



## รายงานการวิจัย

# สถานการณ์และการประมาณค่าระดับฝุ่นขนาดเล็ก (PM10) บริเวณโรงเรียน ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุรุจิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2547

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม 2550

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ ที่กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูล และ/หรือ เครื่องมือเพื่อทำการวิจัย ได้แก่ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ, และสำนักงานอุทยานวิทยานครราชสีมา และขอขอบคุณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา และโรงเรียนอุบลรัตน์ ที่กรุณาให้ความร่วมมือในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคในระหว่างการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณนายเฉลิมพล จึงตระกูลวงศ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ช่วยวิจัยและผู้ช่วยจัดเตรียมรายงาน

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2547 (ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุรุจิต)

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ศึกษาระดับฝุ่น  $PM_{10}$  ในโรงเรียนในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ 1) เพื่อประเมินสถานการณ์ระดับฝุ่นในโรงเรียน 2) เพื่อศึกษาความแปรปรวน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นในโรงเรียนกับปัจจัยอื่น ได้แก่ คำนวณปริมาณยานพาหนะระดับมลพิษอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในบริเวณใกล้เคียง และ 3) เพื่อพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าระดับฝุ่น โดยขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การเตรียมการ การตรวจวัดขั้นต้นใน 5 โรงเรียน การตรวจวัดขั้นติดตามใน 2 โรงเรียน การเก็บข้อมูลยานพาหนะและปัจจัยต่างๆ และการสร้างแบบจำลอง

ผลการตรวจวัดพบค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ในโรงเรียนทั้ง 5 แห่งเท่ากับ 53.63 มค.ก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าพื้นที่ทั่วไปในเขตเมือง แต่ระดับฝุ่นอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้เป็นบางครั้งในช่วงฤดูหนาว และพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นในช่วงฤดูหนาวสูงกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบรูปแบบความแปรปรวนของระดับ  $PM_{10}$  กับวันต่างๆ ของสัปดาห์ ผลการศึกษาความสัมพันธ์พบว่าระดับ  $PM_{10}$  ในโรงเรียนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณรถบรรทุก 4 ล้อในเวลาเร่งด่วนเช้า ปริมาณยานพาหนะรวมทุกประเภทในเวลาเร่งด่วนเช้า และค่า  $PM_{10}$  ของสถานีกรมควบคุมมลพิษ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.677 0.595 และ 0.948 ตามลำดับ

การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์แบ่งเป็น โรงเรียนละ 3 แบบจำลอง คือ กรณีกฤตฤดู กรณีฤดูหนาว และกรณีกฤตฤดูฝน โดยแบบจำลองกรณีกฤตฤดูมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ได้แก่ ค่า  $PM_{10}$  และค่า  $NO_2$  ของสถานีกรมควบคุมมลพิษ ส่วนแบบจำลองกรณีกฤตฤดูหนาวและแบบจำลองกรณีกฤตฤดูฝนมีค่า  $PM_{10}$  ของสถานีกรมควบคุมมลพิษเป็นตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว แบบจำลองทั้งหมดมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) อยู่ในช่วง 0.419 – 0.748 และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ในช่วง 8.41 – 19.57 มค.ก./ลบ.ม. ผลจากการศึกษาในโครงการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับโรงเรียนที่ร่วมในการศึกษา หน่วยงานภาครัฐ และประชาชนทั่วไปในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

## Abstract

This research studied the  $PM_{10}$  levels in schools in Nakhon Ratchasima municipality. The objectives of the study are: 1) to evaluate the school dust level situation; 2) to study the variation and the correlation among the dust levels and other factors: number of vehicles, air pollution levels and meteorological data in the area; and 3) to develop mathematical models for estimating the dust levels. The study methodology includes the study preparation, primary measurement in 5 schools, monitoring measurement in 2 schools, vehicle counting and gathering of relevance data, and model development.

Results shows the average  $PM_{10}$  level of 53.63 microgram/cubic meter in the 5 schools measured, which was lower than the average value of the municipality area. However, the dust levels could cause adverse health effects in winter. It was found that the dust levels in the winter were significantly higher than those in the rainy season. The variation pattern of  $PM_{10}$  and days of the week was not found. The correlation study reveals positive correlations of  $PM_{10}$  with small truck and total vehicles in the morning rush hours, and with  $PM_{10}$  levels measured at the PCD station. The correlation coefficients are 0.677, 0.595, and 0.948, respectively.

Mathematical model development resulted in 3 models for each school: all-season case, winter case, and rainy-season case. The models in all-season case have 2 independent variables:  $PM_{10}$  and  $NO_2$  of the PCD station. The models in the other two cases only have the  $PM_{10}$  of the PCD station for their independent variable. All the models have the coefficient of determination ( $R^2$ ) between 0.419 – 0.748 and the root mean square error (RMSE) between 8.41 – 19.57 microgram/cubic meter. The outcome of this study is beneficial to the participating schools, governmental agencies, and the general population of the Nakhon Ratchasima municipality.

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ .....   | ก    |
| บทคัดย่อภาษาไทย .....   | ข    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....  | ค    |
| สารบัญ .....  | ง    |
| สารบัญตาราง .....   | ฉ    |
| สารบัญภาพ .....   | ช    |
| บทที่ 1 บทนำ  |      |
| 1.1 ความสำคัญของปัญหา .....   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....   | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....   | 2    |
| บทที่ 2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                    |      |
| 2.1 แหล่งกำเนิดและผลกระทบของฝุ่นละออง .....                                       | 4    |
| 2.2 สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในประเทศไทย .....                                      | 6    |
| 2.3 การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ .....   | 8    |
| 2.4 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอย .....                     | 8    |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....   | 12   |
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย  |      |
| 3.1 ขั้นตอนการศึกษา .....   | 15   |
| 3.2 การตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูล .....  | 17   |
| 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....  | 21   |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล   |      |
| 4.1 การศึกษาช่วงที่ 1 .....   | 22   |
| 4.1.1 การตรวจวัดขั้นต้น .....   | 22   |
| 4.1.2 การตรวจวัดขั้นติดตามเฝ้าระวัง .....   | 25   |
| 4.2 การศึกษาช่วงที่ 2 .....   | 31   |
| 4.2.1 การตรวจวัดความเข้มข้นของระดับฝุ่น PM <sub>10</sub> .....                    | 32   |
| 4.2.2 การเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะ .....   | 32   |
| 4.2.3 ความสัมพันธ์ของระดับ PM <sub>10</sub> ในโรงเรียนกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง..... | 36   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 4.2.4 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์.....                                     | 40   |
| บทที่ 5 บทสรุป  |      |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....   | 43   |
| 5.1.1 สถานการณ์ระดับความเข้มข้นฝุ่นในโรงเรียน.....                        | 43   |
| 5.1.2 ความแปรปรวนของความเข้มข้นฝุ่นและความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น ...       | 43   |
| 5.1.3 แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าความเข้มข้นฝุ่น.....               | 44   |
| 5.2 การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ .....                                    | 45   |
| 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต .....                                 | 45   |
| บรรณานุกรม .....  | 47   |
| ภาคผนวก   |      |
| ก.1 ำบหน้า .....  | 49   |
| ก.2 การเตรียมเครื่องมือเก็บตัวอย่าง PM <sub>10</sub> .....                | 49   |
| ก.3 การเตรียมกระดาษกรองและชั่งน้ำหนักในห้องปฏิบัติการ .....               | 55   |
| ก.4 การติดตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว .....                                  | 57   |
| ก.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PM <sub>10</sub> ..... | 58   |
| ประวัติผู้วิจัย .....   | 60   |

สารบัญตาราง

|               | หน้า  |    |
|---------------|---|----|
| ตารางที่ 2.1  | มาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย.....  | 6  |
| ตารางที่ 4.1  | ผลการตรวจวัดค่าระดับ PM <sub>10</sub> ในการศึกษาช่วงที่ 1 .....   | 23 |
| ตารางที่ 4.2  | สถิติพรรณนาของข้อมูล PM <sub>10</sub> ในการศึกษาช่วงที่ 1 .....   | 25 |
| ตารางที่ 4.3  | สถิติพรรณนาของข้อมูล PM <sub>10</sub> ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา .....  | 29 |
| ตารางที่ 4.4  | ผลการตรวจวัดค่าระดับ PM <sub>10</sub> ของ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา<br>ในการศึกษาช่วงที่ 2 .....                                      | 33 |
| ตารางที่ 4.5  | ผลการตรวจวัดยานพาหนะแยกประเภท .....   | 35 |
| ตารางที่ 4.6  | ความสัมพันธ์ระหว่าง PM <sub>10</sub> ณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับข้อมูล<br>ปริมาณยานพาหนะบนถนนมิตรภาพที่เล่นผ่านหน้าโรงเรียน ..... | 36 |
| ตารางที่ 4.7  | ข้อมูลมลพิษอากาศจากสถานีกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาศึกษา .....   | 38 |
| ตารางที่ 4.8  | ความสัมพันธ์ของ PM <sub>10</sub> โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับข้อมูล<br>มลพิษอากาศ .....  | 38 |
| ตารางที่ 4.9  | ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาศึกษา .....  | 39 |
| ตารางที่ 4.10 | ความสัมพันธ์ของ PM <sub>10</sub> โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับข้อมูล<br>อุตุนิยมวิทยา .....   | 39 |
| ตารางที่ 4.11 | แบบจำลองสำหรับปริมาณ PM <sub>10</sub> ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา .....  | 40 |
| ตารางที่ 4.12 | แบบจำลองสำหรับปริมาณ PM <sub>10</sub> ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา<br>และโรงเรียนอุบลรัตน์ แยกตามช่วงฤดูกาล .....               | 41 |

## สารบัญภาพ

|            | หน้า   |    |
|------------|--|----|
| รูปที่ 2.1 | ประเภทและช่วงขนาดของฝุ่นละออง (Heinsohn and Kabel, 1999) .....                                     | 4  |
| รูปที่ 2.2 | ร้อยละของค่า PM <sub>10</sub> ที่พบสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ<br>ในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา ..... | 7  |
| รูปที่ 3.1 | ขั้นตอนการศึกษา .....  | 15 |
| รูปที่ 3.2 | ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดในเขตเทศบาลนครราชสีมา .....  | 16 |
| รูปที่ 3.3 | สถานีตรวจวัดระดับความเข้มข้นฝุ่น PM <sub>10</sub> ในการศึกษา .....                                 | 18 |
| รูปที่ 4.1 | ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบริเวณโรงเรียน<br>แยกตามวัน .....                           | 24 |
| รูปที่ 4.2 | ความเข้มข้นของ PM <sub>10</sub> เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูฝนในพื้นที่<br>เทศบาลนครราชสีมา .....     | 26 |
| รูปที่ 4.3 | ความเข้มข้นของ PM <sub>10</sub> เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูหนาวในพื้นที่<br>เทศบาลนครราชสีมา .....   | 27 |
| รูปที่ 4.4 | ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล PM <sub>10</sub> ในพื้นที่<br>เทศบาลนครราชสีมา .....                      | 29 |
| รูปที่ 4.5 | ค่าเฉลี่ยของ PM <sub>10</sub> ในวันต่าง ๆ ของสัปดาห์ .....   | 31 |
| รูปที่ 4.6 | ค่าเฉลี่ยของ PM <sub>10</sub> ในวันธรรมดาและวันเสาร์ถึงอาทิตย์ .....                               | 31 |
| รูปที่ 4.7 | ปริมาณ PM <sub>10</sub> ในบริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา<br>ในการศึกษาครั้งที่ 2 .....              | 34 |
| รูปที่ ก.1 | เครื่องเก็บตัวอย่าง PM <sub>10</sub> แบบปริมาตรสูง .....   | 50 |
| รูปที่ ก.2 | อุปกรณ์บันทึกอัตราการไหล .....   | 51 |
| รูปที่ ก.3 | อุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศและอุปกรณ์ตั้งเวลา .....   | 51 |
| รูปที่ ก.4 | ชุดปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ .....  | 52 |
| รูปที่ ก.5 | การประกอบชุดปรับเทียบอัตราการไหลเข้ากับเครื่อง .....   | 53 |
| รูปที่ ก.6 | การนำกระดาษกรองเข้าสู่ตู้ดูดความชื้น .....   | 56 |
| รูปที่ ก.7 | การชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง .....   | 57 |
| รูปที่ ก.8 | ตัวอย่างสถานีตรวจวัดชั่วคราวของการวิจัย .....  | 58 |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์ปัญหาหมอกควันจากฝุ่นละอองในจังหวัดเชียงใหม่และพื้นที่ใกล้เคียง ในช่วงต้นปี พ.ศ.2550 เป็นสถานการณ์มลพิษอากาศของประเทศไทยที่จัดอยู่ในระดับที่รุนแรงและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่จำนวนมาก โดยระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน หรือ  $PM_{10}$  ในบรรยากาศมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานที่ 120 มค.ก./ลบ.ม.อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายสัปดาห์ โดยในวันที่ 13 มี.ค. 2550 ซึ่งเป็นช่วงที่ปัญหารุนแรงที่สุดนั้น กรมควบคุมมลพิษตรวจวัดค่า  $PM_{10}$  ที่ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ และที่โรงเรียนยุพราช อ.เมือง ได้สูงถึง 303.9 มค.ก./ลบ.ม. และ 382.7 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ (ผู้จัดการออนไลน์, 14 มี.ค. 2550) นอกจากนี้ยังพบปัญหาในพื้นที่ใกล้เคียง อาทิ จังหวัดลำปาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดเชียงรายอีกด้วย โดยกระทรวงสาธารณสุขได้ระบุจำนวนการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับผลกระทบจากภาวะหมอกควัน อาทิ โรคทางเดินหายใจ โรคตา โรคผิวหนัง ในช่วงวันที่ 1-23 มี.ค. ใน 4 จังหวัดดังกล่าว จำนวน 40,026 ครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉพาะของโรงพยาบาลกว่า 25 ล้านบาท เหตุการณ์ดังกล่าวจึงเป็นบทเรียนที่สำคัญสำหรับทุกส่วนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย และทำให้เกิดความตระหนักถึงธรรมชาติของปัญหามลพิษว่าไม่สามารถรอให้เกิดขึ้นก่อนแล้วจึงค่อยหาทางแก้ไขที่ปลายเหตุ หากแต่ต้องเตรียมพร้อมป้องกันและเฝ้าระวังแนวโน้มการเกิดปัญหาตั้งแต่นั้นๆ

ข้อมูลจากการเฝ้าระวังระดับฝุ่น  $PM_{10}$  ด้วยการตรวจวัดรายวันในเขตกรุงเทพฯ และเมืองใหญ่อื่นๆ อย่างเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ หรือเทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งค่า  $PM_{10}$  สูงเกินค่ามาตรฐานเป็นบางวัน อาทิ ในปี พ.ศ. 2548 เขตกรุงเทพฯ บริเวณริมถนนมีค่าระดับ  $PM_{10}$  ที่ตรวจวัดได้เกินค่ามาตรฐานร้อยละ 8.5 ส่วนพื้นที่ทั่วไปในจังหวัดนครราชสีมา มีค่าดังกล่าวเกินมาตรฐานร้อยละ 7.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ทั้งนี้ การที่ระดับมลพิษเกินมาตรฐานในบางช่วงเวลาอาจไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพแข็งแรง แต่สำหรับกลุ่มประชากรที่มีความอ่อนไหวต่อมลพิษ ซึ่งได้แก่ เด็ก คนชรา และผู้ป่วย จะได้รับผลเสียต่อสุขภาพรุนแรงมากกว่า ดังนั้น การศึกษาเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันผลกระทบจากมลพิษจึงควรให้ความสำคัญกับกลุ่มดังกล่าว

สำหรับเด็กนักเรียน นอกจากจะเป็นกลุ่มประชากรที่มีอ่อนไหวต่อมลพิษมากกว่าผู้ใหญ่แล้วยังอาจใช้ชีวิตอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ใกล้แหล่งกำเนิดมลพิษมากกว่าด้วย เนื่องจากโรงเรียนหลายแห่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาตั้งอยู่ติดถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง หรือเป็นทางหลวงแผ่นดินซึ่ง

รถบรรทุกหนักใช้เป็นเส้นทางวิ่งประจำ ผลการศึกษาหนึ่งของกรุงเทพฯ ชี้ว่ามลพิษอากาศในเขตเมืองนั้นมาจากยานพาหนะและฝุ่นละอองที่ฟุ้งปลิวจากถนนถึงกว่าร้อยละ 50 และระดับฝุ่นละอองภายในอาคารที่ไม่มีกำบังอากาศนั้นจะเท่ากับหรือสูงกว่าภายนอกอาคาร (นพภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช, 2544)

จากแนวโน้มปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กซึ่งส่งผลต่อปัญหาสุขภาพของประชาชน ความเสี่ยงต่อการได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กของเด็กนักเรียนในโรงเรียนในเขตเมืองนครราชสีมา และความจำเป็นในการเฝ้าระวังและศึกษาแนวโน้มการเกิดปัญหามลพิษอากาศในเมืองใหญ่ โครงการวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาระดับฝุ่นขนาดเล็กในโรงเรียนหลายแห่งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา เพื่อประเมินสถานการณ์ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็ก ศึกษาความแปรปรวนของระดับฝุ่นและหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นในโรงเรียนกับปัจจัยอื่น ได้แก่ ปริมาณยานพาหนะ และข้อมูลระดับมลพิษอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดรายวันที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในจังหวัดนครราชสีมา และนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าระดับฝุ่นที่โรงเรียนโดยไม่ต้องทำการตรวจวัดจริง เพื่อเพิ่มความสามารถในการเฝ้าระวังปัญหามลพิษอากาศในเขตเมืองนครราชสีมา

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสถานการณ์ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กในโรงเรียนในเขตเทศบาลนครราชสีมา
- 2) เพื่อศึกษาความแปรปรวนของระดับฝุ่นละอองขนาดเล็ก และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นละอองในโรงเรียนกับปริมาณยานพาหนะ และข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของจังหวัดนครราชสีมา
- 3) เพื่อพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กในโรงเรียน เพื่อเพิ่มความสามารถในการเฝ้าระวังปัญหามลพิษอากาศ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) โรงเรียนในเขตเทศบาลนครราชสีมาที่ร่วมในการวิจัยจำนวน 5 โรงเรียน ได้แก่ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา โรงเรียนอนุบาลรัตน์ โรงเรียนวัดสระแก้ว โรงเรียนเทศบาล 1 และโรงเรียนเทศบาล 2 โดยการพิจารณาคัดเลือกใช้เกณฑ์ด้านความเหมาะสมของตำแหน่งที่ตั้ง การติดตั้งเครื่องมือวัด และความสนใจในการเข้าร่วมโครงการ

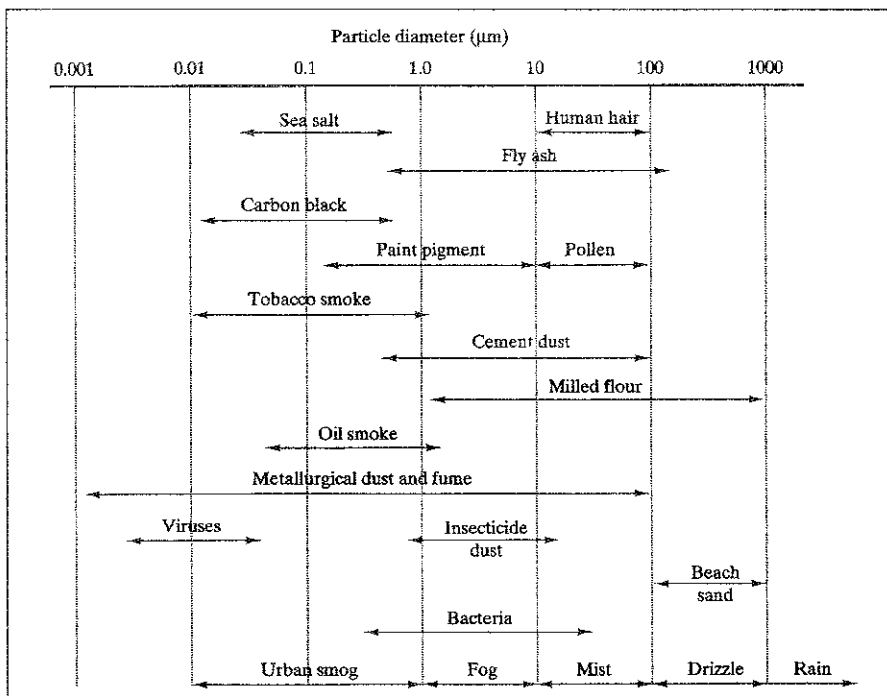
- 2) การตรวจวัดระดับฝุ่น  $PM_{10}$  ในโรงเรียน ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง (High Volume  $PM_{10}$  Sampler) โดยใช้วิธีตามคู่มือการตรวจวัดฝุ่นและก๊าซในสิ่งแวดล้อมของกรมอนามัย (กรมอนามัย, 2544)
- 3) ข้อมูลทุติยภูมิของมลพิษทางอากาศและอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ รวบรวมจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้ คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) โอโซน ( $O_3$ ) อุณหภูมิ (T) ความกดอากาศ (P) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ปริมาณรังสีสุทธิ (NR) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (GR) และความเร็วลม (WS)
- 4) การเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เวลา 8:00 น. ถึง 9:00 น. และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น เวลา 16:00 น. ถึง 17:00 น. และแบ่งประเภทของยานพาหนะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล 4 ล้อ รถบรรทุก 4 ล้อ และรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไป

## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แหล่งกำเนิดและผลกระทบของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (Particulate Matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ฝุ่นละอองชนิดต่างๆ อาจมีความแตกต่างกันอย่างมากทั้งทางด้านขนาด รูปร่าง คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ จึงมีชื่อเรียกที่เฉพาะเจาะจงตามลักษณะอีกหลายชื่อ อาทิ ฝุ่น (dust) ละอองไอ (aerosol) ควีน (smoke) เถ้าลอย (fly ash) ไอเสีย (fume) อย่างไรก็ตาม ลักษณะที่สำคัญของฝุ่นที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการแขวนลอยในบรรยากาศหรือการตกตะกอน คือขนาดของฝุ่น รูปที่ 2.1 แสดงขนาดของฝุ่นประเภทต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางได้ตั้งแต่ 0.001 ถึง 1,000 ไมครอน



รูปที่ 2.1 ประเภทและช่วงขนาดของฝุ่นละออง (Heinsohn and Kabel, 1999)

นอกจากขนาดแล้ว ความสามารถในการแขวนลอยและฟุ้งกระจายในบรรยากาศของฝุ่นยังขึ้นกับความหนาแน่นของฝุ่นละออง และปัจจัยทางอุคณิยมิวิทยา โดยหากสภาพบรรยากาศมีความชื้นต่ำ อุณหภูมิสูง และความเร็วลมสูง จะส่งผลให้เกิดการฟุ้งกระจายได้ดี

สำหรับประเทศไทย แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นในบรรยากาศสามารถจำแนกได้หลายแหล่งดังต่อไปนี้

