา ระหว่างวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563

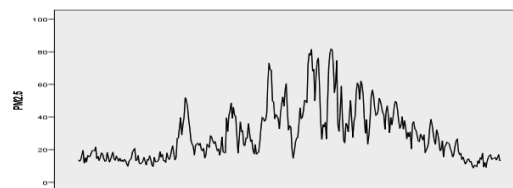
ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ยรายเดือนสูงสุด ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (50.25 มคก./ลบ.ม.) รองลงมา ได้แก่ เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 (47.82 มคก./ลบ.ม.) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 (42.79 มคก./ลบ.ม.) และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 (42.73 มคก./ลบ.ม.) ตามลำดับ เดือนที่มีปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ระดับเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ ปริมาณตั้งแต่ 51 มคก./ลบ.ม.ขึ้นไปเป็นเวลาติดต่อกันตั้งแต่ 3 วันขึ้นไป ⁽⁵⁾ ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (ติดต่อกันสูงสุด 8 วัน) เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 (ติดต่อกันสูงสุด 6 วัน) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 (ติดต่อกันสูงสุด 4 วัน) และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 (ติดต่อกันสูงสุด 3 วัน)

ผลการหาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} และการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5}

การหาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} และการพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง จำนวน 8,856 ค่า พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบโค้งไม่ปกติโดยข้อมูลเบ้ซ้าย พิจารณาจากค่าสถิติ Z มีค่าความเบ้และความโด่งเท่ากับ 9.811 และ 16.238 ซึ่งอยู่นอกช่วง -1.96 ถึง + 1.96 และค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov มีค่า $\alpha < 0.05$ ข้อมูลที่ขาดหายไปจำนวน 29 ค่า พิจารณาใช้ค่าข้อมูลที่อยู่ใกล้เคียงกับค่าข้อมูลที่ขาดหาย ส่วนชุดข้อมูลชุดที่ 2 ข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง หาได้จากการนำข้อมูลชุดที่ 1 มาหาค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ได้จำนวน 396 ค่า นำชุดข้อมูลที่ได้ทั้งสองชุดมาสร้างกราฟเพื่อดูลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของข้อมูล แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 ลักษณะเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของ ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง

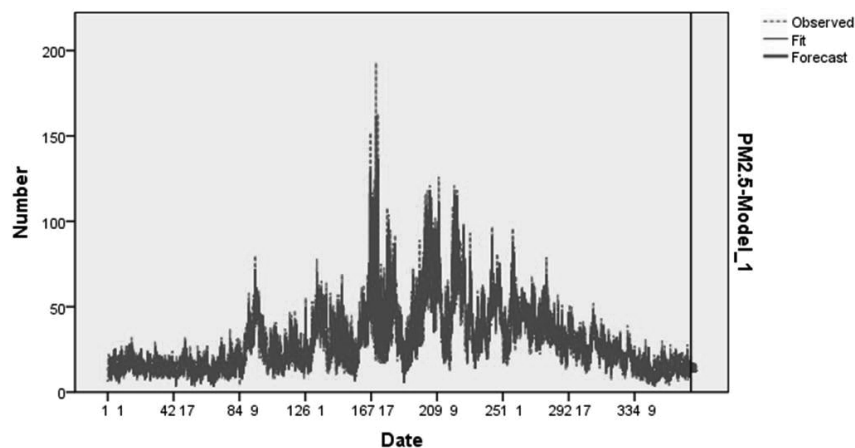


รูปที่ 3 ลักษณะเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของข้อมูล ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ผลการเลือกตัวแบบที่เหมาะสมพิจารณาจากรูปที่ 2 และจากกราฟ ACF และ PACF แสดงดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 ค่าสถิติของตัวแบบการพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 1 ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง ข้อมูลระหว่างวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563

ตัวแบบการพยากรณ์	ค่าสถิติ Ljung-Box Q	MAE	MAPE
เทคนิคการพยากรณ์แบบทำให้เรียบ			
Simple Seasonal	0.00	6.10	33.59
Winters' Additive	0.00	6.16	34.21
Winters' Multiplicative	0.00	5.70	32.06
เทคนิคการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์			
ARIMA (1, 1, 1) (1, 1, 1)	0.117	2.90	28.42
ARIMA (1, 1, 1) (1, 1, 1)	0.094	3	29.29

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติพบว่า ตัวแบบที่มีความเหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 1 คือ ตัวแบบ ARIMA (1, 1, 1)(1, 1, 1) และพบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความสามารถในการพยากรณ์ค่าอนาคตที่มีความแม่นยำได้ไม่เกิน 48 ชั่วโมง การพยากรณ์จากตัวแบบดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 4

