

การกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองนาโนในบรรยากาศ สำหรับพื้นที่เขตเมือง: กรุงเทพมหานคร

Size Distribution of Ambient Nanosized Particulate Matters in Urban Area: Bangkok

ชญาพร พิษฐ์ (Chayaporn Pheutfoo)^{1*} ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ (Dr.Surat Bualert)**

บทคัดย่อ

การกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองนาโนในบรรยากาศได้ทำการวิจัยในบริเวณกรุงเทพมหานคร จากวันที่ 20 ถึง 23 พฤษภาคม 2557 พบว่า ความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ $3,446.22 \pm 2,405.90$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งฝุ่นละอองขนาด 44.5 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยสูงสุด การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่า จำนวนอนุภาคเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 21.07 ± 13.36 36.91 ± 28.10 30.56 ± 13.94 27.68 ± 8.44 23.62 ± 10.32 และ 21.44 ± 11.86 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละออง (30-250 นาโนเมตร) ในรอบวันพบว่า ฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน (EC) พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC มีค่าเท่ากับ 0.41 ± 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งส่วนใหญ่มาจากไอเสียยานพาหนะ

ABSTRACT

Size distribution of ambient nanosized particulate matters were observed at Bangkok from 20 May to 23 May 2014, the results showed that the average number concentration in the range of 10-414 nm was $3,446.22 \pm 2,405.90 \text{ cm}^{-3}$, in which particle size of 44.5 nm was the highest number concentration. The size distributions at 30, 50, 100, 150, 200 and 250 nm, the average number concentration of each nanosized particulate matters were 21.07 ± 13.36 , 36.91 ± 28.10 , 30.56 ± 13.94 , 27.68 ± 8.44 , 23.62 ± 10.32 and $21.44 \pm 11.86 \text{ cm}^{-3}$, respectively. A diurnal variation of number concentrations (30-250 nm), showed that high number concentration at the size between 30 and 100 nm during a daytime period (06:00 AM-18:00 PM), while high number concentration at size between 150 and 250 nm during a

¹Correspondent author: chayaporn888@gmail.com

* นิสิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

night-time period (18:00 PM–06:00 AM). The element carbon (EC) average concentration was $0.41 \pm 0.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in which enriched in motor-vehicle exhaust.

คำสำคัญ : การกระจายตัวตามขนาด ฝุ่นละอองระดับนาโนเมตร ธาตุคาร์บอน

Key Words : Size distribution, Nanosized particulate matters, Element carbon

บทนำ

ฝุ่นละอองเป็นปัญหาด้านมลพิษทางอากาศที่สำคัญปัญหาหนึ่ง ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่บรรยากาศมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรงหรือเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์หรือปฏิกิริยาทางเคมี โดยเฉพาะพื้นที่เขตเมือง (Urban Area) เป็นบริเวณที่มีการปลดปล่อยฝุ่นละอองเป็นจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการจราจร ฝุ่นละอองมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร สามารถผ่านเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถูกดูดซึมได้ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ [1] นอกจากนี้ฝุ่นละอองมีผลต่อสภาพภูมิอากาศ เช่น การบดบังรังสีดวงอาทิตย์ รวมไปถึงด้านทัศนวิสัยการมองเห็น [2] โดยเฉพาะการทำหน้าที่เป็นแกนกลางการกลั่นตัวของเมฆ (Cloud condensation nuclei: CCN)

ฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์และสภาพภูมิอากาศเป็นฝุ่นละอองขนาดอนุภาคละเอียด (Fine particles mode) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 1 ไมครอน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม Aitken mode เป็นกลุ่มของฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 100 นาโนเมตร มีที่มาจากการเผาไหม้หรือสันดาปภายในของเครื่องยนต์ [3] ทำให้เกิดก๊าซ เช่น ไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุภาคด้วยกระบวนการ Gas to particle conversion ทำให้เกิดเป็นอนุภาคของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode [4] และกลุ่ม Accumulation