- 1) ฝุ่นจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นจากดิน ทราย เขม่าควันจากไฟฟ้า ภูเขาไฟ และฝุ่นเกลือจากทะเล
- 2) ฝุ่นจากการก่อสร้าง เช่น การสร้างถนน อาคาร ระบบสาธารณูปโภค การปรับปรุงผิวการจราจร การรื้อถอนอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ
- 3) ฝุ่นจากสถานประกอบการและโรงงานอุตสาหกรรม
- 4) ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร เช่น ควันดำ ซึ่งเกิดจากอนุภาคคาร์บอนจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง ฝุ่นดินทรายที่ฟุ้งกระจายในถนน ขณะที่รถยนต์วิ่งผ่าน ฝุ่นดินทรายที่หล่นจากการบรรทุกขนส่ง การกองวัสดุสิ่งของบนทางเท้าหรือบนเส้นทางจราจร
- 5) ฝุ่นจากกิจกรรมการเผาของมนุษย์ อาทิ การกองเผาในที่โล่ง การเผาป่าหรือพืชหน้าดินเพื่อปรับพื้นที่ การเผาขยะ รวมถึงการเผาศพของเมรุวัดต่างๆ

ระดับฝุ่นละอองที่สูงในบรรยากาศส่งผลเสียต่อทั้งมนุษย์ สัตว์ พืช วัตถุ และสภาพแวดล้อม ผลเสียของฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ คือการก่อให้เกิดปัญหาเหตุเค็ดรื้อนราคาญ ทำความสกปรกให้บ้านเรือน เครื่องมือเครื่องใช้ สิ่งก่อสร้าง แต่ผลเสียของฝุ่นละอองขนาดเล็กคือ PM<sub>10</sub> และโดยเฉพาะ PM<sub>2.5</sub> ซึ่งหมายถึงฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน และ 2.5 ไมครอน ตามลำดับ คือการที่อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์และตกค้างอยู่ที่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อปอด การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง หลอดลมอักเสบ หอบหืด ถุงลมโป่งพอง โดยเฉพาะจะส่งผลเสียแบบเสริมกัน (synergistic effect) เมื่อมีพร้อมกับแก๊ส SO<sub>2</sub>

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฝุ่นขนาดเล็กกับสุขภาพของประชาชนในกรุงเทพมหานคร พบว่า ถ้าระดับฝุ่นขนาดเล็กสูงขึ้น 30 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. อัตราการตายโดยธรรมชาติจะสูงขึ้น 3-5% อัตราการตายด้วยโรคทางเดินหายใจจะสูงขึ้น 7-20% อัตราการเข้าโรงพยาบาลรักษาโรคทางเดินหายใจจะสูงขึ้น 5.5% กลุ่มผู้สูงอายุจะมีอัตราการเข้าโรงพยาบาลรักษาโรคทางเดินหายใจสูงขึ้น 17.6% กลุ่มผู้ใหญ่ที่ไม่สูบบุหรี่ อาศัยและทำงานในที่ที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ จะมีอัตราการเกิดอาการโรคระบบทางเดินหายใจ สูงขึ้น 20-26% (นพภาพร พานิช และ แสงสันต์ พานิช, 2544) นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าทึ่งว่ากลุ่มประชากรที่มีความอ่อนไหวต่อ

มลพิษ ซึ่ง ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ป่วย จะได้รับผลเสียต่อสุขภาพมากกว่า ดังนั้น การศึกษาเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันผลกระทบจากมลพิษจึงมักให้ความสำคัญกับกลุ่มดังกล่าวเป็นอันดับแรก

ในการเฝ้าระวังปัญหามลพิษอากาศจากฝุ่นละออง ประเทศไทยได้กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยแบ่งมาตรฐานตามขนาดของอนุภาค 2 ประเภท คือ ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate, TSP) หมายถึง ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) และแบ่งมาตรฐานตามค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตามเวลาออกเป็นค่าเฉลี่ยระยะสั้น คือ 24 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยระยะยาว คือ 1 ปี เพื่อกำกับดูแลผลกระทบทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย

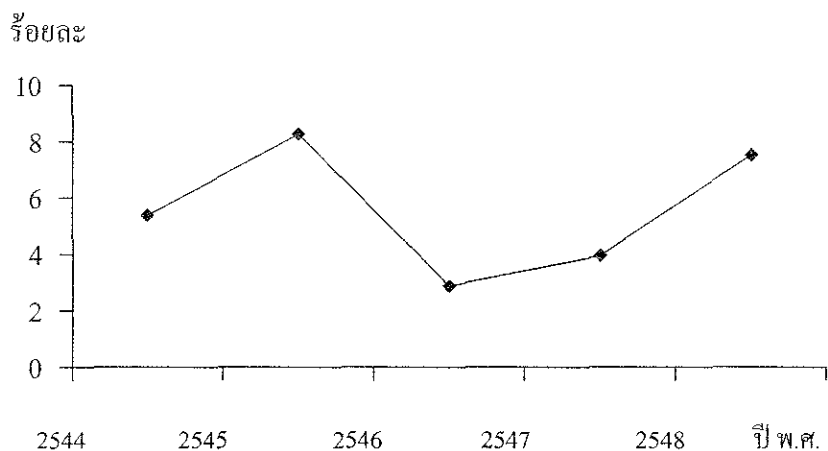
| ชนิดของสารมลพิษอากาศ                          | ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา | ระดับมาตรฐาน           |
|---|----------------------------|------------------------|
| ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) | 24 ชม.                     | ไม่เกิน 120 มค.ก./ลบ.ม |
|   | 1 ปี                       | ไม่เกิน 50 มค.ก./ลบ.ม  |
| ฝุ่นละอองรวม (TSP)                            | 24 ชม.                     | ไม่เกิน 330 มค.ก./ลบ.ม |
|   | 1 ปี                       | ไม่เกิน 100 มค.ก./ลบ.ม |

## 2.2 สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในประเทศไทย

ในปัจจุบัน ปัญหาฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษอากาศที่เป็นปัญหาหลักของประเทศไทย เนื่องจากพบว่ามียกระดับความเข้มข้นของฝุ่นสูงในระดับที่อาจเกิดปัญหาสุขภาพอนามัยกับประชาชนในเมืองใหญ่หลายเมือง ทั้งนี้ รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษ (2549) พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2544-2548 สารมลพิษอากาศที่เป็นปัญหามากที่สุดโดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ คือ  $PM_{10}$  โดยผลการตรวจวัดพบจำนวนครั้งเกินค่ามาตรฐานมากที่สุด โดยระดับ  $PM_{10}$  ในเขตเมืองต่างๆ ในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูหนาว) และลดระดับลงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (ฤดูร้อน) และมีระดับต่ำสุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม (ฤดูฝน)

สำหรับในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544-2548 พบว่า  $PM_{10}$  เป็นปัญหามลพิษทางอากาศมากที่สุด โดย  $PM_{10}$  สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศจำนวน 85 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 5.32 ของจำนวนการตรวจวัดทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) พบว่าจำนวนครั้งที่ของการ

ตรวจวัดที่พบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ 120 มก.ก./ลบ.ม. มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ.2546-2548 (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ร้อยละของค่า  $PM_{10}$  ที่พบสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ในส่วนการเฝ้าระวังและการตรวจวัดของหน่วยงานท้องถิ่นนั้น กรมอนามัย โดยศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 ได้ทำการตรวจวัดระดับมลพิษอากาศในเขตอำเภอเมืองเป็นครั้งคราว ที่บริเวณสถานีสูบน้ำที่ 1 อำเภอเมือง โดยในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2541 พบว่ามีจำนวนตัวอย่างที่ระดับฝุ่นขนาดเล็กเกินค่ามาตรฐาน 4 ตัวอย่างจาก 14 ตัวอย่าง หรือประมาณร้อยละ 26.8 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 196 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. (ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5, 2541) และในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2541 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2542 พบว่ามีจำนวนตัวอย่างที่ระดับฝุ่นขนาดเล็กเกินค่ามาตรฐาน 7 ตัวอย่างใน 37 ตัวอย่าง หรือประมาณร้อยละ 18.9 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 234 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. (ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5, 2543)

นอกจากนั้น ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5 ยังได้ดำเนินการสำรวจมลพิษทางอากาศในสถานศึกษาในพื้นที่รับผิดชอบในโรงเรียนที่ตั้งในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา คือ โรงเรียนเทศบาล 1 และโรงเรียนเมืองนครราชสีมา ในช่วงวันที่ 9-12 มิถุนายน พ.ศ. 2541 แห่งละ 2 วัน โดยพบว่าระดับ  $PM_{10}$  ที่โรงเรียนเทศบาล 1 มีค่าเท่ากับ 51 และ 102 มก.ก./ลบ.ม. ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่สูงเกินค่ามาตรฐาน ส่วนระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่โรงเรียนเมืองนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 193 และ 61 มก.ก./ลบ.ม. โดยมีระดับสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน 1 ตัวอย่างจาก 2 ตัวอย่าง (ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5, 2541) จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นความเสี่ยงต่อการได้รับมลพิษทางอากาศประเภทฝุ่นขนาดเล็กเกินกว่ามาตรฐานของเด็กนักเรียนในโรงเรียนเมืองนครราชสีมาและโรงเรียนข้างเคียง ซึ่งอยู่ติดกับถนนสาย

หลักของเมือง คือ ถนนมีตรภาพ ที่มีปริมาณการจราจรสูง อย่างไรก็ตาม จำนวนโรงเรียนและจำนวนตัวอย่างที่เก็บ ณ แต่ละโรงเรียนในการศึกษานี้มีจำกัดเกินกว่าจะสรุปผลได้ชัดเจน

### 2.3 การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ

วิธีการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ให้ใช้เครื่องวัดระบบกราวิเมตริก (gravimetric) เป็นมาตรฐานการตรวจวัด  $PM_{10}$  ในบรรยากาศทั่วไป และให้มีเครื่องวัดระบบเทียบเท่า ได้แก่ ระบบเบต้าเรย์ (beta ray) ระบบเทปเปอ อิลิเมนต์ ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (tapered element oscillating microbalance) และระบบไดโคโทมัส (dichotomous)

วิธีการตรวจวัดฝุ่นละอองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือการตรวจวัด  $PM_{10}$  ด้วยเครื่องวัดระบบกราวิเมตริก โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง (high volume  $PM_{10}$  sampler) ซึ่งมีหลักการทำงานคือ การดูดอากาศผ่านหัวคัดขนาดสำหรับคัดแยกฝุ่นละอองขนาดใหญ่ออกก่อน แล้วให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนติดค้างอยู่บนแผ่นกระดาษกรอง แล้วน้ำหนักฝุ่นละอองจากแผ่นกระดาษกรอง พร้อมทั้งปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  ที่ตรวจวัด ทั้งนี้ รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ เครื่องมือและอุปกรณ์ และการตั้งสถานีตรวจวัดแบบชั่วคราวด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ก

### 2.4 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ แบบจำลองเชิงทฤษฎี (theoretical model) และแบบจำลองเชิงการทดลอง (empirical model) แบบจำลองกลุ่มแรกอาศัยพื้นฐานความเข้าใจทางทฤษฎีเพื่อสร้างสมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่สนใจ ส่วนแบบจำลองกลุ่มหลังมักอยู่ในรูปของแบบจำลองเชิงสถิติ (statistical model) โดยเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากข้อมูลผลการทดลองผนวกกับการวิเคราะห์ทางสถิติ

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก (Kutner et al., 2004) ได้แก่ (1) การเตรียมข้อมูล คือการรวบรวมและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล รวมทั้งแก้ไขหรือปรับปรุงแบบของข้อมูลให้มีความสมบูรณ์ (2) การคัดเลือกตัวแปร คือการตรวจสอบคุณสมบัติของตัวแปรและคัดเลือกตัวแปรที่มีคุณสมบัติตามต้องการ (3) การคัดเลือกแบบจำลอง คือการนำตัวแปรที่คัดเลือกมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และนำตัวแปรที่เหมาะสมมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วทำการคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น และ (4) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการทำนายกับค่าจริง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปใช้งาน



การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายระดับความเข้มข้นของฝุ่นในงานวิจัยนี้  
 เลือกใช้แบบจำลองเชิงสถิติที่ใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) เพื่อ  
 สร้างสมการถดถอยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) คือ ค่า  $PM_{10}$  กับ  
 ตัวแปรอิสระ (independent variable) ตัวเดียวหรือหลายตัวที่มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้น โดยการ  
 วิเคราะห์ความถดถอยแบ่งเป็น 2 ประเภท (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) คือ

### (1) การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย

การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (simple regression analysis) เป็นการศึกษาถึง  
 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว โดยแสดงความสัมพันธ์ในรูปของ  
 สมการเชิงเส้น คือ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.1)$$

|        |               |     |   |
|--------|---------------|-----|---|
| โดยที่ | y             | คือ | ตัวแปรตาม   |
|        | x             | คือ | ตัวแปรอิสระ   |
|        | $\beta_0$     | คือ | ส่วนตัดแกน y หรือคือค่าของ y เมื่อ x เท่ากับศูนย์   |
|        | $\beta_1$     | คือ | ความชันของเส้นตรง หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย |
|        | $\varepsilon$ | คือ | ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม                            |

### (2) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (multiple regression analysis) เป็นการศึกษาถึง  
 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว หรือมีตัวแปรอิสระ  
 มากกว่าหนึ่งตัวที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงเส้นคือ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.2)$$

|        |                                    |     |  |
|--------|------------------------------------|-----|--|
| โดยที่ | y                                  | คือ | ตัวแปรตาม  |
|        | x                                  | คือ | ตัวแปรอิสระ  |
|        | $\beta_0$                          | คือ | ส่วนตัดแกน y เมื่อ $x_1, x_2, \dots, x_k$ เท่ากับศูนย์ |
|        | $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ | คือ | สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน                          |

## ๕ คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ มี 3 วิธีหลัก ดังต่อไปนี้

### วิธีเลือกแบบเดินหน้า

วิธีเลือกแบบเดินหน้า (Forward Selection Method) เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอย โดยการเริ่มนำตัวแปรอิสระเข้าสมการทีละตัว โดยนำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงสุดและมีนัยสำคัญที่ทดสอบด้วย F-test เข้าสมการก่อน จากนั้นคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหลือเข้าสมการ โดยการทดสอบด้วย Partial F-test กับตัวแปรอิสระที่เหลือทีละตัว ถ้าตัวแปรอิสระตัวใดมีส่วนช่วยในการทำนายตัวแปรตามมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญก็จะคัดเลือกตัวนั้นเข้าสมการ และทำซ้ำจนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระที่มีส่วนช่วยทำนายที่จะเข้าสู่สมการอีก อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจทำให้ได้ตัวแปรอิสระเข้าอยู่ในสมการถดถอยค่อนข้างน้อย

### วิธีเลือกแบบถอยหลัง

วิธีเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection Method) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอย ในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับวิธีเลือกแบบเดินหน้า โดยนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าสมการก่อน แล้วคัดเลือกออกทีละตัว โดยใช้ Partial F-test ทดสอบหาตัวแปรอิสระที่ไม่มีส่วนช่วยในการทำนายตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญหรือมีส่วนช่วยน้อยที่สุด เมื่อตัดออกแล้วจึงทำการทดสอบซ้ำอีกเพื่อตัดตัวแปรอิสระออกจนกระทั่งเหลือแต่ตัวแปรอิสระมีนัยสำคัญอยู่ในสมการ ทั้งนี้ จุดอ่อนของวิธีนี้คือทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระค่อนข้างมาก

### วิธีเลือกแบบทีละขั้น

วิธีเลือกแบบทีละขั้น (Stepwise Selection Method) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการถดถอยด้วยกระบวนการที่ผสมกันระหว่างวิธีเลือกแบบเดินหน้าและแบบถอยหลังเพื่อเป็นการแก้จุดอ่อนทั้งสองวิธีข้างต้น โดยวิธีนี้คล้ายวิธีเลือกแบบเดินหน้าแต่ในแต่ละครั้งที่ได้ตัวแปรอิสระเพิ่มในสมการจะใช้ Partial F-test ทดสอบตัวแปรอิสระทุกตัวในสมการว่ายังมีมีส่วนช่วยในการทำนายตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่เพื่อตัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกเช่นเดียวกับวิธีเลือกแบบถอยหลัง ดังนั้น สมการสุดท้ายที่ได้จึงมีความเหมาะสมกว่าสมการที่ได้จากวิธีอื่น

ค่าสถิติที่อธิบายความเชื่อมั่นของสมการความถดถอยที่สร้างขึ้นคือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination,  $R^2$ ) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงหรือผันแปรของตัวแปรตาม โดย  $R^2$  เป็นค่าสถิติที่ไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

โดยถ้า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีค่ามาก แต่ถ้า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีค่าน้อย โดย  $R^2$  คำนวณได้จากสมการ 2.3

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.3)$$

โดยที่  $R^2$  คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  
 SSR คือ ค่าความแปรปรวนของ  $y$  เนื่องจากอิทธิพลของ  $x$   
 SSE คือ ค่าความแปรปรวนของ  $y$  เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ  
 SST คือ ค่าความแปรปรวนของ  $y$  ทั้งหมด

เมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปเข้าสมการความถดถอยจะทำให้ค่า  $R^2$  มากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ  $x$  ที่เพิ่มขึ้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับ  $y$  ดังนั้น จึงมีการปรับค่า  $R^2$  ให้ถูกต้องขึ้น ซึ่งเรียกค่าดังกล่าวว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (Adjusted  $R^2$ ) โดยคำนวณได้จากสมการ 2.4

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - \frac{SSE / (n - k - 1)}{SST / (n - 1)} = 1 + \frac{(n - 1)}{(n - k - 1)} \cdot (R^2 - 1) \quad (2.4)$$

โดยที่ Adjusted  $R^2$  คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้  
 $R^2$  คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  
 SSE คือ ค่าความแปรปรวนของ  $y$  เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ  
 SST คือ ค่าความแปรปรวนของ  $y$  ทั้งหมด  
 $n$  คือ จำนวนตัวอย่างของการวิเคราะห์ความถดถอย  
 $k$  คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

ค่าสถิติที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient:  $R$ ) โดยมีค่าเท่ากับรากที่สองของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่า  $R$  สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยค่า  $R$  ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ค่า  $R$  ที่เป็นลบ แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม และค่าสัมบูรณ์ของ  $R$  ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### (1) ปัญหาฝุ่นละอองและปัจจัยที่มีผลต่อระดับฝุ่นละออง

Vardoulakis and Kassomenos (2007) รายงานข้อมูลการศึกษาฝุ่น  $PM_{10}$  ในเมือง Athens ของประเทศกรีซ และเมือง Birmingham ของประเทศอังกฤษ เพื่อดูปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ในเขตเมือง โดยผลการศึกษาที่สำคัญพบว่าในฤดูหนาวระดับฝุ่นมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับ  $NO_x$ , CO และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ แต่มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับ  $O_3$  ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน ค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความแข็งแรงน้อยลงในฤดูที่อากาศอบอุ่น ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเกิดละอองไอหุติภูมิขึ้นในบรรยากาศและการฟุ้งกลับขึ้นมาใหม่ของฝุ่นดินมีมากขึ้นในช่วงอากาศร้อน

Anun et al. (2006) รายงานเกี่ยวกับคุณภาพอากาศและการควบคุมมลพิษอากาศในประเทศจีนว่าค่าเฉลี่ยรายปีของระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) ในเมืองใหญ่ต่างๆ 130 เมือง มีแนวโน้มทั่วไปลดลงในช่วงปี 1986 จนถึงปี 2000 แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่สูงกว่าค่ามาตรฐานอยู่มาก ดังนั้น ปัญหาฝุ่นละอองในประเทศจีนยังคงน่าเป็นห่วง โดยเฉพาะในบางเมือง เช่น เมือง Taiyuan มีความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 165 มก.ก./ลบ.ม. ในปี 2004 ในขณะที่มาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก สหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกา มีค่าเท่ากับ 20 มก.ก./ลบ.ม. 40 มก.ก./ลบ.ม. และ 50 มก.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ ทั้งนี้ นำสังเกตว่าประเทศจีนมีการใช้พลังงานหลักจากโรงไฟฟ้าพลังถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองและแก๊สมลพิษอีกหลายชนิด

McCarthy et al. (2006) ได้นำเสนอผลการศึกษาของ U.S. Federal Highway Administration ร่วมกับบริษัทที่ปรึกษาและนักวิชาการจากหลายหน่วยงาน เกี่ยวกับการจัดลำดับความสำคัญของงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาฝุ่นละอองซึ่งมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญจากการคมนาคม โดยเฉพาะยานพาหนะบนท้องถนน โดยระบุว่ายังมีช่องว่างระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับการควบคุมระดับฝุ่นจากยานพาหนะ และได้จัดให้การศึกษาวิจัยด้านการ फैาระวังระดับฝุ่นริมถนนมีความสำคัญในระดับสูง เนื่องจากการศึกษาดังกล่าวจะนำไปสู่ความเข้าใจว่าความเข้มข้นของฝุ่นเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร ความเร็วของยานพาหนะ การแจกแจงอายุของยานพาหนะ สัดส่วนยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล และระดับการติดขัดของการจราจร นอกจากนี้การเก็บข้อมูลมลพิษริมถนนก่อนและหลังการดำเนินโครงการด้านการคมนาคมยังช่วยให้สามารถประเมินผลโครงการและยุทธศาสตร์ในการควบคุมมลพิษได้อีกด้วย

Slini et al. (2006) ศึกษาความสัมพันธ์ของ  $PM_{10}$  กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและเป็นเขตอุตสาหกรรมในประเทศกรีซ พบว่า  $PM_{10}$  สัมพันธ์กับความเร็วลมและอุณหภูมิ โดยช่วงที่ความเร็วลมสูงและอุณหภูมิต่ำจะเป็นช่วงที่ระดับ  $PM_{10}$  จะสูงขึ้น

สุดจิต คุรุจิต และนิรันดร์ คงฤทธิ์ (2548) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษอากาศ ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Pb}$ , TSP และ  $\text{PM}_{10}$ ) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยการศึกษาบริเวณใกล้ทางพิเศษในกรุงเทพฯ พบว่า ตัวแปรอิสระที่มีศักยภาพในการทำนายระดับมลพิษ ได้แก่ ระยะห่างจากทางพิเศษ อุณหภูมิ ความเร็วรถบนถนน ปริมาณรถยนต์นั่ง 4 ล้อ รถบรรทุกและรถโดยสารขนาดเล็ก และปริมาณรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดใหญ่ โดยความสัมพันธ์ที่พบว่าสามารถใช้เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายระดับมลพิษ

Thongsanit et al. (2003) ได้ศึกษาระดับ  $\text{PM}_{10}$  ในกรุงเทพฯ พบว่าช่วงฤดูหนาว (อากาศแห้ง) จะเป็นช่วงที่ระดับ  $\text{PM}_{10}$  สูงขึ้น และสัมพันธ์กับปริมาณจราจรและฤดูกาล (อุณหภูมิ และปริมาณฝน) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในกลุ่มประเทศยุโรปจำนวนมากที่พบว่าระดับ  $\text{PM}_{10}$  ในเขตเมืองจะมีแนวโน้มสูงขึ้นช่วงเดือนในฤดูหนาว ที่มีสภาพอุณหภูมิลดต่ำและมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