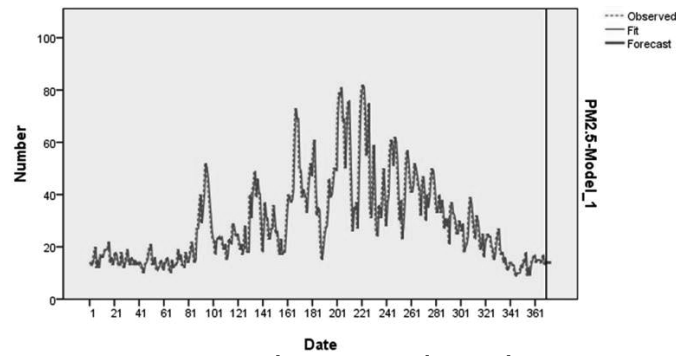


รูปที่ 4 อนุกรมเวลาและค่าพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 1 PM_{2.5} รายชั่วโมง ด้วยตัวแบบ ARIMA (1, 1, 1) (1, 1, 1) ค่าพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} รายชั่วโมง ที่ได้ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง อยู่ระหว่าง 12-19 มคก./ลบ.ม. ผลการเลือกตัวแบบพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 2 (รูปที่ 3) ค่าสถิติที่ได้ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสถิติของตัวแบบการพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 2 ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ข้อมูลระหว่างวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563

ตัวแบบการพยากรณ์	ค่าสถิติ Ljung-Box Q	MAE	MAPE
เทคนิคการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์			
ARIMA (0, 1, 3)	0.264	2.23	17.30

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติพบว่าตัวแบบที่มีความเหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 2 คือ ตัวแบบ ARIMA (0, 1, 3) และพบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความสามารถในการพยากรณ์ค่าอนาคตที่มีความแม่นยำได้ไม่เกิน 31 วัน การพยากรณ์จากตัวแบบดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อนุกรมเวลาและค่าพยากรณ์ของข้อมูลชุดที่ 2 PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ด้วยตัวแบบ ARIMA (0, 1, 3) ค่าพยากรณ์ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ได้ในช่วงเวลา 31 วัน อยู่ระหว่าง 14 – 17 มคก./ลบ.ม. ผลการศึกษาด้านการโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} ของอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา รายละเอียดดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 จำนวนผู้ป่วย และอัตราป่วยโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} ระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

โรคเฝ้าระวังจาก PM _{2.5}	จำนวนผู้ป่วยรายใหม่ (ต่ำสุด (เดือน), สูงสุด (เดือน)) (ราย)	อุบัติการณ์ (ต่อ ประชากร แสนคน)	จำนวนผู้ป่วยในเดือนที่มีปริมาณ PM _{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่ระดับเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ (ราย)	จำนวนผู้ป่วย ในช่วงมีปริมาณ PM _{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่ระดับปกติ (ราย)
โรคปอดอักเสบ	991 (25 _(มิ.ย.63) , 129 _(มิ.ย.63))	214.55	387	605
โรคไข้หวัดใหญ่	6,112 (8 _(มิ.ย.63) , 1,254 _(มิ.ย.63))	1,321.36	2,575	3,537
โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง	26 (0 _(ก.ค.-ค.ค.62) , 4 _(ค.ค.62))	5.61	9	17
โรคหอบหืด	3	0.87	ไม่ได้ระบุ	ไม่ได้ระบุ
โรคหลอดเลือดสมอง	208 (7 _(มิ.ย.63) , 22 _(ค.ค.62, พ.ค.63))	44.55	64	144
โรคหัวใจขาดเลือด	153 (2 _(ก.ค.62) , 22 _(มิ.ย.63))	43.59	51	102
โรกระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ	52,447 (1,020 _(พ.ค.63) , 11,140 _(มิ.ย.63))	14,941.14	25,456	26,991

ตารางที่ 4 Incidence rate และ Incidence rate ratio ของโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 – มิถุนายน พ.ศ. 2563

โรคเฝ้าระวังจาก PM _{2.5}	Incidence rate (ราย/วัน)		Incidence rate ratio (95% Confidence Interval)
	ช่วงเวลาที่ระดับ PM _{2.5} ที่ระดับปกติ	ช่วงเวลาที่ระดับ PM _{2.5} เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	
โรคปอดอักเสบ	2.21	3.17	1.44 (1.12, 1.84)
โรคไข้หวัดใหญ่	12.91	21.11	1.64 (1.31, 2.04)
โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง	0.06	0.07	1.19 (0.52, 2.74)
โรคหลอดเลือดสมอง	0.53	0.52	1.00 (0.69, 1.44)
โรคหัวใจขาดเลือด	0.37	0.42	1.12 (0.75, 1.67)
โรกระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ	98.51	208.66	2.12 (1.71, 2.62)