นเรศ เชื้อสุวรรณ (2546) ได้ศึกษาการกระจายความเข้มข้นของ  $\text{PM}_{10}$  และ  $\text{PM}_{2.5}$  ในกรุงเทพฯ พบว่า บริเวณเขตที่อยู่อาศัยในแนวเหนือ-ใต้ มีความเข้มข้นน้อยกว่าบริเวณกลางเมืองของกรุงเทพฯ และความสัมพันธ์ของระดับ  $\text{PM}_{10}$  และ  $\text{PM}_{2.5}$  ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการศึกษา พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) อยู่ระหว่าง 0.72-0.86 และ 0.77-0.90 ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ของ  $\text{PM}_{2.5}$  ที่มีค่ามากกว่า  $\text{PM}_{10}$  อาจเนื่องมาจาก  $\text{PM}_{2.5}$  มีขนาดเล็กจึงสามารถลอยอยู่ในอากาศได้นานกว่า  $\text{PM}_{10}$

Chaloulakou et al. (2003) ได้ศึกษาระดับ  $\text{PM}_{10}$  และ  $\text{PM}_{2.5}$  บริเวณพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมืองเอเธน ประเทศกรีซ โดยการตรวจวัดด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรค่าที่ความสูง 6.7 เมตรจากพื้นดิน พบว่า  $\text{PM}_{10}$  และ  $\text{PM}_{2.5}$  มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ CO, Black Carbon และ  $\text{NO}_x$  และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเร็วลมที่พัดเข้าสู่จุดตรวจวัด โดยมีค่า R เท่ากับ 0.71 0.73 0.69 และ -0.43 ตามลำดับ

Shaddick and Wakefield (2002) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศในเมืองลอนดอน จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 9 สถานี พบว่า  $\text{PM}_{10}$  มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ CO,  $\text{NO}_x$  และ  $\text{SO}_2$  ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน และ  $\text{PM}_{10}$  ระหว่างสถานีตรวจวัดต่างๆ มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวลดลงตามระยะห่างระหว่างคู่สถานีที่เพิ่มมากขึ้น

Chatterton (2001) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของ  $\text{PM}_{10}$  และ  $\text{PM}_{2.5}$  บริเวณพื้นที่ทั่วไปและบริเวณริมถนนที่อยู่ใกล้กัน 3 สาย ในเขตที่อยู่อาศัยของเมือง Norwich ประเทศอังกฤษ พบว่า ระดับ  $\text{PM}_{10}$  บริเวณถนนกับบริเวณพื้นที่ทั่วไปมีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง

## (2) แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงสถิติเพื่อทำนายระดับฝุ่น

รัฐพล อ้นแอ่ง และคณะ (2549) นำเสนอการศึกษาเพื่อนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ร่วมกับเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) และฐานข้อมูลมลพิษทางอากาศภาคพื้นดิน มาจัดทำเป็นแผนที่แสดงระดับความหนาแน่นของมลพิษทางอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อจำกัดในการติดตามเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในด้านค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องมือและจำนวนจุดตรวจวัด ซึ่งในการวิเคราะห์ระดับความหนาแน่นของมลพิษจะอาศัยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างข้อมูลจากความเทียมและข้อมูลจากการตรวจวัดระดับมลพิษของสถานีตรวจวัดที่พื้นดิน โดยผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการจัดทำโครงการวิจัยในเรื่องดังกล่าวต่อไป

Slini et al. (2006) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย  $PM_{10}$  ในเมือง Thessaloniki ประเทศกรีซ โดยใช้ข้อมูลความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ เป็นตัวแปรอิสระ และเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยวิธี Neural Network (NN) วิธี Classification and Regression Trees (CART) วิธี Linear Regression Analysis และวิธี Principal Component Analysis ผลการวิเคราะห์ความถดถอยสำหรับทำนาย  $PM_{10}$  ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 11.236 มก.ก./ลบ.ม. และจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า  $PM_{10}$  จากผลการตรวจวัดจริงกับผลการทำนาย พบว่ามีค่า R เท่ากับ 0.297 และสรุปว่าวิธีวิเคราะห์แต่ละวิธีมีศักยภาพในการใช้งานด้านการทำนายระดับมลพิษ และวิธี Neural Network สามารถสร้างแบบจำลองที่ให้ผลได้แม่นยำกว่า

Chaloulakou et al. (2003) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย  $PM_{10}$  ในเมืองเอเธน ประเทศกรีซ โดยใช้ความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ และศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองสำหรับทำนาย  $PM_{10}$  ที่สร้างจากเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Neural Network และวิธี Multiple Regression ภายใต้เงื่อนไขในการคำนวณหา  $PM_{10}$  ณ จุดที่สนใจโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่จุดนั้น ได้ข้อสรุปว่าแบบจำลองที่สร้างจากทั้ง 2 วิธี สามารถคำนวณระดับ  $PM_{10}$  และใช้เป็นข้อมูลแสดงแนวโน้มได้ โดยวิธี Multiple Regression ได้แบบจำลองที่มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.44 และมีค่า RMSE เท่ากับ 23.6 มก.ก./ลบ.ม.

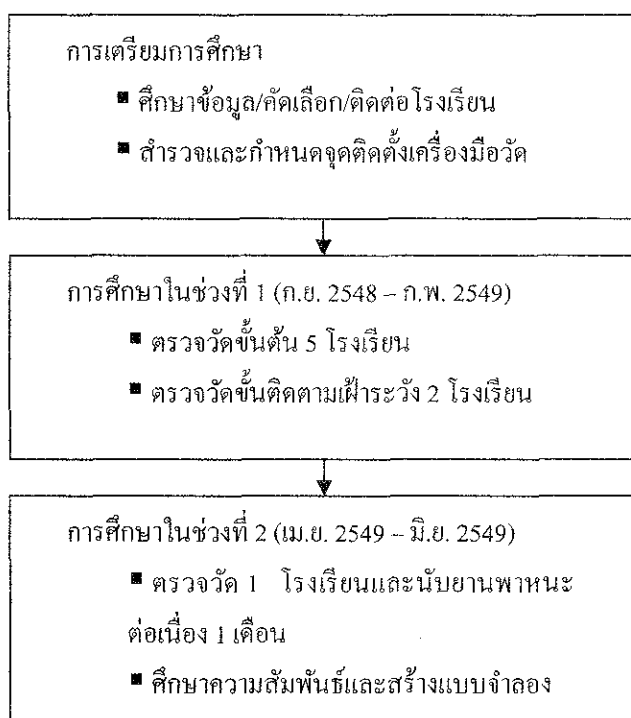
Fuller et al. (2002) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย  $PM_{10}$  บริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไปในเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยสำหรับสร้างแบบจำลอง และกำหนดตัวแปร  $NO_x$  เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากสถานีตรวจวัดเดียวกันกับ  $PM_{10}$  เป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งผลของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.8 โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ได้เฉพาะเมืองลอนดอนเท่านั้น

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษานี้ได้กำหนดศึกษาในพื้นที่เขตเทศบาลนครนครราชสีมา และแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 คือ 1) การเตรียมการศึกษา 2) การศึกษาในช่วงที่ 1 และ 3) การศึกษาในช่วงที่ 2 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนของการศึกษาดังต่อไปนี้

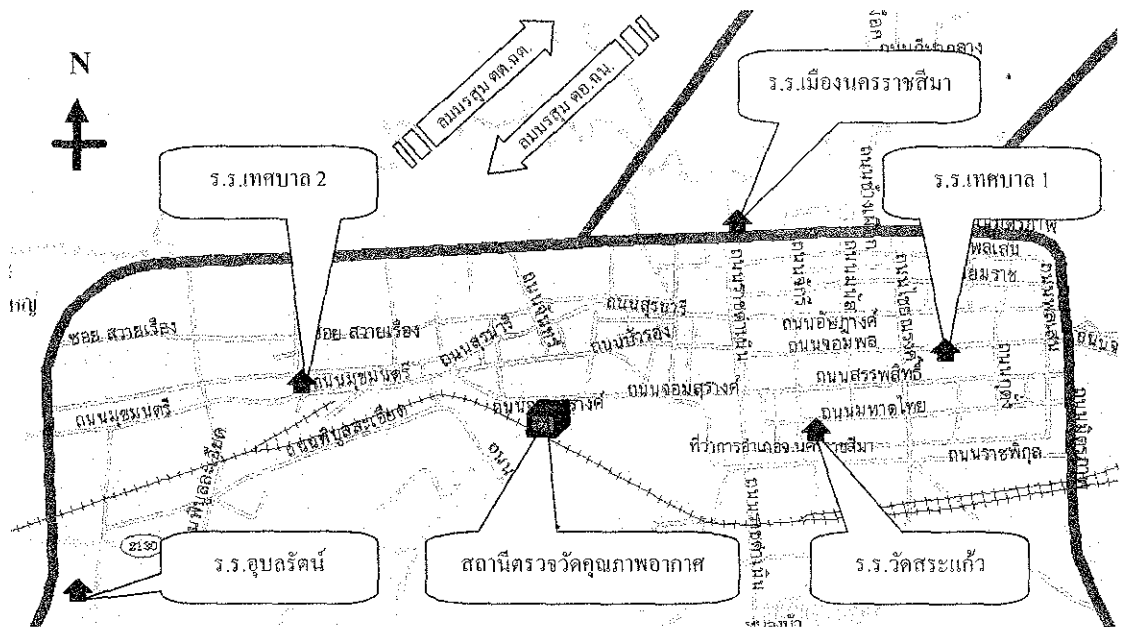


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของการศึกษา

#### (1) การเตรียมการศึกษา

การเตรียมการศึกษา ได้แก่ การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสถานศึกษาในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา และคัดเลือกและติดต่อโรงเรียนที่จะเข้าร่วมในโครงการ โดยมีแนวทางพิจารณาคัดเลือกจากความเหมาะสมด้านตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียน โดยให้ความสำคัญกับโรงเรียนที่ตั้งอยู่ติดถนนใหญ่ อยู่ในย่านที่มีการจราจรหนาแน่นมากถึงปานกลาง และแต่ละแห่งอยู่กระจายกันพอที่จะครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของเขตเทศบาลฯ ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งความเหมาะสมด้านการติดตั้ง

เครื่องมือวัด และความสนใจในการเข้าร่วมโครงการศึกษา ทั้งนี้ จากการคัดเลือก ติดต่อก และสำรวจความเหมาะสมในการตรวจวัด ได้โรงเรียนที่ร่วมในการศึกษาจำนวน 5 โรงเรียน ได้แก่ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา โรงเรียนอุบลรัตน์ โรงเรียนวัดสระแก้ว โรงเรียนเทศบาล 1 และโรงเรียนเทศบาล 2 ตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนทั้ง 5 แห่ง และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษที่ตั้งอยู่บริเวณบ้านพักทหารมณฑลทหารที่ 21 ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา แสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

## (2) การศึกษาช่วงที่ 1

การศึกษาช่วงที่ 1 ทำการตรวจวัดระดับฝุ่น  $PM_{10}$  ในโรงเรียนที่คัดเลือกไว้ 5 แห่ง โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง (High Volume  $PM_{10}$  Sampler) ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดให้ใช้ตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็ก ทั้งนี้ขั้นตอนและวิธีการตรวจวัด ตั้งแต่การเตรียมกระดาษกรอง การปรับเทียบ การตรวจวัด และการคำนวณ ใช้วิธีตามคู่มือการตรวจวัดฝุ่นและก๊าซในสิ่งแวดล้อมของกรมอนามัย (กรมอนามัย, 2544) และคู่มือของเครื่อง

การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในการศึกษาช่วงที่ 1 ยังแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจวัดขั้นต้น โดยทำการตรวจวัดระดับฝุ่นทั้ง 5 โรงเรียน โรงเรียนละ 3 วัน เพื่อประเมินสถานการณ์เบื้องต้น และการตรวจวัดขั้นติดตามเฝ้าระวัง โดยทำการตรวจวัดเฉพาะโรงเรียนที่มี



ระดับฝุ่นสูงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน เพื่อศึกษาแนวโน้มระดับฝุ่นและปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลกับระดับของฝุ่น

### (3) การศึกษาช่วงที่ 2

การศึกษาช่วงที่ 2 คัดเลือก โรงเรียนที่มีแนวโน้มปัญหามลพิษและปัจจัยอื่นที่เหมาะสมเพื่อทำการเก็บตัวอย่างระดับฝุ่นขนาดเล็กอย่างต่อเนื่องประมาณ 1 เดือน พร้อมกับเก็บข้อมูลตัวแปรอื่นที่คาดว่าจะมีผลต่อระดับของฝุ่นในช่วงเวลาที่ตรวจวัด ได้แก่ ปริมาณยานพาหนะที่ผ่านถนนเส้นหน้าโรงเรียนในช่วงโมงเร่งด่วนเช้าและเย็น และข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์และพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์

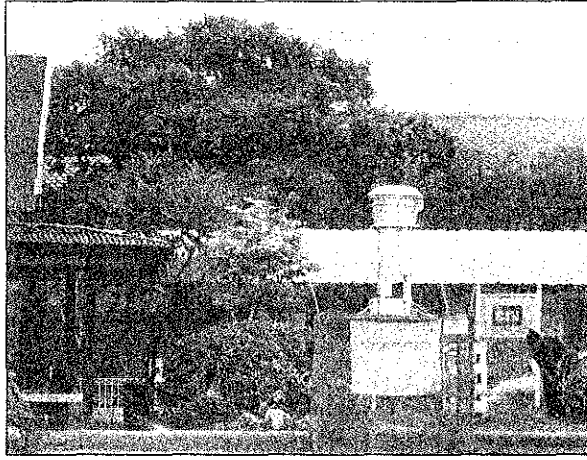
### 3.2 การตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูล

#### (1) การตรวจวัดความเข้มข้นของระดับฝุ่น $PM_{10}$

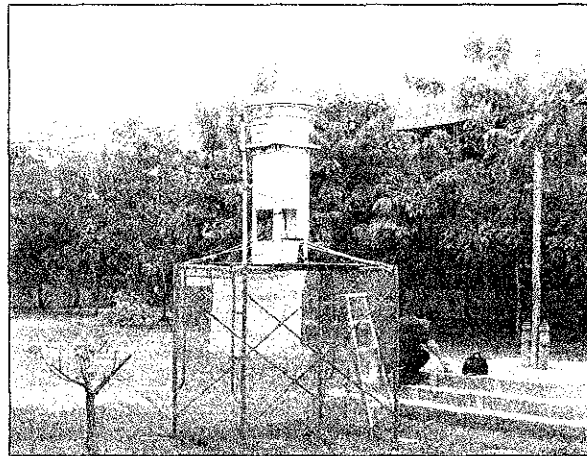
การตรวจวัดระดับ  $PM_{10}$  ทำโดยการตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวในโรงเรียนเพื่อเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง โดยกำหนดให้ช่องทางอากาศไหลเข้าเครื่องเก็บตัวอย่างอยู่สูงกว่าระดับพื้นที่ดินอย่างน้อย 1.5 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร โดยตำแหน่งจุดที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่โล่งภายนอกอาคารเรียนและห่างจากถนนมากกว่า 50 เมตร รูปที่ 3.3 แสดงสถานีตรวจวัดชั่วคราวในโรงเรียนทั้ง 5 แห่ง และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ

ขั้นตอนของการเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  สามารถสรุปได้ดังนี้

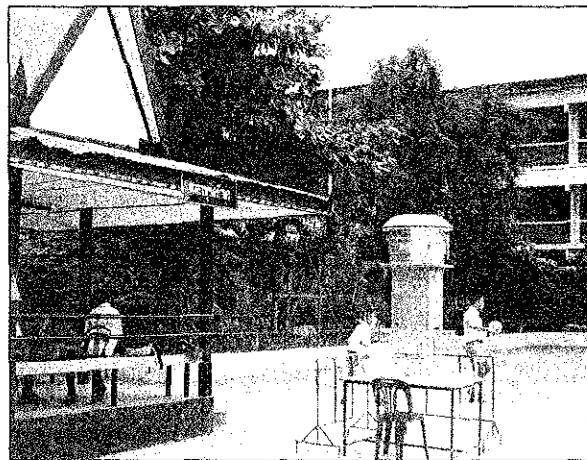
- 1) อุปกรณ์ที่ใช้ คือ เครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง โดยสอบเทียบปั๊มให้มีอัตราการไหลของอากาศเป็น 1.13 ลบ.ม./นาที +/- 10%
- 2) การเตรียมกระดาศกรองใยแก้ว เริ่มจากอบกระดาศกรองที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำมาเข้าสู่ตู้ความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักกระดาศกรองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ในพื้นที่ควบคุมให้มีอุณหภูมิ 20 °C ± 1 °C และความชื้น 50% ± 1% บันทึกค่าน้ำหนักก่อน ( $W_1$ )
- 3) ใส่กระดาศกรองที่ชั่งน้ำหนักแล้วลงในที่วางและยึดกระดาศกรอง ใส่กระดาศบันทึกอัตราการไหล และตั้งเวลาเปิดปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง โดยกำหนดช่วงเวลาตั้งตั้งแต่ 0.00 น. ถึง 0.00 น. ของวันถัดไปรวมระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง



ก) โรงเรียนเมืองนครราชสีมา



ข) โรงเรียนอุบลรัตน์

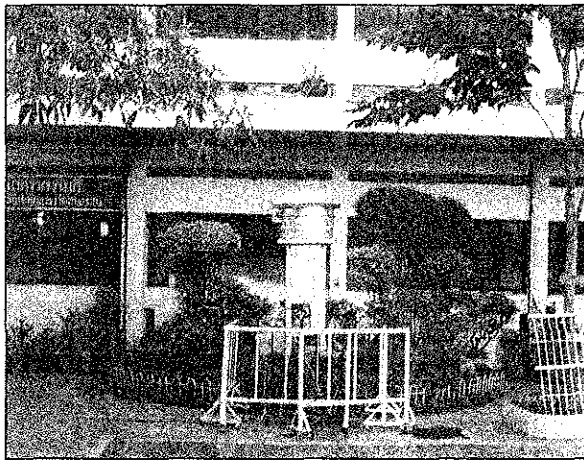


ค) โรงเรียนวัดสระแก้ว

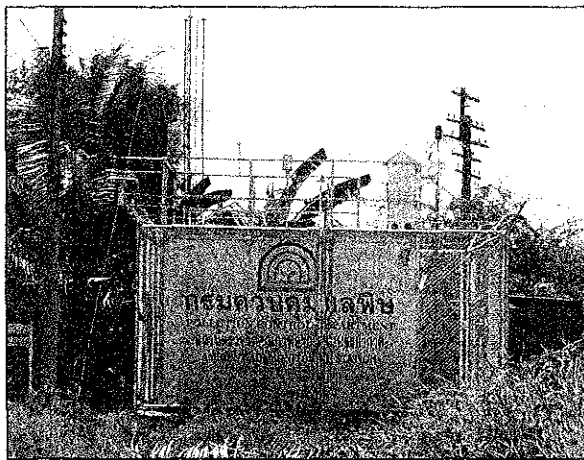
รูปที่ 3.3 สถานีตรวจวัดระดับความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{10}$  ในการศึกษา



ง) โรงเรียนเทศบาล 1



จ) โรงเรียนเทศบาล 2



ฉ) สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ จ.นครราชสีมา

รูปที่ 3.3 สถานีตรวจวัดระดับความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{10}$  ในการศึกษา (ต่อ)

- 4) เมื่อเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  ทำงานครบ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างกระดาษกรองนำไปเข้าสู่ชุดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง ( $W_2$ ) ด้วยอุปกรณ์และสภาวะแวดล้อมเช่นเดียวกับก่อนนำกระดาษกรองมาใช้เก็บตัวอย่าง
- 5) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของตัวอย่าง  $PM_{10}$  จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความเข้มข้นของ } PM_{10} \text{ (มก.ก./ลบ.ม.)} = [(W_1 - W_2) \times 10^6] / V_s$$

โดยที่  $W_1$  คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (กรัม)

$V_s$  คือ ปริมาตรอากาศในการเก็บตัวอย่าง (ลบ.ม.)

ทั้งนี้ รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ เครื่องมือและอุปกรณ์ และการตั้งสถานีตรวจวัดแบบชั่วคราวด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง จากคู่มือต่างๆ และจากประสบการณ์ในงานวิจัยนี้ ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ก

## (2) การเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะ

ข้อมูลปริมาณยานพาหนะได้จากการเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะที่แล่นผ่านจุดเก็บข้อมูลโดยไม่พิจารณาทิศทางจราจรในช่วงเวลาที่ศึกษา โดยแบ่งช่วงเวลาที่ศึกษาออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เวลา 8:00 น. ถึง 9:00 น. และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น เวลา 16:00 น. ถึง 17:00 น. ในการศึกษาี้ กำหนดจุดเก็บข้อมูลบริเวณถนนมิตรภาพหน้าโรงเรียนเมืองนครราชสีมา ทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีนับยานพาหนะแยกประเภท โดยแบ่งประเภทของยานพาหนะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ (MC) รถยนต์นั่งส่วนบุคคล 4 ล้อ (PC) รถบรรทุก 4 ล้อ (LV) และรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไป (HV) และให้ทั้ง 4 ประเภทรวมกันเป็นตัวแปรสำหรับรถทุกประเภท (TV)

## (3) การรวบรวมข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลมลพิษทางอากาศและอุตุนิยมวิทยาเป็นข้อมูลในช่วงเวลาที่สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ทำการศึกษา โดยขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ ที่ตั้งอยู่บริเวณบ้านพักทหารมณฑลทหารที่ 21 ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ข้อมูลทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สำหรับข้อมูลมลพิษทางอากาศประกอบด้วยฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) และโอโซน ( $O_3$ ) ซึ่งตรวจวัดโดยใช้วิธีตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย

อุณหภูมิ (T) ความกดอากาศ (P) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ปริมาณรังสีสุทธิ (NR) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (GR) และความเร็วลม (WS)

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

#### (1) การวิเคราะห์สถิติพรรณนาและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

การวิเคราะห์สถิติพรรณนาเป็นการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น อาทิ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (COV) ของข้อมูลระดับความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจวัดได้ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกัน โดยค่า COV เป็นค่าที่แสดงการกระจายของข้อมูล เกิดจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ย เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย สามารถเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูล โดยข้อมูลชุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงกว่า 1 แสดงถึงการกระจายข้อมูลมากและอาจไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ทำเพื่อพิจารณาหาว่าระดับฝุ่นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอื่นหรือไม่ ความสัมพันธ์มีมากหรือน้อยและเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงข้าม โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) โดยการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $PM_{10}$  กับข้อมูลปริมาณยานพาหนะประเภทต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $PM_{10}$  กับข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีกรมควบคุมมลพิษ และความสัมพันธ์ระหว่าง  $PM_{10}$  กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีกรมควบคุมมลพิษ

#### (2) การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาที่กำหนดการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) เพื่อสร้างสมการถดถอยสำหรับทำนาย  $PM_{10}$  ซึ่งสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) กับตัวแปรอิสระ (independent variable) ตัวเดียวหรือหลายตัวที่มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้น โดยการศึกษาใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สร้างแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความถดถอย กำหนดการใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยด้วยวิธี Stepwise Regression โดยในการคัดเลือกตัวแปรด้วยการทดสอบแบบ F (F-test) กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 เป็นเกณฑ์ของการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการ และกำหนดระดับนัยสำคัญ 0.10 เป็นเกณฑ์ของการคัดเลือกตัวแปรออกจากสมการ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การศึกษาช่วงที่ 1

##### 4.1.1 การตรวจวัดขั้นต้น

การศึกษาระดับความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{10}$  เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในการศึกษาช่วงที่ 1 โดยการตรวจวัดในบริเวณ โรงเรียนจำนวน 5 โรงเรียนในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา โรงเรียนละ 3 วัน ในช่วงระหว่างวันที่ 16 ตุลาคม 2548 ถึงวันที่ 5 ธันวาคม 2548 ได้ผลดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 ซึ่งได้แสดงข้อมูลค่า  $PM_{10}$  ที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษในวันเดียวกันไว้เพื่อเปรียบเทียบด้วย

จากตารางดังกล่าวพบว่าผลการตรวจวัดใน โรงเรียนทั้ง 15 ตัวอย่าง มีค่า  $PM_{10}$  อยู่ในช่วง 23.40-95.47 มค.ก./ลบ.ม. และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.63 มค.ก./ลบ.ม. เมื่อเปรียบเทียบกับค่า  $PM_{10}$  ในวันเดียวกันที่วัดได้ ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษที่ตั้งบริเวณบ้านพักทหารมณฑลทหารที่ 21 ซึ่งถือเป็นจุดที่ใช้เป็นตัวแทนคุณภาพอากาศของเขตเทศบาลนครนครราชสีมา พบว่าส่วนมากค่าที่วัดได้ในโรงเรียนมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้จากสถานีกรมควบคุมมลพิษ และจากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่า ค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ที่วัดได้ในโรงเรียนมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ที่วัดได้จากสถานีกรมควบคุมมลพิษอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นข้อมูลโดยรวมจึงชี้ว่าบริเวณโรงเรียนมีระดับฝุ่นต่ำกว่าพื้นที่ทั่วไปในเขตเมือง

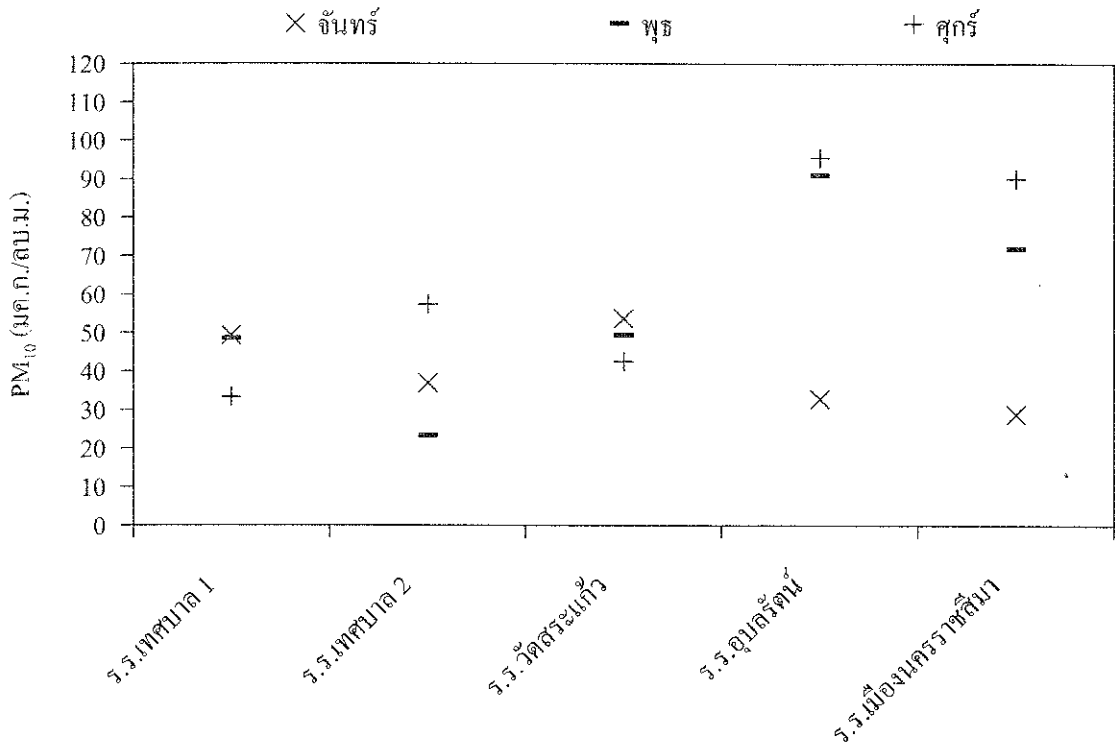
เมื่อแยกพิจารณาผลการตรวจวัดเป็นรายวันเพื่อศึกษาอิทธิพลของวันในสัปดาห์ต่อระดับความเข้มข้นของฝุ่น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าที่โรงเรียนเทศบาล 1 และ โรงเรียนวัดสระแก้ว ในวันจันทร์มีค่าระดับฝุ่นสูงสุดเท่ากับ 49.30 มค.ก./ลบ.ม. และ 53.66 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ สำหรับโรงเรียนเทศบาล 2 โรงเรียนอนุบาลรัตน และ โรงเรียนเมืองนครนครราชสีมา มีค่าระดับฝุ่นสูงสุดในวันศุกร์โดยมีค่าเท่ากับ 57.35 มค.ก./ลบ.ม. 95.47 มค.ก./ลบ.ม. และ 90.05 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งจากผลข้างต้นไม่พบความสัมพันธ์ของระดับฝุ่นกับวันต่างๆ ของสัปดาห์

อนึ่ง สังเกตได้ว่าค่าที่วัดได้ในวันที่ 5 ธันวาคม 2548 มีค่าค่อนข้างต่ำทั้งบริเวณ โรงเรียน และสถานีของกรมควบคุมมลพิษเนื่องจากเป็นวันหยุดราชการซึ่งมีการจราจรเบาบาง

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดค่าระดับ PM<sub>10</sub> ในการศึกษาช่วงที่ 1

| สถานี               | วันที่                         | PM <sub>10</sub><br>(มค.ก./ลบ.ม.) | PM <sub>10</sub> ของสถานี คพ.<br>ในวันเดียวกัน<br>(มค.ก./ลบ.ม.) |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|
| ร.ร.เทศบาล 1        | วันพุธที่ 16 ตุลาคม 2548       | 48.51                             | - <sup>1</sup>  |
|                     | วันศุกร์ที่ 18 ตุลาคม 2548     | 33.26                             | -   |
|                     | วันจันทร์ที่ 21 ตุลาคม 2548    | 49.30                             | 103.71  |
| ร.ร.เทศบาล 2        | วันจันทร์ที่ 7 พฤศจิกายน 2548  | 36.92                             | 55.79   |
|                     | วันพุธที่ 9 พฤศจิกายน 2548     | 23.40                             | 31.74   |
|                     | วันศุกร์ที่ 11 พฤศจิกายน 2548  | 57.35                             | 52.58   |
| ร.ร.วัดสระแก้ว      | วันจันทร์ที่ 14 พฤศจิกายน 2548 | 53.66                             | 92.46   |
|                     | วันพุธที่ 16 พฤศจิกายน 2548    | 49.40                             | 64.00   |
|                     | วันศุกร์ที่ 18 พฤศจิกายน 2548  | 42.51                             | 54.28   |
| ร.ร.อุบลรัตน์       | วันพุธที่ 23 พฤศจิกายน 2548    | 91.00                             | 97.00   |
|                     | วันศุกร์ที่ 25 พฤศจิกายน 2548  | 95.47                             | -   |
|                     | วันจันทร์ที่ 5 ธันวาคม 2548    | 28.85                             | 34.56   |
| ร.ร.เมืองนครราชสีมา | วันพุธที่ 23 พฤศจิกายน 2548    | 71.88                             | 97.00   |
|                     | วันศุกร์ที่ 25 พฤศจิกายน 2548  | 90.05                             | -   |
|                     | วันจันทร์ที่ 5 ธันวาคม 2548    | 32.85                             | 34.56   |
| จำนวนตัวอย่าง       |                                | 15                                | 11  |
| ค่าเฉลี่ย           |                                | 53.63                             | 65.24   |
| ค่าสูงสุด           |                                | 95.47                             | 103.71  |
| ค่าต่ำสุด           |                                | 23.40                             | 31.74   |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |                                | 23.39                             | 27.59   |

<sup>1</sup> ค่าการตรวจวัดขาดหาย (missing)



รูปที่ 4.1 ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบริเวณโรงเรียน แยกตามวัน

จากข้อมูลผลการตรวจวัดรายวันข้างต้น นำมาวิเคราะห์สถิติพรรณนาได้ดังสรุปในตารางที่ 4.2 ซึ่งในตารางได้แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาเดียวกันไว้เพื่อเปรียบเทียบด้วย โดยจากตารางพบว่าค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ของโรงเรียนทั้ง 5 แห่งอยู่ในช่วง 39.22-73.11 มก.ก./ลบ.ม. โดยสังเกตได้ว่า โรงเรียนอุบลรัตน์และโรงเรียนเมืองมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง ส่วน โรงเรียนเทศบาล 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ในช่วงเดียวกันที่วัดได้ ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีเพียงค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ในโรงเรียนอุบลรัตน์เพียงแห่งเดียวที่มีค่าสูงกว่าค่าของสถานีกรมควบคุมมลพิษเล็กน้อย ส่วนค่าเฉลี่ยในโรงเรียนที่เหลืออีก 4 แห่ง มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากสถานีกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งเป็นไปตามแนวโน้มที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว



ตารางที่ 4.2 สถิติพรรณนาของข้อมูล  $PM_{10}$  ในการศึกษาช่วงที่ 1

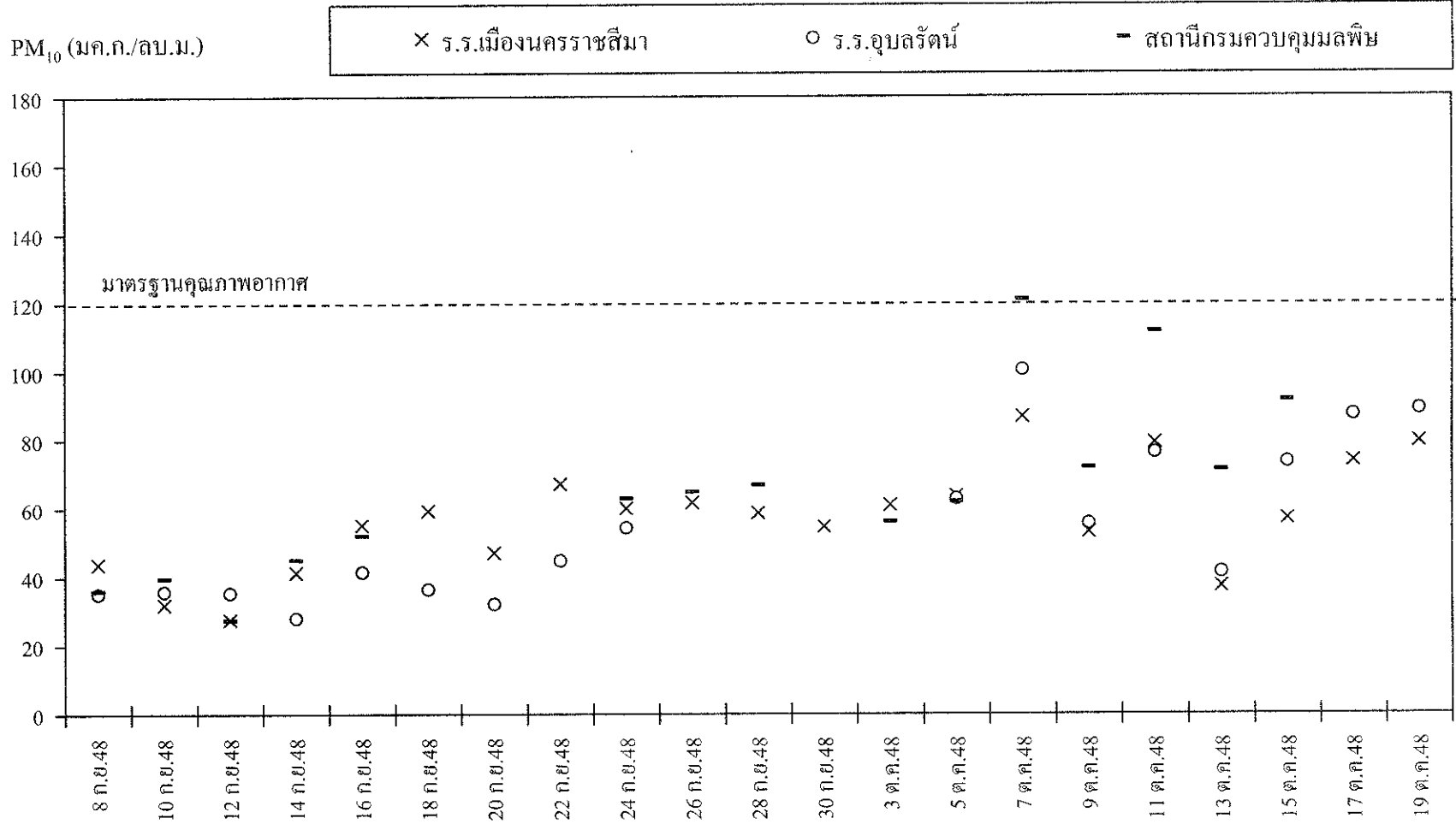
| สถานี               | จำนวน<br>ตัวอย่าง | ค่าเฉลี่ย | ค่า<br>ต่ำสุด | ค่า<br>สูงสุด | S.D.  | ค่าเฉลี่ย $PM_{10}$ ของสถานี คพ.<br>ในช่วงเวลาเดียวกัน |
|---------------------|-------------------|-----------|---------------|---------------|-------|--|
| ร.ร.เทศบาล 1        | 3                 | 43.69     | 33.26         | 49.31         | 9.04  | 103.71   |
| ร.ร.เทศบาล 2        | 3                 | 39.22     | 23.40         | 57.35         | 17.09 | 46.70  |
| ร.ร.วัดสระแก้ว      | 3                 | 48.52     | 42.51         | 53.66         | 5.63  | 70.24  |
| ร.ร.อุบลรัตน์       | 3                 | 73.11     | 32.85         | 95.47         | 34.93 | 65.78  |
| ร.ร.เมืองนครราชสีมา | 3                 | 63.59     | 28.85         | 90.05         | 31.43 | 65.78  |

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาช่วงแรกเพื่อพิจารณาสถานการณ์ระดับของปัญหา  $PM_{10}$  ในบริเวณโรงเรียนในเขตเทศบาลนครราชสีมา โดยเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปที่กำหนดให้มีค่าไม่สูงเกิน 120 มค.ก./ลบ.ม. พบว่าระดับ  $PM_{10}$  ในทุกโรงเรียนมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ และส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าพื้นที่ทั่วไปในเขตเมือง ดังนั้น ผลการศึกษาในขั้นตอนนี้จึงชี้ว่าสถานการณ์ของ  $PM_{10}$  ในบริเวณโรงเรียนในเขตเทศบาลนครราชสีมาอยู่ในเกณฑ์ปกติและไม่มีปัญหาคุณภาพอากาศ

จากข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นและสภาพแวดล้อมทางกายภาพของโรงเรียนทั้ง 5 แห่ง ผู้วิจัยได้เลือกโรงเรียนเมืองนครราชสีมาและโรงเรียนอุบลรัตน์เพื่อตั้งสถานีตรวจวัดแบบชั่วคราวเพื่อทำการศึกษาต่อในขั้นติดตามเฝ้าระวัง เนื่องจากเป็นโรงเรียนที่มีผลการตรวจวัดค่าระดับฝุ่นสูงและมีแนวโน้มปัญหามลพิษอากาศ

#### 4.1.2 การตรวจวัดขั้นติดตามเฝ้าระวัง

การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่น  $PM_{10}$  ณ สถานีตรวจวัดโรงเรียนเมืองนครราชสีมาและโรงเรียนอุบลรัตน์ในขั้นติดตามเฝ้าระวัง ซึ่งแบ่งการตรวจวัดเป็น 2 ช่วงฤดู คือ ช่วงฤดูฝน ตั้งแต่วันที่ 8 กันยายน 2548 ถึงวันที่ 19 ตุลาคม 2548 ตรวจวัดทุก 2 วัน ได้ผลการตรวจวัดจำนวน 21 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (การตรวจวัดได้ดำเนินการมาก่อนการตรวจวัดขั้นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลในฤดูฝนมากเพียงพอ) และช่วงฤดูหนาว ตั้งแต่วันที่ 21 พฤศจิกายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549 โดยตรวจวัดทุก 2 วัน รวมเป็นจำนวน 42 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยทั้งสองรูปได้แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษในวันเดียวกันไว้เพื่อเปรียบเทียบด้วย



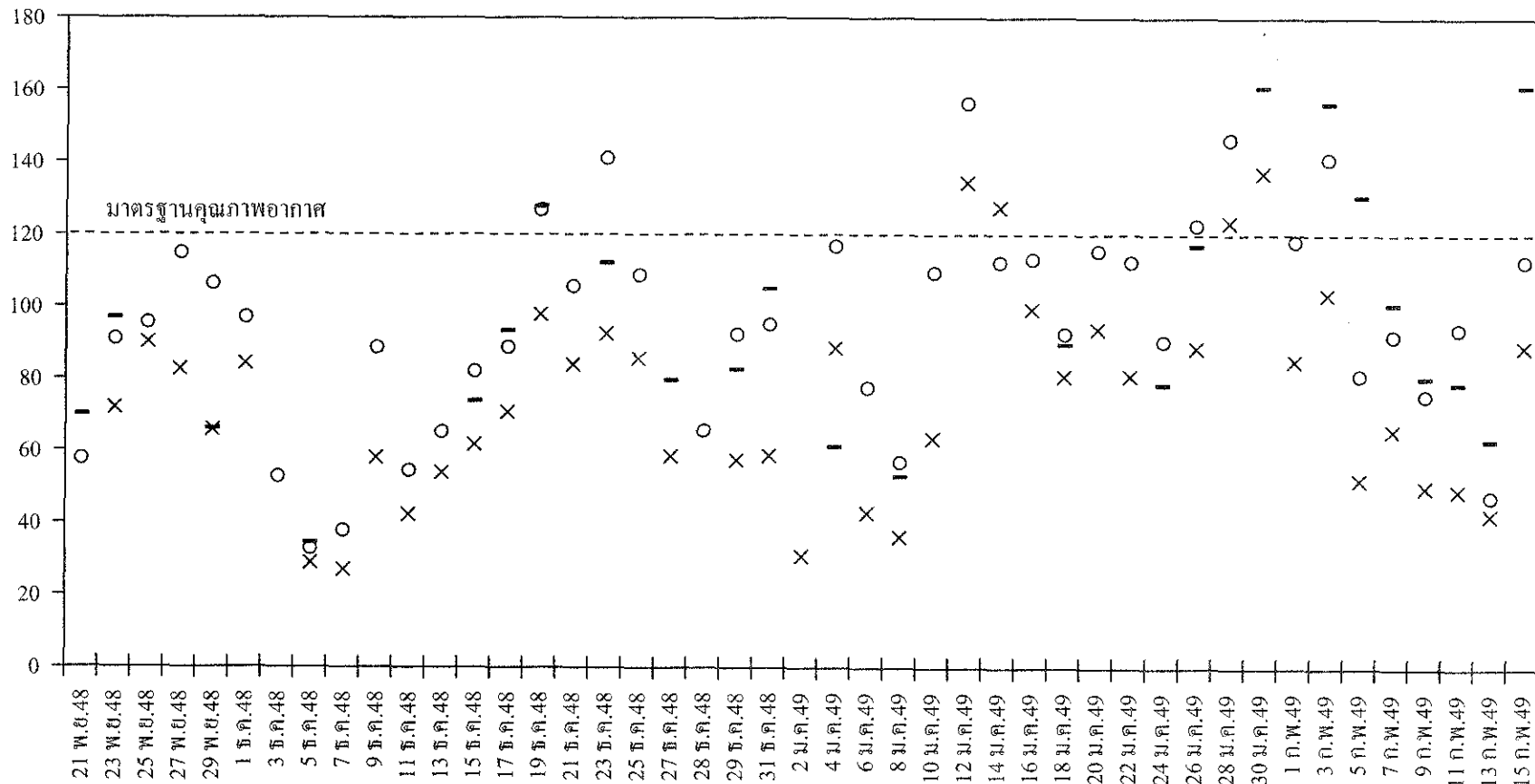
รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูฝนในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

PM<sub>10</sub> (มค.ก./ลบ.ม.)