จากตารางที่ 4 จากค่า Incidence rate พบว่า โรคเฝ้าระวังจาก $PM_{2.5}$ ที่มีความเร็วในการเกิดโรค (ระยะเวลา 1 วัน) ในช่วงเวลาที่ระดับ $PM_{2.5}$ เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าในช่วงเวลาที่ระดับ $PM_{2.5}$ ที่ระดับปกติ ได้แก่ โรคปอดอักเสบ โรคไข้หวัดใหญ่ โรคระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรังและโรคหัวใจขาดเลือด และจากค่า Incidence rate ratio พบการสัมผัส $PM_{2.5}$ ในช่วงเวลาที่ระดับ $PM_{2.5}$ เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอักเสบ โรคไข้หวัดใหญ่ และโรคระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผลการวิจัย

การพยากรณ์อนุกรมเวลาเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ข้อมูลในอดีตวิเคราะห์หาตัวแบบอธิบายลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตที่เก็บตามลำดับเวลา และใช้ตัวแบบจำลองนั้นในการพยากรณ์ค่าในอนาคตวิธี การวิเคราะห์อนุกรมเวลา มีหลายวิธี ในงานเฝ้าระวัง ป้องกันควบคุมโรค และภัยสุขภาพ ส่วนใหญ่นำมาใช้พยากรณ์โรคไข้เลือดออก^(10,11) วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ เทคนิคการพยากรณ์แบบทำให้เรียบ และเทคนิคการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรายเดือน การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอการหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาปริมาณ $PM_{2.5}$ สำหรับ 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ปริมาณ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมง และปริมาณ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง พบว่า เทคนิคการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ทั้ง 2 ชุดข้อมูล โดยตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับชุดข้อมูล ปริมาณ $PM_{2.5}$ รายชั่วโมง คือ ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 1)(1, 1, 1) และตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับชุดข้อมูลปริมาณ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง คือ ตัวแบบ ARIMA (0, 1, 3) พิจารณาจากค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าสถิติ MAE มีค่าน้อย และค่าสถิติ MAPE มีค่าน้อยกว่า 30 ถือว่าตัวแบบมีความแม่นยำในการพยากรณ์ ซึ่งต่างจากการศึกษาของชาจิต มหาจัน และคณะ พบว่า ตัวแบบการปรับให้เรียบแบบเลขชี้กำลังด้วยตรีพที่เหมาะสมในการพยากรณ์ $PM_{2.5}$ ระยะสั้นที่ใช้ข้อมูลปริมาณ $PM_{2.5}$ แบบเรียลไทม์มากกว่าตัวแบบ ARIMA ตัวแบบ Neural Network Auto regression (NNAR) และตัวแบบ Hybrid⁽⁹⁾

จากการศึกษา พบว่า การสัมผัส $PM_{2.5}$ ในช่วงเวลาที่ระดับ $PM_{2.5}$ เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอักเสบ โรคไข้หวัดใหญ่ และโรคระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้เช่นเดียวกับการการสัมผัส PM_{10} ในช่วงที่มีปริมาณ PM_{10} ในอากาศปริมาณที่เข้มข้นมาก ๆ ก็ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอักเสบ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคทางเดินหายใจส่วนล่าง^(10, 11)

ข้อเสนอแนะแนวทางในการดำเนินงานด้านการแพทย์และสาธารณสุขเพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพจาก $PM_{2.5}$ ของเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

การเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจาก จาก $PM_{2.5}$ ของจังหวัดนครราชสีมา โรคที่ควรเป็นตัวบ่งชี้ด้านสุขภาพ ควรเป็นโรคปอดอักเสบ (Pneumonia; ICD-10: J12, J13, J14, J15, J16, J18) โรคไข้หวัดใหญ่ (Influenza; ICD-10: J10, J11) และโรคระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ (ICD-10: J00-J39, J60-J99) จากการศึกษาสถานการณ์กลุ่มโรคเฝ้าระวังจาก $PM_{2.5}$ จังหวัดนครราชสีมาในช่วงวิกฤต (เดือนธันวาคม - เดือนมีนาคม) ควรเฝ้าระวังกลุ่มเสี่ยง ได้แก่ กลุ่มผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป และกลุ่มเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 10 ปี จึงควรดูแลกลุ่มเสี่ยงดังกล่าวอย่างใกล้ชิด เนื่องจากกลุ่มเสี่ยงดังกล่าวมีโอกาสเสียชีวิตได้ก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้สูงอายุ^(14,15)