× ร.ร.เมืองนครราชสีมา

○ ร.ร.อุบลรัตน์

- สถานีกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูหนาวในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในช่วงฤดูฝน พบว่าระดับความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไม่เกิน 120 มค.ก./ลบ.ม. จำนวน 1 ตัวอย่าง พบที่สถานีกรมควบคุมมลพิษ และผลการตรวจวัดในช่วงฤดูหนาว พบว่าระดับความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ จำนวน 15 ตัวอย่าง คือ ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษ 5 ตัวอย่าง สถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา 4 ตัวอย่าง และสถานีโรงเรียนอุบลรัตน์ 6 ตัวอย่าง โดยพบว่าช่วงเดือนมกราคม 2549 เป็นช่วงเวลาที่พบผลการตรวจวัดเกินค่ามาตรฐานบ่อยครั้งที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลย้อนหลัง ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษ ช่วงปี พ.ศ.2543-2548 ที่พบว่าช่วงเดือนมกราคมของทุกปี ระดับความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศบ่อยครั้งที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงเดือนอื่นๆ ในรอบปี คือ เฉลี่ย 7 ครั้งต่อเดือน

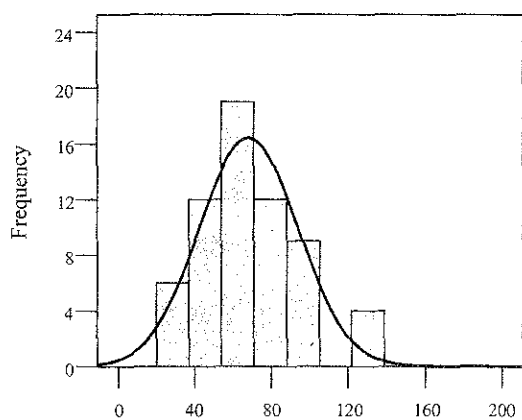
นอกจากนี้ จากรูปข้างต้นมีข้อสังเกตว่าระดับความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจวัดได้จากทั้งสามสถานีตรวจวัดมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามกัน ซึ่งแสดงว่าระดับความเข้มข้นของฝุ่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีแนวโน้มมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Shaddick and Wakefield (2002) ที่ระบุว่า  $PM_{10}$  ระหว่างสถานีตรวจวัดต่างๆ มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน

ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา สถานีโรงเรียนอุบลรัตน์ และสถานีกรมควบคุมมลพิษ โดยให้สัญลักษณ์ตัวแปรของแต่ละสถานีเป็น MST UST และ 47T ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.3 และฮิสโตแกรมของข้อมูลชุดดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งพบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงใกล้เคียงแบบปกติ และจากการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ K-S test พบว่าค่า  $PM_{10}$  ของทั้งสามแห่งได้ผลการทดสอบยอมรับสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

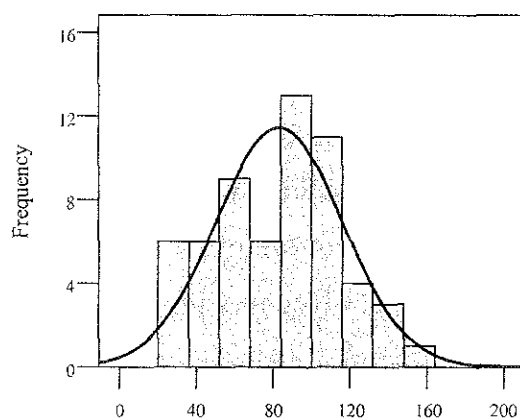
ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีกรมควบคุมมลพิษ สถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และสถานีโรงเรียนอุบลรัตน์ มีค่าเท่ากับ 83.39 มค.ก./ลบ.ม. 68.26 มค.ก./ลบ.ม. และ 83.28 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดในโรงเรียนกับจากสถานีกรมควบคุมมลพิษด้วยวิธีทดสอบทางสถิติแบบ Paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่าเฉลี่ยของสถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของสถานีกรมควบคุมมลพิษ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ค่าเฉลี่ยของสถานีโรงเรียนอุบลรัตน์มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของสถานีกรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ 4.3 สถิติพรรณนาของข้อมูล  $PM_{10}$  ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

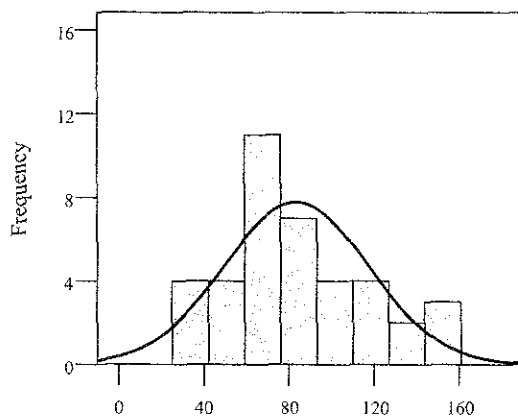
| ช่วงฤดู | สถานี | จำนวนข้อมูล | ข้อมูลขาดหาย | ค่าเฉลี่ย (มค.ก./ลบ.ม.) | ค่ามัธยฐาน (มค.ก./ลบ.ม.) | S.D.  | COV  |
|---------|-------|-------------|--------------|-------------------------|--------------------------|-------|------|
| ฤดูฝน   | MST   | 21          | 0            | 57.02                   | 58.55                    | 15.45 | 0.27 |
|         | UST   | 17          | 4            | 54.63                   | 44.74                    | 22.78 | 0.42 |
|         | 47T   | 15          | 6            | 65.28                   | 62.92                    | 26.25 | 0.40 |
| ฤดูหนาว | MST   | 41          | 4            | 74.02                   | 71.88                    | 27.98 | 0.38 |
|         | UST   | 42          | 3            | 94.87                   | 94.49                    | 29.13 | 0.31 |
|         | 47T   | 24          | 24           | 94.71                   | 86.17                    | 33.86 | 0.36 |
| รวม     | MST   | 62          | 4            | 68.26                   | 62.55                    | 25.64 | 0.38 |
|         | UST   | 59          | 7            | 83.28                   | 88.72                    | 32.88 | 0.39 |
|         | 47T   | 39          | 27           | 83.39                   | 78.52                    | 34.03 | 0.41 |



PM10@MST (มค.ก./ลบ.ม.)



PM10@UST (มค.ก./ลบ.ม.)



PM10@47T (มค.ก./ลบ.ม.)

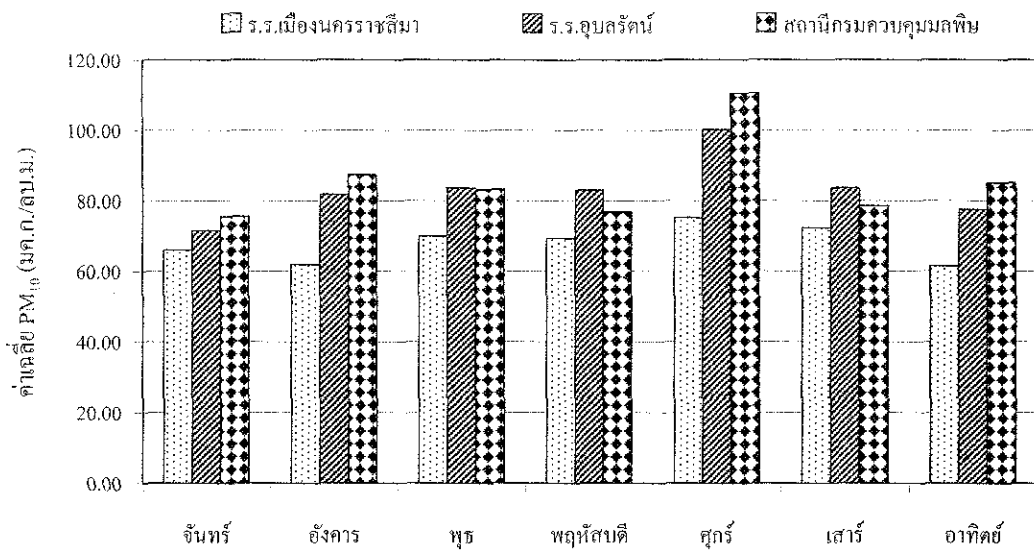
รูปที่ 4.4 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล  $PM_{10}$  ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

จากผลดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยระดับฝุ่นบริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยระดับฝุ่นทั่วไปในเมือง ส่วนค่าเฉลี่ยระดับฝุ่นบริเวณ โรงเรียนอุบลรัตน์มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยระดับฝุ่นทั่วไปในเขตเมือง ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจเป็นผลจากทิศทางลมและตำแหน่งของจุดตรวจวัด โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวบริเวณสถานีกรมควบคุมและ โรงเรียนอุบลรัตน์อยู่ใต้ลมของลมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้พื้นที่ทั้งสองสถานีมีแนวโน้มได้รับฝุ่นละอองจากการพัดพาของลมตะวันตกเฉียงเหนือมากกว่าพื้นที่บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมาซึ่งตั้งอยู่ด้านเหนือของเมืองและตั้งอยู่เหนือลมของลมตะวันออกเฉียงเหนือ

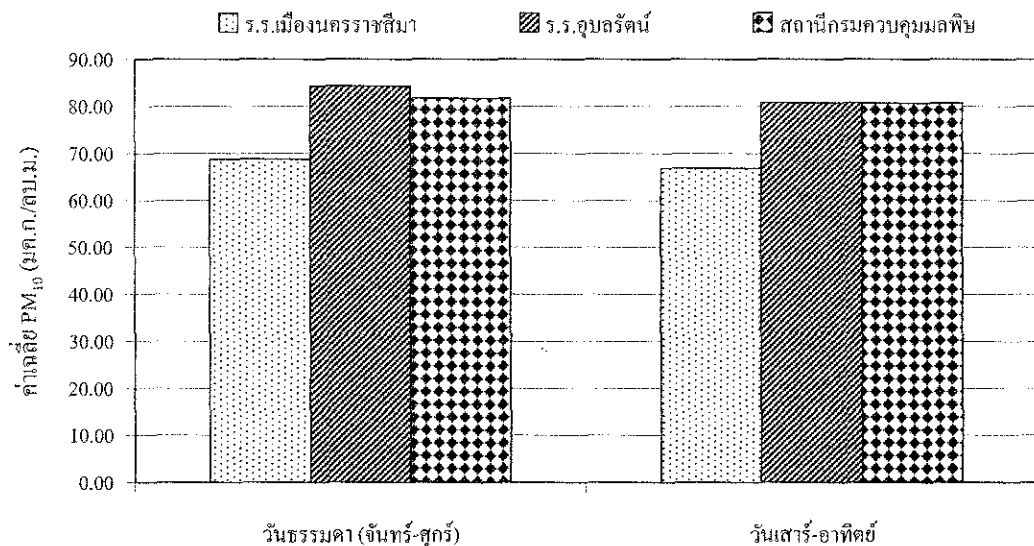
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น ณ จุดเดียวกันในแต่ละฤดูกาล โดยใช้วิธีทดสอบทางสถิติแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นในช่วงฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 สถานี ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูล  $PM_{10}$  ในกรุงเทพฯ ของ Thongsanit et al. (2003) และผลวิจัยที่พบในเมืองอื่นๆ (Slini, 2006) และแสดงถึงอิทธิพลของฤดูกาลต่อระดับของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยในฤดูหนาวมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลให้ระดับฝุ่นละอองสูง อาทิ ความแห้งแล้ง การเผาป่า และเสถียรภาพบรรยากาศแบบคงตัว

ผลการวิเคราะห์เพื่อศึกษาอิทธิพลของวันในสัปดาห์ต่อความแปรปรวนของระดับ  $PM_{10}$  แสดงในรูปแบบที่ 4.5 ซึ่งพบว่าไม่เห็นแนวโน้มความแตกต่างของระดับฝุ่นในวันต่างๆ ของสัปดาห์ชัดเจนนัก แต่สังเกตว่าค่าเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  ทั้ง 3 สถานีมีค่าสูงสุดในวันศุกร์ ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ในการศึกษานี้ยังไม่สามารถระบุสาเหตุของการเกิดค่าสูงสุดในวันดังกล่าวได้ ส่วนรูปที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ระหว่างวันธรรมดาและวันเสาร์-อาทิตย์ของแต่ละสถานี โดยค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ในวันธรรมดาและวันเสาร์-อาทิตย์ ของทั้ง 3 แห่ง มีดังนี้ คือ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.75 มก.ก./ลบ.ม. และ 66.86 มก.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ โรงเรียนอุบลรัตน์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.29 มก.ก./ลบ.ม. และ 80.76 มก.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ และสถานีกรมควบคุมมลพิษ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.71 มก.ก./ลบ.ม. และ 80.70 มก.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยวันธรรมดาส่งกว่าวันเสาร์-อาทิตย์เล็กน้อยทั้ง 3 กรณี แต่จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่าเฉลี่ย  $PM_{10}$  ในวันธรรมดาไม่ได้สูงกว่าค่าของวันเสาร์-อาทิตย์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 3 กรณี จึงอาจหมายความว่ากิจกรรมในวันธรรมดาและวันเสาร์-อาทิตย์ไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของระดับฝุ่นละอองในบริเวณ โรงเรียนและบริเวณอื่นๆ ในเขตเมืองอย่างเด่นชัด



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของ PM<sub>10</sub> ในวันต่างๆ ของสัปดาห์



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของ PM<sub>10</sub> ในวันธรรมดาและวันเสาร์ถึงอาทิตย์

## 4.2 การศึกษาช่วงที่ 2

จากผลการศึกษาในขั้นที่ 1 โรงเรียนเมืองนครราชสีมาได้ถูกเลือกเป็นโรงเรียนสำหรับการศึกษาต่อเนื่องในขั้นที่ 2 เพราะนอกจากมีระดับฝุ่นเฉลี่ยค่อนข้างสูงแล้ว ยังเป็นโรงเรียนที่ตั้งอยู่ติดถนนสายหลักของเมืองที่มีปริมาณการจราจรสูง คือ ถนนมิตรภาพ และมียานพาหนะคับคั่งมากใน

ช่วงเวลารับ-ส่งเด็กนักเรียน ประกอบกับมีจำนวนนักเรียนมาก จึงมีความสำคัญและเหมาะสมสำหรับ ทำการศึกษา โดยการศึกษาในขั้นนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างระดับฝุ่นขนาดเล็กอย่างต่อเนื่องพร้อมกับ เก็บข้อมูลตัวแปรอื่นที่คาดว่าจะมีผลต่อระดับของฝุ่นในช่วงเวลาที่ตรวจวัด ได้แก่ ปริมาณ ยานพาหนะที่ผ่านถนนเส้นหน้าโรงเรียนในชั่วโมงเร่งด่วนเช้าและเย็น และข้อมูลมลพิษอากาศและ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์และ พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์

#### 4.2.1 การตรวจวัดความเข้มข้นของระดับฝุ่น $PM_{10}$

การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นอย่างต่อเนื่องในบริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา ในช่วงระหว่างวันที่ 29 เมษายน 2549 ถึงวันที่ 5 มิถุนายน 2549 รวม 17 วัน ได้ผลการตรวจวัดได้และ การวิเคราะห์สถิติพรรณนาดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 ซึ่งในตารางและรูปดังกล่าวได้แสดง ข้อมูลการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษในวันเดียวกันไว้เพื่อเปรียบเทียบ

ผลการตรวจวัดในโรงเรียนเมืองนครราชสีมาทั้ง 17 ตัวอย่าง มีค่า  $PM_{10}$  อยู่ในช่วง 29.09-89.87 มก.ก./ลบ.ม. ส่วนผลการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาเดียวกัน จำนวน 9 ตัวอย่าง มีค่า  $PM_{10}$  อยู่ในช่วง 30.40-94.90 มก.ก./ลบ.ม. โดยข้อมูล  $PM_{10}$  ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 120 มก.ก./ลบ.ม. ดังนั้น ในช่วงเวลาที่ศึกษาระดับ  $PM_{10}$  ในบริเวณพื้นที่ศึกษาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คุณภาพอากาศ และพบแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการศึกษาช่วงที่ 1 คือ ความเข้มข้นของฝุ่นใน โรงเรียนต่ำกว่าความเข้มข้นของฝุ่นที่สถานีกรมควบคุมมลพิษ

#### 4.2.2 การเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะ

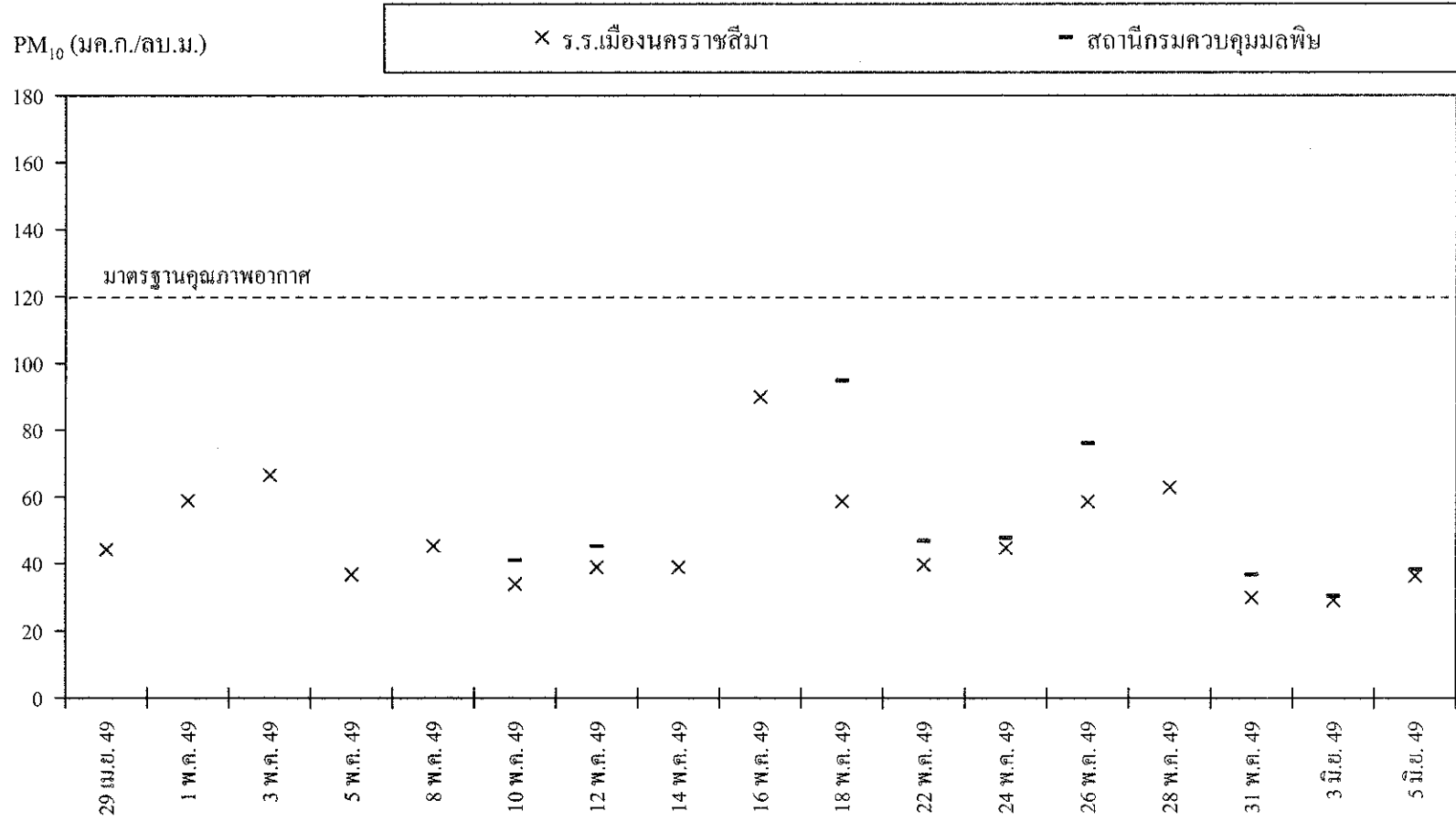
ข้อมูลปริมาณจราจรแยกประเภทยานพาหนะที่แล่นผ่านถนนมิตรภาพบริเวณด้านหน้า โรงเรียนเมืองนครราชสีมา ซึ่งดำเนินการสำรวจในช่วงเดียวกับที่ตรวจวัดระดับฝุ่น คือ ระหว่างวันที่ 29 เมษายน 2549 ถึงวันที่ 5 มิถุนายน 2549 และแยกออกเป็นการตรวจนับ 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (8:00 น. ถึง 9:00 น.) กรณีที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น และกรณีที่ 3 ช่วงเวลา เร่งด่วนเช้า-เย็น (8:00 น. ถึง 9:00 น. และ 16:00 น. ถึง 17:00 น.) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5



ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดค่าระดับ PM<sub>10</sub> ของโรงเรียนเมืองนครราชสีมาในการศึกษาช่วงที่ 2

| วันที่                         | PM <sub>10</sub> (มค.ก./ลบ.ม.) | PM <sub>10</sub> ของสถานี คพ. ในวันเดียวกัน (มค.ก./ลบ.ม.) |
|--------------------------------|--------------------------------|---|
| วันศุกร์ที่ 29 เมษายน 2549     | 44.18                          | - <sup>1</sup>  |
| วันจันทร์ที่ 1 พฤษภาคม 2549    | 58.86                          | -   |
| วันเสาร์ที่ 3 พฤษภาคม 2549     | 66.52                          | -   |
| วันศุกร์ที่ 5 พฤษภาคม 2549     | 36.67                          | -   |
| วันจันทร์ที่ 8 พฤษภาคม 2549    | 45.26                          | -   |
| วันพุธที่ 10 พฤษภาคม 2549      | 33.88                          | 40.92   |
| วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม 2549    | 38.90                          | 45.20   |
| วันอาทิตย์ที่ 14 พฤษภาคม 2549  | 38.79                          | -   |
| วันอังคารที่ 16 พฤษภาคม 2549   | 89.87                          | -   |
| วันพฤหัสบดีที่ 18 พฤษภาคม 2549 | 58.61                          | 94.90   |
| วันจันทร์ที่ 22 พฤษภาคม 2549   | 39.59                          | 46.80   |
| วันพุธที่ 24 พฤษภาคม 2549      | 44.63                          | 47.70   |
| วันศุกร์ที่ 26 พฤษภาคม 2549    | 58.55                          | 76.00   |
| วันอาทิตย์ที่ 28 พฤษภาคม 2549  | 62.83                          | -   |
| วันพุธที่ 31 พฤษภาคม 2549      | 29.88                          | 36.70   |
| วันศุกร์ที่ 3 มิถุนายน 2549    | 29.09                          | 30.40   |
| วันจันทร์ที่ 5 มิถุนายน 2549   | 36.32                          | 38.20   |
| จำนวนตัวอย่าง                  | 17                             | 9   |
| ค่าเฉลี่ย                      | 47.79                          | 50.76   |
| ค่าสูงสุด                      | 89.87                          | 94.90   |
| ค่าต่ำสุด                      | 29.09                          | 30.40   |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน            | 15.97                          | 20.94   |

<sup>1</sup> ค่าการตรวจวัดขาดหาย (missing)



รูปที่ 4.7 ปริมาณ PM<sub>10</sub> ในบริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมาในการศึกษาช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจยานพาหนะแยกประเภท

| วันที่                         | จำนวนยานพาหนะ (คัน)                       |     |      |     |      |   |      |      |     |      |                             |      |      |     |       |
|--------------------------------|---|-----|------|-----|------|---|------|------|-----|------|-----------------------------|------|------|-----|-------|
|                                | ช่วงเวลารุ่งควนเช้า (8:00 น. ถึง 9:00 น.) |     |      |     |      | ช่วงเวลารุ่งควนเย็น (16:00 น. ถึง 17:00 น.) |      |      |     |      | รวมช่วงเวลารุ่งควนเช้า-เย็น |      |      |     |       |
|                                | MC1                                       | PC1 | LV1  | HV1 | TV1  | MC2   | PC2  | LV2  | HV2 | TV2  | MC3                         | PC3  | LV3  | HV3 | TV3   |
| วันศุกร์ที่ 29 เมษายน 2549     | 1498                                      | 888 | 1436 | 200 | 4022 | 1214  | 985  | 1585 | 170 | 3954 | 2712                        | 1873 | 3021 | 370 | 7976  |
| วันจันทร์ที่ 1 พฤษภาคม 2549    | 1377                                      | 765 | 1380 | 129 | 3651 | 1235  | 898  | 1356 | 79  | 3568 | 2612                        | 1663 | 2736 | 208 | 7219  |
| วันเสาร์ที่ 3 พฤษภาคม 2549     | 2138                                      | 982 | 1689 | 184 | 4993 | -   | -    | -    | -   | -    | -                           | -    | -    | -   | -     |
| วันศุกร์ที่ 5 พฤษภาคม 2549     | 1278                                      | 560 | 1244 | 176 | 3258 | 981   | 813  | 1429 | 154 | 3377 | 2259                        | 1373 | 2673 | 330 | 6635  |
| วันจันทร์ที่ 8 พฤษภาคม 2549    | 1588                                      | 784 | 1409 | 218 | 3999 | 1276  | 857  | 1671 | 129 | 3933 | 2864                        | 1641 | 3080 | 347 | 7932  |
| วันพุธที่ 10 พฤษภาคม 2549      | 1473                                      | 588 | 1337 | 197 | 3595 | 1229  | 919  | 1542 | 128 | 3818 | 2702                        | 1507 | 2879 | 325 | 7413  |
| วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม 2549    | 1288                                      | 498 | 1102 | 204 | 3092 | 1027  | 740  | 1310 | 137 | 3214 | 2315                        | 1238 | 2412 | 341 | 6306  |
| วันอาทิตย์ที่ 14 พฤษภาคม 2549  | 1239                                      | 618 | 1184 | 151 | 3192 | 1108  | 842  | 1505 | 113 | 3568 | 2347                        | 1460 | 2689 | 264 | 6760  |
| วันอังคารที่ 16 พฤษภาคม 2549   | 1994                                      | 777 | 1654 | 225 | 4650 | -   | -    | -    | -   | -    | -                           | -    | -    | -   | -     |
| วันพฤหัสบดีที่ 18 พฤษภาคม 2549 | -   | -   | -    | -   | -    | 1401  | 839  | 1383 | 92  | 3715 | -                           | -    | -    | -   | -     |
| วันพุธที่ 24 พฤษภาคม 2549      | 1681                                      | 585 | 1392 | 223 | 3881 | 2437  | 1026 | 1674 | 113 | 5250 | 4118                        | 1611 | 3066 | 336 | 9131  |
| วันศุกร์ที่ 26 พฤษภาคม 2549    | 2166                                      | 722 | 1510 | 193 | 4591 | 2369  | 1148 | 1856 | 109 | 5482 | 4535                        | 1870 | 3366 | 302 | 10073 |
| วันพุธที่ 31 พฤษภาคม 2549      | 1933                                      | 694 | 1353 | 200 | 4180 | 2312  | 1080 | 1804 | 118 | 5314 | 4245                        | 1774 | 3157 | 318 | 9494  |
| วันจันทร์ที่ 5 มิถุนายน 2549   | 1937                                      | 679 | 1558 | 195 | 4369 | 2670  | 1081 | 1715 | 127 | 5593 | 4607                        | 1760 | 3273 | 322 | 9962  |
| จำนวนตัวอย่าง                  | 13  | 13  | 13   | 13  | 13   | 12  | 12   | 12   | 12  | 12   | 11                          | 11   | 11   | 11  | 11    |
| ค่าเฉลี่ย                      | 1661                                      | 703 | 1404 | 192 | 3959 | 1605  | 936  | 1569 | 122 | 4232 | 3211                        | 1615 | 2941 | 315 | 8082  |
| ค่าสูงสุด                      | 2166                                      | 982 | 1689 | 225 | 4993 | 2670  | 1148 | 1856 | 170 | 5593 | 4607                        | 1873 | 3366 | 370 | 10073 |
| ค่าต่ำสุด                      | 1239                                      | 498 | 1102 | 129 | 3092 | 981   | 740  | 1310 | 79  | 3214 | 2259                        | 1238 | 2412 | 208 | 6306  |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน            | 336                                       | 137 | 171  | 27  | 594  | 637   | 127  | 179  | 25  | 898  | 951                         | 204  | 290  | 44  | 1372  |

### 4.2.3 ความสัมพันธ์ของระดับ $PM_{10}$ ในโรงเรียนกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

#### (1) ระดับ $PM_{10}$ ในโรงเรียนกับปริมาณยานพาหนะที่ผ่านหน้าโรงเรียน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ  $PM_{10}$  ในโรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับปริมาณยานพาหนะที่ผ่านหน้าโรงเรียนแยกตามประเภท แสดงในตารางที่ 4.6 โดยพบว่าระดับ  $PM_{10}$  ในบริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณรถบรรทุก 4 ล้อ (LV1) และปริมาณยานพาหนะรวมทุกประเภท (TV1) ที่แล่นผ่านถนนมิตรภาพบริเวณด้านหน้าโรงเรียนเมืองในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (8:00 น. ถึง 9:00 น.) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.677 และ 0.595 ตามลำดับ ส่วนตัวแปรอื่นๆ ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับ  $PM_{10}$  ในบริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา จากผลข้างต้นพบว่า ตัวแปรที่สอดคล้องกับผลการศึกษาของสุดจิต คุรุจิต และนิรันดร์ คงฤทธิ์ (2548) คือรถบรรทุกขนาดเล็ก แต่เหตุที่ไม่พบความสัมพันธ์ของ  $PM_{10}$  กับยานพาหนะประเภทอื่นๆ อาจเป็นเพราะจำนวนตัวอย่างไม่เพียงพอ

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $PM_{10}$  ณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับข้อมูลปริมาณยานพาหนะบนถนนมิตรภาพที่แล่นผ่านหน้าโรงเรียน

| ตัวแปร | R <sup>1</sup> | P-Value | จำนวนตัวอย่าง |
|--------|----------------|---------|---------------|
| MC1    | 0.476          | 0.101   | 13            |
| PC1    | 0.546          | 0.054   | 13            |
| LV1    | <u>0.677</u>   | 0.011   | 13            |
| HV1    | 0.101          | 0.742   | 13            |
| TV1    | <u>0.595</u>   | 0.032   | 13            |
| MC2    | -0.022         | 0.945   | 12            |
| PC2    | 0.034          | 0.915   | 12            |
| LV2    | -0.151         | 0.639   | 12            |
| HV2    | -0.568         | 0.054   | 12            |
| TV2    | -0.057         | 0.861   | 12            |
| MC3    | 0.071          | 0.836   | 11            |
| PC3    | 0.354          | 0.286   | 11            |
| LV3    | 0.163          | 0.632   | 11            |
| HV3    | -0.456         | 0.159   | 11            |
| TV3    | 0.121          | 0.722   | 11            |

<sup>1</sup>ตัวที่ขีดเส้นใต้ หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## (2) ระดับ $PM_{10}$ ในโรงเรียนกับข้อมูลมลพิษอากาศของสถานีตรวจวัด

ข้อมูลมลพิษอากาศที่รวบรวมได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาที่ศึกษา แสดงในตารางที่ 4.7 และผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ  $PM_{10}$  ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับข้อมูลมลพิษทางอากาศดังกล่าว แสดงในตารางที่ 4.8

จากการวิเคราะห์พบว่าตัวแปร  $PM_{10}$  ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับ  $PM_{10}$  ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.948 โดยผลการศึกษาที่สอดคล้องกับการศึกษาของเฉลิมพล จิตรระกูลวงศ์ (2549) ที่ศึกษาในช่วงเดือนกันยายน 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2549 โดยพบว่าตัวแปร  $PM_{10}$  จากทั้งสองพื้นที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.804 ซึ่งผลการศึกษาชี้ว่าตัวแปร  $PM_{10}$  ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษเป็นตัวแปรที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้สำหรับเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับประมาณ  $PM_{10}$  ในบริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา สำหรับตัวแปรมลพิษอากาศอื่นๆ ที่ตรวจวัดได้ ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษไม่พบว่ามี ความสัมพันธ์กับตัวแปร  $PM_{10}$  ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา

## (3) ระดับ $PM_{10}$ ในโรงเรียนกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจวัด

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่รวบรวมได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาที่ศึกษา แสดงในตารางที่ 4.9 และผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ  $PM_{10}$  ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาดังกล่าว แสดงในตารางที่ 4.10

แม้ว่าผลการศึกษาของ Vardoulakis and Kassomenos (2007) จะชี้ว่าระดับฝุ่นมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน แต่จากผลการวิเคราะห์ในการศึกษาพบว่าตัวแปร  $PM_{10}$  ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดจากสถานีกรมควบคุมมลพิษที่ตรวจวัดในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งอาจเป็นเพราะจำนวนตัวอย่างในกรณีนี้มีจำกัด

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลมลพิษอากาศจากสถานีกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาศึกษา

| วันที่                         | PM <sub>10</sub><br>(มค.ก./ลบ.ม) | NO <sub>2</sub><br>(ppb) | CO<br>(ppm) | SO <sub>2</sub><br>(ppb) | O <sub>3</sub><br>(ppb) |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| วันศุกร์ที่ 29 เมษายน 2549     | -                                | 3.30                     | 0.38        | 2.65                     | 18.91                   |
| วันจันทร์ที่ 1 พฤษภาคม 2549    | -                                | 4.40                     | 0.35        | 0.95                     | 22.05                   |
| วันเสาร์ที่ 3 พฤษภาคม 2549     | -                                | 8.83                     | 0.73        | -                        | -                       |
| วันศุกร์ที่ 5 พฤษภาคม 2549     | -                                | 4.74                     | 0.59        | 0.65                     | -                       |
| วันจันทร์ที่ 8 พฤษภาคม 2549    | -                                | 8.48                     | 0.57        | -                        | -                       |
| วันพุธที่ 10 พฤษภาคม 2549      | 40.92                            | 7.17                     | -           | 1.74                     | 18.30                   |
| วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม 2549    | 45.20                            | 7.13                     | 0.41        | 2.48                     | 25.22                   |
| วันอาทิตย์ที่ 14 พฤษภาคม 2549  | -                                | -                        | -           | -                        | -                       |
| วันอังคารที่ 16 พฤษภาคม 2549   | -                                | -                        | -           | -                        | -                       |
| วันพฤหัสบดีที่ 18 พฤษภาคม 2549 | 94.90                            | 7.35                     | 0.28        | -                        | 30.56                   |
| วันจันทร์ที่ 22 พฤษภาคม 2549   | 46.80                            | 1.35                     | 0.14        | 0.86                     | 18.30                   |
| วันพุธที่ 24 พฤษภาคม 2549      | 47.70                            | 1.05                     | 0.16        | 1.10                     | 17.95                   |
| วันศุกร์ที่ 26 พฤษภาคม 2549    | 76.00                            | 4.96                     | 0.76        | 0.65                     | 17.70                   |
| วันอาทิตย์ที่ 28 พฤษภาคม 2549  | -                                | -                        | -           | -                        | -                       |
| วันพุธที่ 31 พฤษภาคม 2549      | 36.70                            | 2.00                     | 0.34        | 1.39                     | 11.13                   |
| วันศุกร์ที่ 3 มิถุนายน 2549    | 30.40                            | -                        | -           | -                        | -                       |
| วันจันทร์ที่ 5 มิถุนายน 2549   | 38.20                            | -                        | -           | -                        | -                       |
| จำนวนตัวอย่าง                  | 9                                | 12                       | 11          | 9                        | 9                       |
| ค่าเฉลี่ย                      | 50.76                            | 47.79                    | 50.76       | 5.06                     | 0.43                    |
| ค่าสูงสุด                      | 94.90                            | 89.87                    | 94.90       | 8.83                     | 0.77                    |
| ค่าต่ำสุด                      | 30.40                            | 29.09                    | 30.40       | 1.05                     | 0.14                    |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน            | 20.94                            | 15.97                    | 20.94       | 2.74                     | 0.21                    |

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของ PM<sub>10</sub> ณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับข้อมูลมลพิษอากาศ

| ตัวแปร           | R <sup>i</sup> | P-Value | จำนวนตัวอย่าง |
|------------------|----------------|---------|---------------|
| PM <sub>10</sub> | 0.948          | 0.000   | 9             |
| NO <sub>2</sub>  | 0.393          | 0.206   | 12            |
| CO               | 0.399          | 0.224   | 11            |
| SO <sub>2</sub>  | -0.305         | 0.424   | 9             |
| O <sub>3</sub>   | 0.565          | 0.113   | 9             |

<sup>i</sup>ตัวที่ขีดเส้นใต้ หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีกรมควบคุมมลพิษในช่วงเวลาศึกษา

| วันที่                         | T<br>(°C) | P<br>(mmHg) | RH<br>(%) | NR<br>(W/m <sup>2</sup> ) | GR<br>(W/m <sup>2</sup> ) | WS<br>(m/s) |
|--------------------------------|-----------|-------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-------------|
| วันศุกร์ที่ 29 เมษายน 2549     | 30.25     | 755.15      | 67.13     | 68.71                     | 214.33                    | 0.39        |
| วันจันทร์ที่ 1 พฤษภาคม 2549    | 30.11     | 756.15      | 67.38     | 73.29                     | 241.95                    | 0.73        |
| วันเสาร์ที่ 3 พฤษภาคม 2549     | 30.76     | 755.99      | 66.13     | 99.67                     | 280.33                    | 0.46        |
| วันศุกร์ที่ 5 พฤษภาคม 2549     | 29.89     | 757.37      | 68.5      | 93.42                     | 273.58                    | 0.33        |
| วันจันทร์ที่ 8 พฤษภาคม 2549    | 30.04     | 756.32      | 70.75     | 100.21                    | 277.5                     | -           |
| วันพุธที่ 10 พฤษภาคม 2549      | 28.96     | 756.05      | 70.88     | 66.83                     | 215.42                    | 0.36        |
| วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม 2549    | 29.84     | 757.23      | 67.38     | 90.42                     | 266.42                    | 0.17        |
| วันอาทิตย์ที่ 14 พฤษภาคม 2549  | 29.33     | 757.13      | 64.25     | -                         | -                         | -           |
| วันอังคารที่ 16 พฤษภาคม 2549   | 28.60     | 756.23      | 56.00     | -                         | -                         | -           |
| วันพฤหัสบดีที่ 18 พฤษภาคม 2549 | 26.51     | 755.27      | 80.50     | 32.92                     | 140.58                    | 0.10        |
| วันจันทร์ที่ 22 พฤษภาคม 2549   | 27.41     | 754.42      | 83.13     | 43.54                     | 170.83                    | 1.63        |
| วันพุธที่ 24 พฤษภาคม 2549      | 28.76     | 755.12      | 74.50     | 74.58                     | 223.13                    | 1.50        |
| วันศุกร์ที่ 26 พฤษภาคม 2549    | 29.05     | 757.22      | 75.25     | 47.21                     | 183.54                    | 0.45        |
| วันอาทิตย์ที่ 28 พฤษภาคม 2549  | 29.40     | 756.1       | 75.63     | -                         | -                         | -           |
| วันพุธที่ 31 พฤษภาคม 2549      | 27.95     | 756.64      | 78.63     | 67.96                     | 214.67                    | 0.68        |
| วันศุกร์ที่ 3 มิถุนายน 2549    | 29.21     | 754.89      | 70.38     | -                         | -                         | -           |
| วันจันทร์ที่ 5 มิถุนายน 2549   | 29.48     | 756.19      | 66.75     | -                         | -                         | -           |
| จำนวนตัวอย่าง                  | 17        | 17          | 17        | 12                        | 12                        | 11          |
| ค่าเฉลี่ย                      | 29.15     | 756.09      | 70.77     | 71.56                     | 225.19                    | 0.62        |
| ค่าสูงสุด                      | 30.76     | 757.37      | 83.13     | 100.21                    | 280.33                    | 1.63        |
| ค่าต่ำสุด                      | 26.51     | 754.42      | 56.00     | 32.92                     | 140.58                    | 0.10        |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน            | 1.08      | 0.88        | 6.65      | 22.10                     | 45.00                     | 0.50        |

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของ PM<sub>10</sub> ณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมากับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

| ตัวแปร | R      | P-Value | จำนวนตัวอย่าง |
|--------|--------|---------|---------------|
| T      | 0.071  | 0.836   | 11            |
| P      | -0.072 | 0.825   | 12            |
| RH     | -0.229 | 0.475   | 12            |
| NR     | -0.091 | 0.779   | 12            |
| GR     | -0.064 | 0.844   | 12            |
| WS     | -0.156 | 0.647   | 11            |

#### 4.2.4 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์

การศึกษาในขั้นที่ 2 ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างระดับฝุ่นขนาดเล็กอย่างต่อเนื่องพร้อมกับเก็บข้อมูลตัวแปรอื่นๆ อีก 3 กลุ่ม ได้แก่ ปริมาณยานพาหนะที่ผ่านถนนเส้นหน้าโรงเรียน ข้อมูลมลพิษอากาศ และข้อมูลอุณหภูมิตามสถานี และนำมาหาความสัมพันธ์เพื่อพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยให้การวิเคราะห์ความถดถอยแบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปร ผลการวิเคราะห์ได้สมการแบบจำลอง 3 สมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 โดยพบว่าตัวแปรอิสระที่สามารถใช้ทำนายระดับ  $PM_{10}$  ที่สถานีโรงเรียนเมือง ( $PM_{10}@MST$ ) ได้แก่  $PM_{10}$  ที่สถานีกรมควบคุมมลพิษ ( $PM_{10}@47T$ ) ปริมาณรถบรรทุก 4 ล้อช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (LVI) และปริมาณรถทุกประเภทช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (TV1) แบบจำลองทั้ง 3 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) อยู่ในช่วง 0.354 – 0.899 ซึ่งอธิบายได้ว่าตัวแปรอิสระในสมการความถดถอยสามารถอธิบายความแปรปรวนของ  $PM_{10}$  ได้ร้อยละ 35.4 ถึง 89.9 และแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ในช่วง 3.76 – 13.96 มก.ก./ลบ.ม.

ตารางที่ 4.11 แบบจำลองสำหรับประมาณ  $PM_{10}$  ณ บริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา

| ที่ | สมการ                                     | N  | $R^2$ | RMSE  |
|-----|---|----|-------|-------|
| 1   | $PM_{10}@MST = 15.671 + 0.5(PM_{10}@47T)$ | 9  | 0.899 | 3.76  |
| 2   | $PM_{10}@MST = 0.066(LV1)$                | 13 | 0.458 | 12.78 |
| 3   | $PM_{10}@MST = 0.017(TV1)$                | 13 | 0.354 | 13.96 |

ข้อจำกัดที่สำคัญของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองข้างต้น คือจำนวนข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองมีน้อย เพื่อแก้ไขข้อจำกัดนี้ ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลจากการตรวจวัดขึ้นติดตามเผ้าระวังในการศึกษาชั้นที่ 1 ของโรงเรียนเมืองนครราชสีมาและโรงเรียนอุบลรัตน์ ซึ่งมีจำนวนข้อมูลมากกว่า มาใช้วิเคราะห์เพื่อพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพิ่มเติม โดยข้อมูลชุดดังกล่าวประกอบด้วยค่าระดับ  $PM_{10}$  ณ โรงเรียนทั้งสองแห่ง และค่าระดับมลพิษอากาศและค่าตัวแปรด้านอุณหภูมิตามสถานีกรมควบคุมมลพิษในวันเดียวกับที่ตรวจวัด แต่ไม่มีข้อมูลปริมาณยานพาหนะ

การวิเคราะห์ความถดถอยแบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปรของข้อมูลจากการตรวจวัดขึ้นติดตามเผ้าระวัง แบ่งการวิเคราะห์ตามช่วงฤดูกาลออกเป็น 3 กรณีย่อย คือ

- กรณีที่ 1 ข้อมูลทุกช่วงฤดูกาล
- กรณีที่ 2 ข้อมูลช่วงฤดูหนาว (ข้อมูลวันที่ 1 พฤศจิกายน – 15 กุมภาพันธ์)
- กรณีที่ 3 ข้อมูลช่วงฤดูฝน (ข้อมูลวันที่ 16 พฤษภาคม – 31 ตุลาคม)



ผลการวิเคราะห์ได้สมการแบบจำลองโรงเรียนละ 3 สมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 โดยแบบจำลองสำหรับประมาณ  $PM_{10}$  ณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแก้แล้ว (Adjusted  $R^2$ ) อยู่ในช่วง 0.519 – 0.748 ซึ่งอธิบายได้ว่าตัวแปรอิสระในสมการความถดถอยสามารถอธิบายความแปรปรวนของ  $PM_{10}$  ได้ร้อยละ 51.9 ถึง 74.8 และแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ในช่วง 8.41 – 13.63 มก.ก./ลบ.ม. และแบบจำลองสำหรับประมาณ  $PM_{10}$  ณ โรงเรียนอุบลรัตน์ มีค่า Adjusted  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.419 – 0.555 ซึ่งอธิบายได้ว่าตัวแปรอิสระในสมการความถดถอยสามารถอธิบายความแปรปรวนของ  $PM_{10}$  ได้ร้อยละ 41.9 ถึง 55.5 และแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.81 – 19.57 มก.ก./ลบ.ม.