ข้อจำกัดในการศึกษา

ข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} ของสถานีตรวจวัดสถานีสูบน้ำประตูล้าน ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เป็นข้อมูลตั้งแต่สถานีเริ่มทำการตรวจวัดวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563 และเป็นสถานีตรวจวัดปริมาณ PM_{2.5} ของจังหวัดนครราชสีมาซึ่งมีเพียงแห่งเดียว อาจมีข้อจำกัดเรื่องการเป็นตัวแทนของเขตเทศบาลนครราชสีมา และข้อมูลที่นำมาพยากรณ์เป็นข้อมูลในช่วงระยะเวลาประมาณ 1 ปี จึงทำได้เพียงการพยากรณ์ระยะสั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{2.5} และจำนวนผู้ป่วยโรคเฝ้าระวังจาก PM_{2.5} ช่วงเวลาที่ระดับ PM_{2.5} เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ อาจยังมีปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรค ไม่ใช่การสัมผัสปริมาณ PM_{2.5} เพียงอย่างเดียว

การขอจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ขอยกเว้นจริยธรรมวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยในมนุษย์สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมาตามโครงการวิจัย รหัส KHE 2020 - 29

กิตติกรรมประกาศขอขอบพระคุณกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา เป็นอย่างสูงในการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ประเทศไทย). รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศโลก พ.ศ. 2561 การจัดอันดับมลพิษ PM_{2.5} ของเมืองและภูมิภาคทั่วโลก [อินเทอร์เน็ต]. 2562. [เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.greenpeace.or.th/s/right-to-clean-air/2018-world-air-quality-report.pdf>
2. กรมควบคุมโรค. สรุปรายงาน การเฝ้าระวังโรค ประจำปี 2561 [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://apps.doe.moph.go.th/boeeng/download/AW_Annual_Mix%206212_14_r1.pdf
3. กรมควบคุมมลพิษ. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2562 [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php>
4. กรมควบคุมมลพิษ. โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <http://infofile.pcd.go.th/air/PM2.5.pdf>
5. กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือการดำเนินงานด้านการแพทย์และสาธารณสุข กรณี ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ปี 2563 [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <http://hia.anamai.moph.go.th/download/hia/manual/book/book90.pdf>
6. กรินทร์ กาญจนานนท์. การพยากรณ์ทางสถิติ. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2561.
7. วิชิต หล่อจิระชูณหกุล, จิราวัลย์ จิตถาวรเวช. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 3 แก้ไขปรับปรุง. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2548.
8. Pollution Control Department. Thailand's National Ambient Air Quality Standards [Internet]. [cited 2020 Oct 10]. Available from: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html
9. Mahajan S, Chen L-J, Tsai T-C. Short-Term PM_{2.5} Forecasting Using Exponential Smoothing Method: A Comparative Analysis. Sensors. 2018; 18(10):3223.
10. สำนักโรคติดต่อภายในโดยแมลง, สำนักโรคระบาดวิทยา, กรมควบคุมโรค. รายงานพยากรณ์โรคไข้เลือดออก ปี 2561 [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1026620200625043737.pdf>

11. สำนักโรคติดต่อฯ โดยแมลง, สำนักระบาดวิทยา, สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 1 – 12, สถาบันป้องกันควบคุมโรคเขตเมือง, กรมควบคุมโรค. รายงานพยากรณ์โรคไข้เลือดออก ปี 2562 [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก : <https://ddc.moph.go.th/uploads/ckeditor/6f4922f45568161a8cdf4ad2299f6d23/files/Dangue/Prophecy/2562.pdf>.
12. Mueller W, Loh M, Vardoulakis S, Johnston HJ, Steinle S, Precha N et al. Ambient particulate matter and biomass burning: An ecological time series study of respiratory and cardiovascular hospital visits in northern Thailand. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. 2020 Jul 3;19(1). 77. doi: 10.1186/s12940-020-00629-3.
13. Ruchiraset A, Tantrakarnapa K. Association of climate factors and air pollutants with pneumonia incidence in Lampang province, Thailand: findings from a 12-year longitudinal study, *International Journal of Environmental Health Research*. 2020 Jul 14. doi: 10.1080/09603123.2020.1793919.
14. Teng M, Yang K, Shi Y, Luo Y. Study on the Temporal and Spatial Variation of PM_{2.5} in Eight Main Cities of Yunnan Province. 26th International Conference on Geoinformatics; Kunming, China. 2018. p. 1–7. doi: 10.1109/GEOINFORMATICS.2018.8557198.
15. Broome RA, Fann N, Cristina TJ, Fulcher C, Duc H, Morgan GG. The health benefits of reducing air pollution in Sydney, Australia. *Environ Res*. 2015;143(Pt A):19–25.