ตารางที่ 4.12 แบบจำลองสำหรับประมาณ  $PM_{10}$  ณ บริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมาและโรงเรียนอุบลรัตน์ แยกตามช่วงฤดูกาล

| สถานี/กรณี                    | สมการ  | N  | Adjusted $R^2$ | RMSE  |
|-------------------------------|--|----|----------------|-------|
| โรงเรียนเมืองนครราชสีมา (MST) |  |    |                |       |
| ทุกฤดู                        | $PM_{10}@MST = 0.438(PM_{10}@47T) + 2.305(NO_2)$ | 30 | 0.748          | 12.36 |
| ฤดูหนาว                       | $PM_{10}@MST = 24.512 + 0.487(PM_{10}@47T)$      | 18 | 0.575          | 13.63 |
| ฤดูฝน                         | $PM_{10}@MST = 22.021 + 0.517(PM_{10}@47T)$      | 12 | 0.519          | 8.41  |
| โรงเรียนอุบลรัตน์ (UST)       |  |    |                |       |
| ทุกฤดู                        | $PM_{10}@UST = 0.355(PM_{10}@47T) + 4.512(NO_2)$ | 27 | 0.742          | 16.38 |
| ฤดูหนาว                       | $PM_{10}@UST = 38.674 + 0.618(PM_{10}@47T)$      | 18 | 0.505          | 19.57 |
| ฤดูฝน                         | $PM_{10}@UST = 0.509(PM_{10}@47T)$               | 9  | 0.419          | 8.81  |

การเปรียบเทียบค่า Adjusted  $R^2$  ของแบบจำลอง พบว่ามีค่าเปรียบเทียบได้กับแบบจำลองลักษณะเดียวกันของการศึกษาอื่น (อาทิ Slini et al., 2006; Chaloulakou et al., 2003; และ Fuller et al., 2002) และเห็นได้ว่าสมการกรณีทุกฤดูมีค่า Adjusted  $R^2$  สูงกว่ากรณีฤดูหนาว เนื่องจากตัวแปรอิสระที่เข้าสมการกรณีทุกฤดูมี 2 ตัวแปร ซึ่งมากกว่ากรณีฤดูหนาวและฤดูฝนที่มีตัวแปรอิสระเข้าสมการเพียงตัวแปรเดียว จึงมีผลให้ค่า Adjusted  $R^2$  ของกรณีทุกฤดูสูงกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนสมการกรณีฤดูฝนมีค่า Adjusted  $R^2$  ต่ำสุด

จากตารางข้างต้นยังมีข้อสังเกตว่าค่า Adjusted  $R^2$  ของสถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา ซึ่งห่างจากสถานีกรมควบคุมมลพิษ 1.5 กม. สูงกว่าค่า Adjusted  $R^2$  ของสถานีโรงเรียนอุบลรัตน์ซึ่งห่างจากสถานีกรมควบคุมมลพิษ 2.5 กม. ดังนั้นอาจสันนิษฐานได้ว่าระยะระหว่างคู่สถานีมีผลต่อ

ความสามารถในการทำนายของแบบจำลองโดยความสามารถในการทำนายมีแนวโน้มลดลงเมื่อคู่สถานีทำนายอยู่ห่างกันมากขึ้น ทั้งนี้อาจอธิบายได้โดยอ้างอิงกับผลการศึกษาของ Shaddick and Wakefield (2002) ที่พบว่า  $PM_{10}$  ระหว่างคู่สถานีตรวจวัดมีความสัมพันธ์ลดลงตามระยะห่างระหว่างคู่สถานีที่เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 สถานการณ์ระดับความเข้มข้นฝุ่นในโรงเรียน

ผลการตรวจวัดในโรงเรียนทั้ง 15 ตัวอย่าง มีค่า  $PM_{10}$  อยู่ในช่วง 23.40-95.47 มค.ก./ลบ.ม. และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.63 มค.ก./ลบ.ม. เมื่อเปรียบเทียบกับค่า  $PM_{10}$  ที่วัดได้ ณ สถานีกรมควบคุมมลพิษที่ตั้งบริเวณบ้านพักทหารมณฑลทหารที่ 21 ซึ่งถือเป็นจุดที่ใช้เป็นตัวแทนคุณภาพอากาศของเขตเทศบาลนครนครราชสีมา พบว่าค่าเฉลี่ยของโรงเรียนมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าบริเวณโรงเรียนมีระดับฝุ่นต่ำกว่าพื้นที่ทั่วไปในเขตเมือง

เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของฝุ่นในโรงเรียนเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป คือ 120 มค.ก./ลบ.ม. แม้ว่าผลการตรวจวัดในขั้นต้นพบว่าทุกโรงเรียนมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ผลการตรวจวัดในขั้นติดตามเฝ้าระวังซึ่งครอบคลุมระยะเวลาประมาณ 5 เดือนพบว่าในช่วงฤดูหนาวระดับความเข้มข้นของฝุ่นสถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และสถานีโรงเรียนอุบลรัตน์ มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน จำนวน 4 ตัวอย่าง และ 6 ตัวอย่าง ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าสถานการณ์ของ  $PM_{10}$  ในบริเวณโรงเรียนในเขตเทศบาลนครนครราชสีมามีปัญหาในระดับความเข้มข้นของฝุ่นสูงในระดับที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้เป็นบางครั้งในช่วงฤดูหนาว

การตรวจวัดในขั้นติดตามเฝ้าระวังยังได้ผลของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีกรมควบคุมมลพิษ สถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และสถานีโรงเรียนอุบลรัตน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 83.39 มค.ก./ลบ.ม. 68.26 มค.ก./ลบ.ม. และ 83.28 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ และพบว่าค่าเฉลี่ยของสถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมามีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของสถานีกรมควบคุมมลพิษอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ค่าเฉลี่ยของสถานีโรงเรียนอุบลรัตน์มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของสถานีกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจเป็นผลจากทิศทางลมและตำแหน่งของจุดตรวจวัด

##### 5.1.2 ความแปรปรวนของความเข้มข้นฝุ่นและความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น

อิทธิพลของฤดูกาลต่อความแปรปรวนของระดับของฝุ่นละอองในบรรยากาศเห็นได้ชัดเจนจากความเข้มข้นของฝุ่นในช่วงฤดูหนาวที่มีค่าสูงกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3

สถานี ทั้งนี้เนื่องจากในฤดูหนาวมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลให้ระดับฝุ่นละอองสูง อาทิ ความแห้งแล้ง การเผาป่า และเสถียรภาพบรรยากาศแบบคงตัว

ผลการศึกษานิวทริพลของวันในสัปดาห์ต่อความแปรปรวนของระดับ  $PM_{10}$  ไม่พบแนวโน้มความแตกต่างของระดับฝุ่นในวันต่างๆ ของสัปดาห์ชัดเจนนัก แต่สังเกตว่าค่าเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  ทั้ง 3 สถานีมีค่าสูงสุดในวันศุกร์ ส่วนค่าเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  ในวันธรรมดาสูงกว่าวันเสาร์-อาทิตย์เล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 สถานี ทั้งนี้ สันนิษฐานว่ากิจกรรมในวันธรรมดาและวันเสาร์-อาทิตย์ไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของระดับฝุ่นละอองในบริเวณโรงเรียนและบริเวณอื่นๆ ในเขตเมืองอย่างเด่นชัด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับ  $PM_{10}$  ในโรงเรียนเมืองนครราชสีมา กับปริมาณยานพาหนะที่ผ่านหน้าโรงเรียน และข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการตรวจวัดของสถานีกรมควบคุมมลพิษ พบความสัมพันธ์เพียง 3 กรณี คือความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณรถบรรทุก 4 ล้อในเวลาเร่งด่วนเช้า ปริมาณยานพาหนะรวมทุกประเภทในเวลาเร่งด่วนเช้า และค่า  $PM_{10}$  ของสถานีกรมควบคุมมลพิษ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.677 0.595 และ 0.948 ตามลำดับ

### 5.1.3 แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าความเข้มข้นฝุ่น

การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่สถานีโรงเรียนเมืองนครราชสีมา โดยการตรวจวัดระดับฝุ่นพร้อมเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะ ข้อมูลมลพิษอากาศ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และใช้การวิเคราะห์ความถดถอยแบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปร ได้แบบจำลองเป็นสมการความถดถอยอย่างง่าย 3 สมการ ซึ่งใช้ปริมาณรถบรรทุก 4 ล้อในเวลาเร่งด่วนเช้า ปริมาณยานพาหนะรวมทุกประเภทในเวลาเร่งด่วนเช้า และค่า  $PM_{10}$  ของสถานีกรมควบคุมมลพิษ เป็นตัวแปรอิสระ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.458 0.354 และ 0.899 ตามลำดับ

การแก้ไขข้อจำกัดด้านจำนวนตัวอย่างในการพัฒนาแบบจำลองด้วยการนำข้อมูลจากการตรวจวัดขึ้นติดตามเฟ้ระวังของโรงเรียนเมืองนครราชสีมาและโรงเรียนอุบลรัตน์ซึ่งมีข้อมูลระดับฝุ่นของโรงเรียนทั้งสองแห่ง ข้อมูลมลพิษอากาศ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา แต่ไม่มีข้อมูลปริมาณยานพาหนะ มาใช้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพิ่มเติม ผลการวิเคราะห์ได้แบบจำลองโรงเรียนละ 3 แบบจำลอง แยกเป็นแบบจำลองกรณีฤดูฤ ฤดูหนาว และกรณีฤดูฝน โดยแบบจำลองกรณีทุกฤดูมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ได้แก่ ค่า  $PM_{10}$  และค่า  $NO_2$  ของสถานีกรมควบคุมมลพิษ ส่วนแบบจำลองกรณีฤดูหนาวและแบบจำลองกรณีฤดูฝนเป็นสมการความถดถอยอย่างง่ายซึ่งมีค่า  $PM_{10}$  ของสถานีกรมควบคุมมลพิษเป็นตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว แบบจำลองสำหรับโรงเรียนเมือง

นครราชสีมา มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.519 – 0.748 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.41 – 13.63 มก.ก./ลบ.ม. ส่วนแบบจำลองสำหรับโรงเรียนอุบลรัตน์ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.419 – 0.742 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.81 – 19.57 มก.ก./ลบ.ม.

การเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองกรณีทุกกรณีมีความสามารถในการทำนายสูงกว่ากรณีอื่นๆ โดยมีตัวแปรอิสระในสมการ 2 ตัวแปร ในขณะที่แบบจำลองกรณีฤดูหนาวและฤดูฝนมีตัวแปรอิสระในสมการเพียงตัวแปรเดียว ส่วนแบบจำลองกรณีฤดูฝนมีความสามารถในการทำนายต่ำสุดในทั้ง 3 กรณี

## 5.2 การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

1) ผลการประเมินสถานการณ์ระดับฝุ่น เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับโรงเรียนที่ร่วมในการศึกษาและประชาชนทั่วไปที่อยู่ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ให้ได้ทราบและเกิดความตระหนักถึงสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ของตน โดยเฉพาะปัญหาระดับความเข้มข้นของฝุ่นที่สูงในระดับที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้เป็นบางครั้งในช่วงฤดูหนาว

2) ความแปรปรวนของฝุ่นและความสัมพันธ์ของระดับฝุ่นกับปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะกับยานพาหนะประเภทรถบรรทุก 4 ล้อ และปริมาณยานพาหนะรวมทุกประเภทในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เป็นข้อมูลที่สามารถใช้เป็นประโยชน์ในการทำงานของหน่วยงานท้องถิ่นภาครัฐ อาทิ เทศบาลนครนครราชสีมา และตำรวจจราจรในพื้นที่ เพื่อวางแผนจัดการจราจรเพื่อลดปัญหามลพิษอากาศ

3) แบบจำลองสำหรับทำนายระดับฝุ่นที่ได้จากการศึกษานี้ หน่วยงานภาครัฐหรือผู้สนใจทั่วไปสามารถใช้ประโยชน์ในการทำนายระดับฝุ่นเบื้องต้นได้ ณ บริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และโรงเรียนอุบลรัตน์ ซึ่งปัจจุบันไม่มีสถานีตรวจวัดอยู่ โดยมีเงื่อนไขคือต้องทราบค่าตัวแปรอิสระที่ต้องใช้ในสมการ ได้แก่ ค่า  $PM_{10}$  และค่า  $NO_2$  ที่ตรวจวัดได้ ณ สถานีของกรมควบคุมมลพิษในวันที่ต้องการทำนาย

## 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

1) แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้มีข้อจำกัด คือเป็นแบบจำลองเฉพาะสถานีตรวจวัดที่กำหนดในการศึกษาและพัฒนาขึ้น โดยใช้ข้อมูลของช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเท่านั้น ในอนาคตหากสภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันมาก จำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมและปรับปรุงแบบจำลองให้มีความเหมาะสมต่อไป

2) วิธีพัฒนาแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์ความถดถอย เป็นหนึ่งในหลายวิธีการในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิธีการทางสถิติอื่นๆ ที่ใช้พัฒนาแบบจำลองและมีตัวอย่างการศึกษาและประยุกต์ใช้กับการทำนายระดับความเข้มข้นของมลพิษอากาศ ได้แก่ วิธี Artificial Neural Network

(ANN) หรือ วิธี Principal Component Analysis (PCA) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วิธีอื่นๆ ดังกล่าวอาจต้องการข้อมูลและเทคนิคการวิเคราะห์ที่มากกว่าวิธีวิเคราะห์ความถดถอยซึ่งใช้ในการศึกษานี้

## บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2549). สถานการณ์และการจัดการปัญหาหมอกพิษทางอากาศและเสียง พ.ศ.2548, กรมควบคุมมลพิษ: กรุงเทพฯ.
- กรมอนามัย. (2544). คู่มือการตรวจวัดฝุ่นและก๊าซในสิ่งแวดล้อม. กรมอนามัย: กรุงเทพฯ.
- กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2546). การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 6. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- เฉลิมพล จิงตระกูลวงศ์. (2549). การเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบระดับ  $PM_{10}$  ในเขตกรุงเทพมหานคร และเทศบาลนครราชสีมา โดยใช้แบบจำลองความถดถอยร่วมกับสถานีตรวจวัดชั่วคราว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช. (2544). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- นเรศ เชื้อสุวรรณ. (2546). Spatial distributions of ambient  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  in Bangkok. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ผู้จัดการออนไลน์. 14 มีนาคม 2550. มลพิษเชียงใหม่ทะลุขีด ค่า  $PM_{10}$  เกือบ 400 ไมโครกรัม (ออนไลน์). ได้จาก <http://www.manager.co.th/>
- รัฐพล อ้นแจ่ม, บุญลือ คะเชนทร์ชาติ, และกาญจนา นาคะภากร. (2549). ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการจัดทำแผนที่แสดงระดับความหนาแน่นของมลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร. จุลสารสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร. ปีที่ 15. ฉบับที่ 5. หน้า 6-12.
- ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5. (2541). สถานการณ์และผลการดำเนินงานเฝ้าระวังและควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เขต 5 ปี พ.ศ. 2541. กรมอนามัย: กรุงเทพฯ.
- ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 5. (2543). สถานการณ์และผลการดำเนินงานเฝ้าระวังและควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เขต 5 ปี พ.ศ. 2543. กรมอนามัย: กรุงเทพฯ.
- สุดจิต คุรุจิต และนิรันดร์ คงฤทธิ์. (2548). ระดับมลพิษอากาศใกล้ทางพิเศษ: สหสัมพันธ์ของมลพิษกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. ปีที่ 19. ฉบับที่ 1. หน้า 133-142.

- Aunan, K., Fang, J., Hu, T., Seip, H. M., and Vennemo, H. (2006). Climate Change and Air Quality-Measures with Co-Benefits in China. Environmental Science and Technology. August 15, 2006. pp. 4822-4829.
- Chaloulakou, A., Grivas, G. and Spyrellis, N. (2003). Neural Network and Multiple Regression Models for PM<sub>10</sub> Prediction in Athens: A Comparative Assessment. Air & Waste Management Association. 53: 1183-1190.
- Chatterton, T. J. (2001). Regional and Urban Scale Modelling of Particulate Matter: Can PM<sub>10</sub> be Managed at a Local Level. Ph.D. Dissertation. University of East Anglia.
- Fuller, G. A., Carslaw, D. C., and Lodge, H. W. (2002). An Empirical Approach for The Prediction of Daily Mean PM<sub>10</sub> Concentrations. Atmospheric Environment. 36: 1431-1441.
- Heinsohn, R. J. and Kabel, R. L. (1999). Sources and Control of Air Pollution. Prentice Hall: New Jersey.
- Kutner, M. H., Neter, J., Nachtsheim, C. J., and Wasserman, W. (2004). Applied Linear Statistical Model. McGraw-Hill: United States of America.
- McCarthy, M. C., Eisinger, D. S., Hafner, H. R., Chinkin, L. R., Roberts, P. T., Black, K. N., Clark, N. N., McMurry, P. H., and Winer, A.M. (2006). Particulate Matter: A Strategic Vision for Transportation-Related Research. Environmental Science and Technology. September 15, 2006. pp.5593-5599.
- Shaddick, G. and Wakefield, J. (2002). Modelling Daily Multivariate Pollutant Data at Multiple Sites. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics). 51 (3): 351-372.
- Slini, T., Kaprara, A., Karatzas, K. and Moussiopoulos, N. (2006). PM<sub>10</sub> Forecasting for Thessaloniki, Greece. Environmental Modelling & Software. 26: 559-565.
- Thongsanit, P., Jinsart, W., Hooper, B., Hooper, M. and Limpaseni, W. (2003). Atmospheric particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons for PM<sub>10</sub> and sine-segregated samples in Bangkok. Air & Waste Management Association. 53: 1490-1498.
- Vardoulakis, S. and Kassomenos, P. (2007). Sources and Factors Affecting PM<sub>10</sub> Levels in Two European Cities: Implications for Local Air Quality Management. Atmospheric Environment. Doi:10.1016/j.atmosenv.2006.12.021 (article in press).



## ภาคผนวก ก

### การตรวจวัดฝุ่น PM<sub>10</sub> โดยการตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว

#### ก.1 บทนำ

การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) ในบรรยากาศ ตามประกาศของกรมควบคุมมลพิษ กำหนดมาตรฐานการตรวจวัดโดยระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง PM<sub>10</sub> แบบปริมาตรสูง (PM<sub>10</sub> High Volume Samplers) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในภาคผนวกของรายงานนี้ได้เรียบเรียงวิธีการ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัด PM<sub>10</sub> ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง PM<sub>10</sub> แบบปริมาตรสูง จากคู่มือการตรวจวัด PM<sub>10</sub> ของกรมควบคุมมลพิษ กรมอนามัย และมาตรฐาน U.S.EPA รวมทั้งคำแนะนำที่ได้จากประสบการณ์การตั้งสถานีตรวจวัดแบบชั่วคราวในงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับผู้สนใจหรือผู้ที่ประสงค์จะดำเนินการวิจัยในลักษณะใกล้เคียงกัน โดยแบ่งเนื้อหาเป็น 4 ส่วน คือ

- การเตรียมเครื่องเก็บตัวอย่าง PM<sub>10</sub>
- การเตรียมกระดาดกรองและชั่งน้ำหนักในห้องปฏิบัติการ
- การตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว
- การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub>

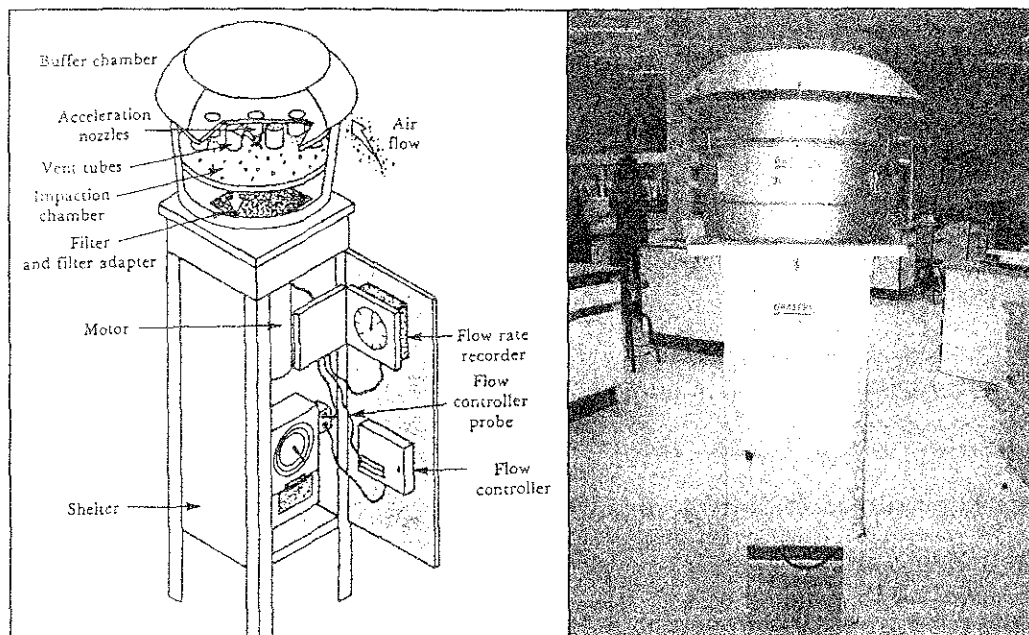
#### ก.2 การเตรียมเครื่องมือเก็บตัวอย่าง PM<sub>10</sub>

##### ก.2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง

เครื่องเก็บตัวอย่าง PM<sub>10</sub> แบบปริมาตรสูง ดังแสดงในรูปที่ ก.1 มีหลักการทำงาน โดยใช้ปั๊มดูดอากาศให้ทำงานในช่วงอัตราการไหล 1.13 ลบ.ม./นาที เพื่อให้เครื่องสามารถคัดแยกฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ลงมาไว้บนแผ่นกรองชนิดใยหินขนาด 8" x 10" ซึ่งแผ่นกรองดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน ได้ร้อยละ 99 โดยเครื่องเก็บตัวอย่าง PM<sub>10</sub> แบบปริมาตรสูง มีส่วนประกอบดังนี้

##### ตัวถังโลหะ

ตัวถังโลหะทำจากโลหะไม่เป็นสนิม สำหรับบรรจุปั๊มดูดอากาศ อุปกรณ์สำหรับใส่แผ่นกรอง รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ



รูปที่ ก.1 เครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง

### หัวคัดฝุ่นละออง

หัวคัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$  Inlet) มีลักษณะทรงกลม ประกอบไว้ส่วนบนของตัวถังเครื่องเก็บตัวอย่าง โดยเป็นส่วนที่ให้ตัวอย่างอากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างหัวเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง โดยที่อัตราการไหลของอากาศ 1.13 ลบ.ม./นาที อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูกคัดให้พุ่งชนและติดกับพื้นผิวด้านล่างที่ทาดด้วยสารที่มีความเหนียว อาทิ ซิลิโคนเจล หรือจาระบี เป็นต้น

### ปั๊มดูดอากาศ

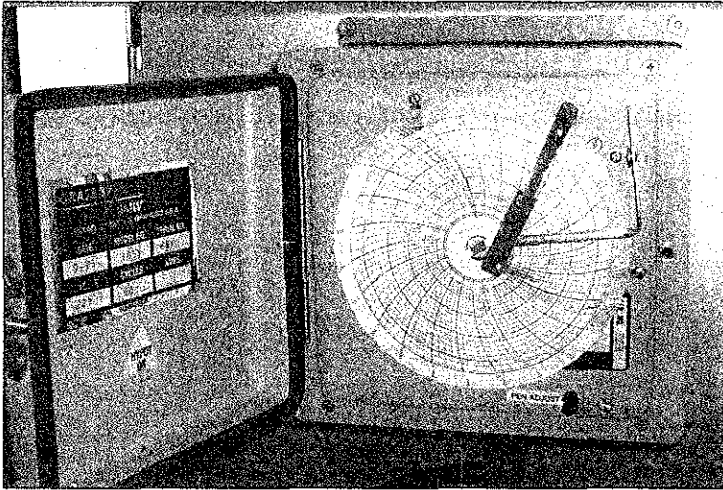
ปั๊มดูดอากาศแบบใช้แรงดัน เป็นปั๊มมอเตอร์สำหรับดูดอากาศให้ไหลผ่านแผ่นกรอง โดยใช้แรงดันเป็นตัวขับให้ปั๊มหมุน ซึ่งแปลงค่าโดยทั่วไปในการทำงานปกติจะมีอายุการใช้งานประมาณ 800 ชั่วโมง

### ที่วางและยึดแผ่นกรอง

ที่วางและยึดแผ่นกรองเป็นอุปกรณ์สำหรับยึดแผ่นกรองขนาด 8" x 10" โดยทำจากอลูมิเนียมเป็นรูปทรงกรวย ด้านบนมีตะแกรงสำหรับวางแผ่นกรองเก็บตัวอย่าง โดยมีน็อตยึดแผ่นกรองด้านบน

### อุปกรณ์บันทึกอัตราการไหล

อุปกรณ์บันทึกอัตราการไหลมีลักษณะเป็นตารางวงกลมและมีปากกาขีดบันทึกอัตราการไหลตลอดเวลาขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 อุปกรณ์บันทึกอัตราการไหล

### อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลและปรับอัตราการไหลของอากาศ

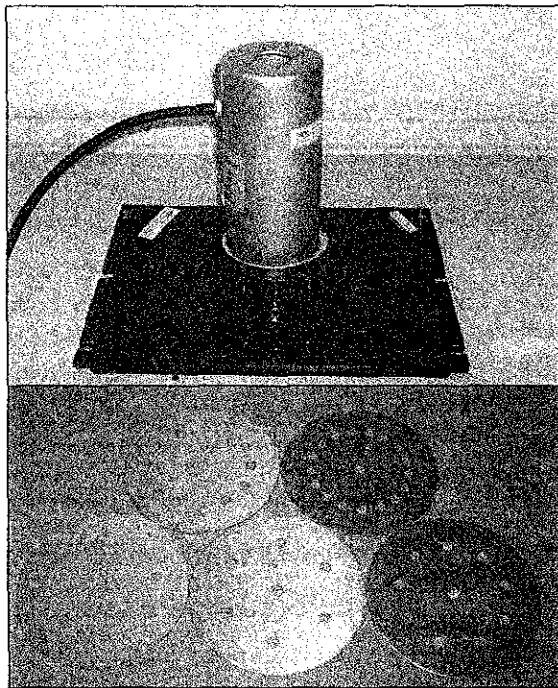
อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ มีลักษณะเป็นชุดตรวจจับวัดอุณหภูมิ โดยติดตั้งในช่องระหว่างโครงอลูมิเนียมรูปทรงกรวยที่ประกอบเข้ากับที่ยึดแผ่นกรองและปั๊มดูดอากาศ สำหรับอุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบรวมอยู่ในอุปกรณ์ตั้งเวลาในการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 อุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศและอุปกรณ์ตั้งเวลา

## ก.2.2 การปรับเทียบอัตราการไหลของเครื่อง

ก่อนการใช้งานเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง ซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ จะต้องดำเนินการปรับเทียบอัตราการไหลด้วยชุดปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ ที่ผ่านการปรับเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard) และได้รับการรับรองจากผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ ก.4 โดยชุดปรับเทียบมีอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ คือ Orifice ซึ่งเป็นกระบอกโลหะทรงกลม และแผ่นด้านทานการไหลของอากาศ (Orifice Plate) จำนวน 5 แผ่น ซึ่งมีจำนวนรูเปิด 5, 7, 10, 13 และ 18 รู

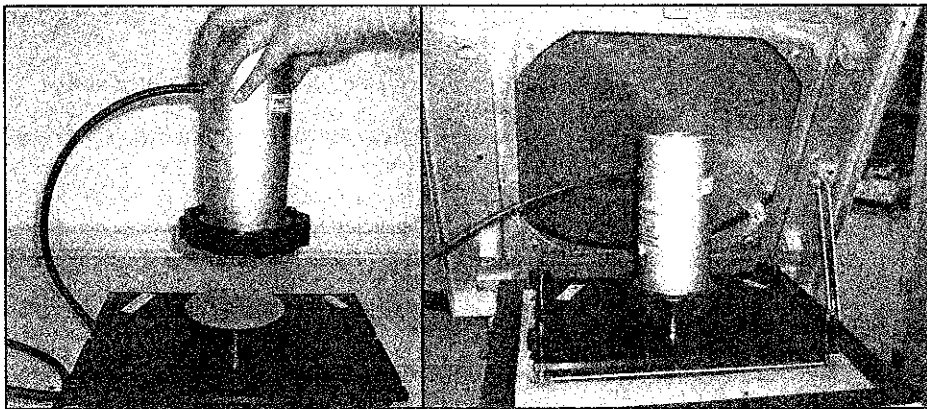


รูปที่ ก.4 ชุดปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ

ขั้นตอนของการปรับเทียบ มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ประกอบชุดปรับเทียบอัตราการไหลเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  โดยไม่ต้องใส่กระดวยกรอง ดังรูปที่ ก.5
- 2) วางแผ่นด้านทานการไหลของอากาศทีละแผ่น โดยเลือกวางแผ่นที่มีปริมาตรมากที่สุดมาเริ่มต้นปรับเทียบ โดยวางตรงกลางระหว่าง Orifice กับที่จับแผ่นกรอง ซึ่งเมื่อทำการปรับเทียบแผ่นแรกแล้ว จึงเปลี่ยนแผ่นด้านทานการไหลแผ่นถัดไปจนครบ 5 แผ่น

- 3) นำมานอมิเตอร์ใส่น้ำ และปรับระดับน้ำทั้งสองข้างของมานอมิเตอร์ให้อยู่ในระดับเดียวกัน และต่อสายยางเชื่อมระหว่างมานอมิเตอร์กับ Orifice
- 4) ต่อปั๊มดูดอากาศเข้ากับแหล่งจากไฟฟ้าโดยตรง โดยไม่ต้องต่อผ่านอุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศและอุปกรณ์ตั้งเวลา และถอดอุปกรณ์ตรวจวัดควบคุมอัตราการไหลของอากาศออกจากโครงอลูมิเนียมรูปทรงกรวย และเปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อเป็นการอบอุ่นเครื่อง และตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศทั้งระบบ



รูปที่ ก.5 การประกอบชุดปรับเทียบอัตราการไหลเข้ากับเครื่อง

- 5) บันทึกข้อมูลของการปรับเทียบอัตราการไหล โดยประกอบด้วยข้อมูลวัน เวลา สถานที่ อุณหภูมิ ความกดอากาศ และข้อมูล Orifice จากผู้ผลิต (Orifice Calibration Relationship) ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของชุดปรับเทียบนั้นๆ
- 6) บันทึกค่า Orifice Manometer (in. H<sub>2</sub>O) ซึ่งเป็นผลต่างระยะความสูงของน้ำในมานอมิเตอร์ ( $\Delta H_{2O}$ ) และบันทึกค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหล (I) แล้วปิดมอเตอร์ เปลี่ยนแผ่นด้านทานการไหลของอากาศแผ่นอื่นลงไป แล้วดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นจนครบทุกแผ่น
- 7) คำนวณหาค่า  $Q_a$  ของแต่ละแผ่นด้านทานการไหลของการปรับเทียบ

$$Q_a = \left[ \sqrt{\Delta H_{2O} \times \frac{T_a}{P_a} - b} \right] \times \frac{1}{m}$$

$Q_a$  คือ อัตราการไหลที่แท้จริงของชุดปรับเทียบ Orifice (ลบ.ม./นาที)

$(\Delta H_{2O})$  คือ Pressure Drop เมื่อผ่าน Orifice (นิ้วน้ำ)

$T_a$  คือ อุณหภูมิในบรรยากาศขณะปรับเทียบ (องศาเซลเซียส)

- $P_a$  คือ ความกดอากาศในบรรยากาศขณะปรับเทียบ (มิลลิเมตรปรอท)
- $b$  คือ Intercept จาก Calibration Curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบของผู้ผลิตชุดปรับเทียบ)
- $m$  คือ ความชัน จาก Calibration Curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบของผู้ผลิตชุดปรับเทียบ)

8) กำหนดค่าอัตราการไหลที่ได้ปรับแก้ ( $I_c$ ) ของแต่ละแผ่นด้านทานการไหลของการปรับเทียบ

$$I_c = I \cdot \left[ \sqrt{\frac{T_a}{P_a}} \right]$$

- $I_c$  คือ ค่าอัตราการไหลที่ได้ปรับแก้ (Actual correction)
- $I$  คือ ค่าอัตราการไหลจากบันทึกกระดาษกราฟวงกลม (Recorder response)

9) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_c$  ลงบนแกน Y กับ  $Q_a$  ลงบนแกน X ของทั้ง 5 จุดของการปรับเทียบ โดยสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้ควรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R$ ) มากกว่า 0.99 โดยสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น คือ

$$I_c = m_c(Q_a) + b_c$$

- $I_c$  คือ ค่าอัตราการไหลที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลม (ลบ.ฟ./นาท)
- $Q_a$  คือ ค่าอัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./นาท)
- $b_c$  คือ ค่าจุดตัดแกน Y ของการปรับเทียบ
- $m_c$  คือ ความชันของการปรับเทียบ

10) กำหนดค่า  $I_c$  โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  ( $Q_a$ ) เท่ากับ 1.13 ลบ.ม./นาท

11) เชื่อมปั๊มดูดอากาศกับอุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศ ใส่กระดาษกราฟวงกลมและปรับตำแหน่งของเข็มให้อยู่ที่ค่าศูนย์ ปรับให้เข็มปากกาอยู่ที่เวลาปัจจุบัน แล้วเปิดเครื่องให้อุณหภูมิทำงานคงที่ ปรับค่าควบคุมอัตราการไหลของอากาศจนกระทั่งค่าจากกระดาษกราฟวงกลมมีค่าเท่ากับค่า  $I_c$  ตามที่คำนวณได้จากข้อ 10

12) ทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลให้มีค่าคงที่ประมาณ 10 นาที จึงปิดเครื่อง ซึ่งแสดงว่าเครื่องมีความพร้อมในการเก็บตัวอย่าง และหลังจากการเก็บตัวอย่างนำค่าอัตราการไหลของอากาศที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมที่บันทึก ( $I_c$ ) มาคำนวณอัตราการไหลของอากาศ ( $Q_a$ ) โดยใช้สมการจากข้อที่ 9 มาคำนวณ

- 13) มีข้อเสนอแนะของการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งที่มีการย้ายสถานที่เก็บตัวอย่าง หรือมีการเปลี่ยนแปลงถ้ำของปั๊มดูดอากาศ ควรจะต้องปรับเทียบอัตราการไหลของเครื่องมือเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  ทุกครั้ง

### ก.3 การเตรียมกระดาษกรองและชั่งน้ำหนักในห้องปฏิบัติการ

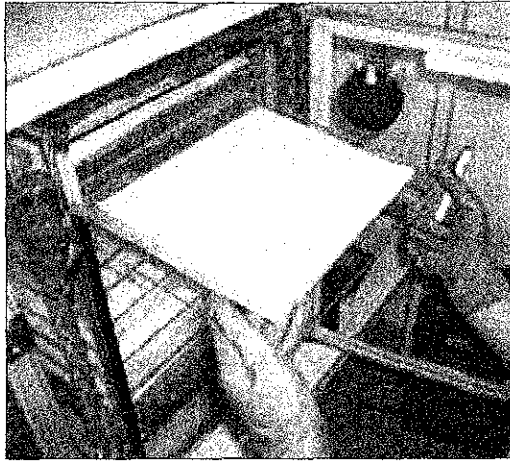
#### การเตรียมกระดาษกรอง

##### 1) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของกระดาษกรอง

- ตรวจสอบความสมบูรณ์ของกระดาษกรองใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาด 8 x 10 นิ้ว เช่น ไม่มีรอยฉีกขาด ไม่มีรูพรุน สีของกระดาษไม่เปลี่ยนไป และกระดาษมีความเรียบเสมอกัน ซึ่งหากพบว่ากระดาษกรองไม่สมบูรณ์จะไม่นำมาใช้เก็บตัวอย่าง
- กำหนดรหัสหมายเลขกระดาษกรอง เพื่อให้สามารถอ้างอิงตรวจสอบได้

##### 2) การเตรียมกระดาษกรองก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง

- ก่อนเก็บตัวอย่างนำกระดาษกรองไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (กรณีเก็บตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของฝุ่นละออง) หรืออบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำเข้าตู้ดูดความชื้นที่สถานะอุณหภูมิห้องระหว่าง 15 – 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ ก.6
- หลังเก็บตัวอย่างนำกระดาษกรองเข้าตู้ดูดความชื้นที่สถานะอุณหภูมิห้องระหว่าง 15 – 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



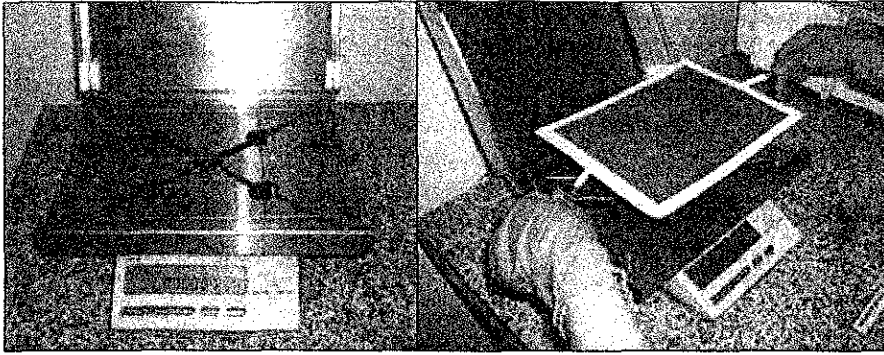
รูปที่ ก.6 การนำกระดาษกรองเข้าสู่ตู้ดูดความชื้น

- สำหรับการเตรียมกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้เก็บไว้ในของกระดาษหรือกล่องกระดาษ แล้วใส่ในถุงซิปล็อกชั้นเพื่อป้องกันการเปียกน้ำ พร้อมกับแนบกระดาษกราฟวงกลม เพื่อเตรียมสำหรับเก็บตัวอย่างต่อไป
- ข้อควรระวัง หากต้องนำกระดาษกรอง ไปวิเคราะห์โลหะ ควรใช้คีมชนิดที่ไม่เป็นโลหะหรือพันส่วนที่จับกระดาษกรองด้วยยาง ดังแสดงในรูปที่ ก.11 เนื่องจากหากกระดาษกรองสัมผัสโลหะโดยตรงอาจเกิดการปนเปื้อนของโลหะได้

#### การชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง

การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ ก.7 โดยก่อนเริ่มชั่งน้ำหนักทุกครั้งให้เปิดเครื่องชั่งทิ้งไว้ก่อนอย่างน้อย 2 ชั่วโมง และเมื่อเริ่มชั่งน้ำหนักปรับเครื่องชั่งให้เป็น 0.0000 กรัม และทดสอบเครื่องด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โคน้ำหนักตุ้มน้ำหนักมาตรฐานจะต้องแตกต่างกันจากน้ำหนักเดิมไม่เกิน 0.0005 กรัม ซึ่งหากแตกต่างจากที่กำหนดให้ยกเลิกการชั่งในวันนั้น และเมื่อเครื่องชั่งมีความพร้อมให้นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนักโดยใช้คีมจับ แล้วจดบันทึกน้ำหนักกระดาษกรอง





รูปที่ ก.7 การชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง

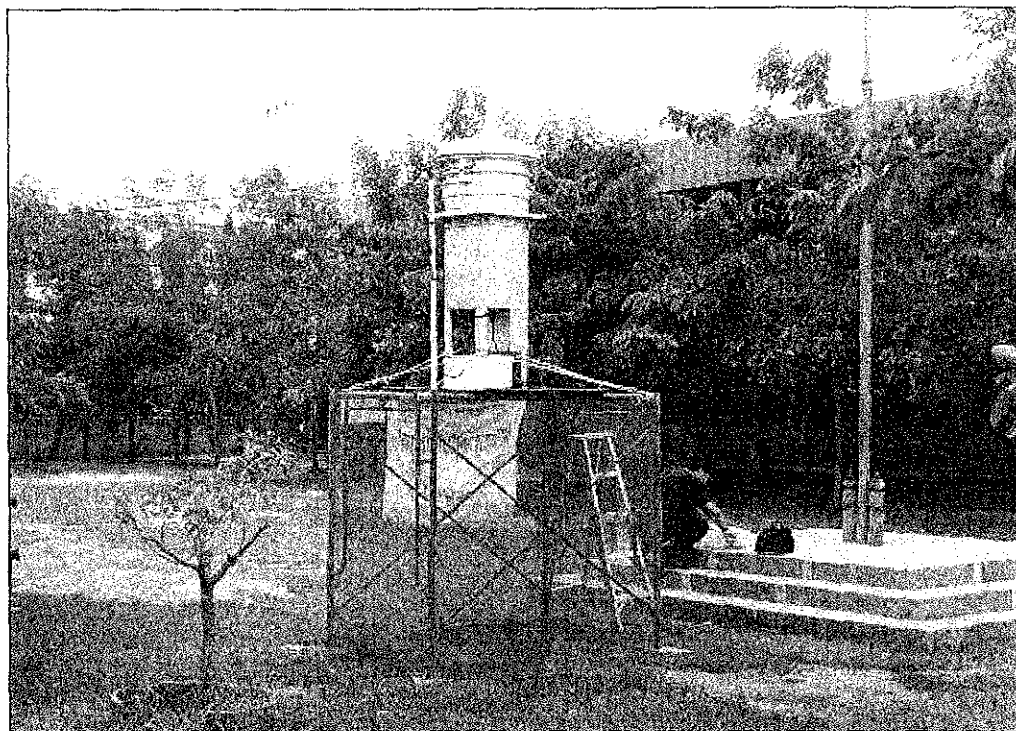
#### ก.4 การตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  ในบรรยากาศ โดยทั่วไปกำหนดให้ช่องทางอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร โดยการเลือกตำแหน่งจุดติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  มีหลักเกณฑ์ทั่วไปดังนี้

- 1) ช่องทางเข้าอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง ควรอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร อย่างน้อย 2 เท่าของความสูงของสิ่งกีดขวางที่โผล่เหนือช่องทางเข้าอากาศ
- 2) ในรัศมี 270 องศารอบช่องทางอากาศเข้า ควรต้องไม่มีอะไรกีดขวางการไหลของอากาศ
- 3) ตำแหน่งที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง ควรห่างจากกันเสาอย่างน้อย 2 เมตร และอย่างน้อย 10 เมตร กรณีมีต้นไม้เป็นสิ่งกีดขวาง และการตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ทั่วไปไม่ควรอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมลพิษ เช่น เตาเผาขยะ และควรห่างจากถนนมากกว่า 50 เมตร

โดยการตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว ควรพิจารณาถึงความปลอดภัย การป้องกันเครื่องมือสูญหายและอุบัติเหตุ ได้แก่ การป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหล การป้องกันไม่ให้เครื่องล้มหรือตกหล่น เป็นต้น ทั้งนี้ ตัวอย่างรูปแบบของสถานีตรวจวัดชั่วคราวที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แสดงในรูปที่ ก.8 ซึ่งใช้นั่งร้านประกอบเป็นโครงของสถานีเพื่อยกเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  ขึ้นสูงจากพื้นดินประมาณ 1.7 เมตรและใช้ผ้าพลาสติกขึงปิดรอบ โครงสถานีเพื่อป้องกันการรบกวนจากบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ต้องมีการยึดขาตั้งเครื่องให้แน่นและต่อสายดินเพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร และติดป้ายแสดงข้อมูลของสถานีและงานวิจัยให้เห็นชัดเจน

นอกจากนี้ ในการปฏิบัติงานตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวต้องขออนุญาตเจ้าของพื้นที่ และประสานงานแจ้งให้ผู้ดูแลพื้นที่ทราบ เพื่อช่วยเฝ้าระวังปัญหาที่อาจเกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน อาทิ การเกิดอุบัติเหตุ ปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง เป็นต้น รวมทั้งควรมีการเผยแพร่ข้อมูลและความสำคัญของการตรวจวัดให้ผู้ที่ใช้พื้นที่ได้ทราบอย่างทั่วถึง เพื่อขอความร่วมมือในการปฏิบัติงาน



รูปที่ ก.8 ตัวอย่างสถานีตรวจวัดชั่วคราวของการวิจัย

#### ก.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ $PM_{10}$

ขั้นตอนของการเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  มีรายละเอียดดังนี้

- ตรวจสอบเครื่องเก็บตัวอย่าง  $PM_{10}$  แบบปริมาตรสูง โดยสอบเทียบปั๊มดูดอากาศให้มีอัตราการไหลของอากาศเป็น 1.13 ลบ.ม./นาที เพื่อให้สามารถคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนได้ตามมาตรฐาน
- ทำความสะอาดเช็ดฝุ่นภายในเครื่องเก็บตัวอย่าง ใส่หัวคัดแยกขนาดฝุ่นละออง ทาซิติโคนเจล หรือจารบี บนแผ่นดักฝุ่น เพื่อดักฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน แล้วปิดฝาเครื่องให้สนิท เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ
- เตรียมกระดาษกรองใยหินขนาด 8 x 10 นิ้ว และชั่งน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่าง
- ใส่กระดาษกรองบนตะแกรงสำหรับกระดาษกรอง โดยหงายด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น จัดวางกระดาษกรองให้สมดุลกับตะแกรง และยึดกระดาษกรอง
- ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่องบันทึกอัตราการไหล ใส่กระดาษบันทึกอัตราการไหล

- ตั้งเวลาเปิดปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง บันทึกเวลาเริ่มเดินเครื่อง สภาวะแวดล้อมบริเวณโดยรอบโดยการเก็บตัวอย่างเฉลี่ย 24 ชั่วโมง กำหนดช่วงเวลาดังแต่ 0.00 น. ถึง 0.00 น. ของวันถัดไป
- เมื่อครบกำหนดเวลาเก็บตัวอย่าง ให้บันทึกเวลาหยุดทำงาน เก็บกระดาษกรองลงบนกล่องหรือซองกระดาษ
- นำกระดาษกรองเข้าสู่ตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง
- วิเคราะห์หาความเข้มข้นของตัวอย่าง  $PM_{10}$  จาก

$$\text{ความเข้มข้นของ } PM_{10} \text{ (มก.ก./ลบ.ม.)} = [(W_1 - W_2) \times 10^6] / V$$

- $W_1$  คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (กรัม)  
 $W_2$  คือ น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (กรัม)  
 $V_s$  คือ ปริมาตรอากาศในการเก็บตัวอย่าง (ลบ.ม.)

$$V_s = V \cdot \left( \frac{P_{av}}{P_s} \cdot \frac{T_s}{T_{av}} \right)$$

- $V_s$  คือ ปริมาตรอากาศในการเก็บตัวอย่าง (ลบ.ม.)  
 $V$  คือ ปริมาตรอากาศที่คำนวณได้จากกระดาษกราฟวงกลม (ลบ.ม.)  
 $P_{av}$  คือ ความกดอากาศเฉลี่ยของวันเก็บตัวอย่าง (มม.ปรอท)  
 $P_s$  คือ ความกดอากาศ 760 มม.ปรอท  
 $T_{av}$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของวันเก็บตัวอย่าง (องศาเซลวิน)  
 $T_s$  คือ อุณหภูมิ 298 องศาเซลวิน

$$V = Q_a \cdot t$$

- $V$  คือ ปริมาตรอากาศที่คำนวณได้จากกระดาษกราฟวงกลม (ลบ.ม.)  
 $Q_a$  คือ อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./นาที)  
 $t$  คือ ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)

## ประวัติผู้วิจัย

ดร.สุจิต คุรุจิต จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2535 ระดับปริญญาโทจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ปี พ.ศ. 2537 และระดับปริญญาเอกจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ปี พ.ศ. 2544 ทั้งหมดในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม โดยในระดับปริญญาเอกได้นั้นศึกษาทางด้านมลพิษอากาศ

ดร.สุจิต มีประสบการณ์ทำงานในตำแหน่งวิศวกรสิ่งแวดล้อม บริษัท ทิม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง จำกัด และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนับตั้งแต่เข้าทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2544 มีผลงานที่สำคัญ อาทิ เป็นหัวหน้าโครงการวิจัย 4 โครงการ เป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักของนักศึกษาปริญญาโท 10 คน ปริญญาเอก 1 คน และมีบทความนำเสนอในวารสารและการประชุมวิชาการกว่า 10 บทความ โดยงานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ และแบบจำลองเชิงสถิติสำหรับทำนายระดับมลพิษทางอากาศ

ปัจจุบัน ดร.สุจิต เป็นหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเป็นกรรมการฝ่ายวิชาการของคณะกรรมการสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.)