mode เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในมากกว่า 100–1000 นาโนเมตร ซึ่งอนุภาคในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะมาจากการเกาะรวมตัวกันของอนุภาคในกลุ่มแรกซึ่งทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น [5] รวมไปถึงฝุ่นละอองจากการเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้ชีวมวลด้วย [6] ในฝุ่นละอองประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน (Element carbon: EC) หรือแบล็คคาร์บอน (Black carbon: BC) [7] โดยพบว่าฝุ่นละอองจากการจราจรจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel burning) ธาตุคาร์บอนมีสมบัติในการดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ และมีผลทำให้โลกร้อนเป็นอันดับสองรองจากก๊าซเรือนกระจก [8] จึงส่งผลกระทบต่อพลังงาน (Energy Balance) ของโลก ดังนั้นลักษณะทางกายภาพ (ขนาดและจำนวนของฝุ่นละออง) และทางเคมี (ธาตุคาร์บอน) ของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรจึงเป็นข้อมูลที่สามารถใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้ [9]

ในปัจจุบัน สำหรับการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองในบรรยากาศในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะศึกษาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) หรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) ในขณะที่การศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองที่ระดับนาโนเมตรในบรรยากาศยังไม่แพร่หลาย อาจมีสาเหตุมาจากการขาดเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองที่ระดับนาโนเมตรในกลุ่ม Aitken mode (30–100 นาโนเมตร) และ Accumulation Mode (200–250 นาโนเมตร) และวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนของฝุ่น

ละอองบริเวณพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาที่ได้ทั้งข้อมูลลักษณะทางกายภาพ (ขนาดและจำนวนของฝุ่นละออง) และทางเคมี (ธาตุคาร์บอน) สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร อันเป็นแนวทางในการควบคุมมลพิษทางอากาศเขตเมือง กรุงเทพมหานคร และรวมไปถึงการใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการกระจายตัวตามขนาด (size distribution) ของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในรอบวัน
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของฝุ่นละอองกับความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนของฝุ่นละออง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

1. วัสดุ อุปกรณ์ และหลักการใช้เครื่องมือ

1.1 การกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตร

ในการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตร ใช้เครื่องมือซึ่งทำงานรวมกันเป็นชุดประกอบด้วย 1) Electrostatic Classifier (SMPS) TSI. Model 3080 จำนวน 2 ชุด 2) Differential Mobility Analyser (Long DMA) TSI. Model 3081 จำนวน 2 ชุด 3) Nano Water-based Condensation Particle Counter (CPC) TSI. Model 3788 จำนวน 1 ชุด (ภาพที่ 1) มีหลักการทำงาน กล่าวคือ เครื่องมือ SMPS และ Long DMA จะถูกควบคุมผ่านโปรแกรม Electrostatic Classifier เพื่อทำหน้าที่ในคัดขนาดฝุ่นละอองในขนาดที่ต้องการศึกษาซึ่งเครื่องมือสามารถตรวจวัดฝุ่นละอองได้ในช่วงขนาด 1-1,000 นาโนเมตร และโปรแกรม Aerosol Instrument Manager จะควบคุมการทำงานของเครื่องมือ

SMPS, Long DMA และ CPC เพื่อทำหน้าที่ในการนับจำนวนฝุ่นละอองในขนาดที่ศึกษา โดยผลการตรวจวัดจะแสดงในรูปของความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) ต่อปริมาตรอากาศ (cm^{-3}) หรือจำนวนอนุภาคต่อปริมาตรอากาศ ในงานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่ขนาด 10-414 นาโนเมตร และฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร เนื่องจากฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตรมีความสำคัญต่อสภาพภูมิอากาศ โดยทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ (Cloud condensation nuclei: CCN) ในกระบวนการการเกิดฝน [10]

1.2 ธาตุคาร์บอนของฝุ่นละออง

ในการศึกษาธาตุคาร์บอน (Element carbon: EC) โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยหัวคัดขนาด 10 ไมโครอน บนกระดาดกรองควอทซ์ (Quartz filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ซึ่งบรรจุใน Cassette filter โดยมี Personal pump ทำหน้าที่ในการดูดอากาศด้วยอัตราการดูดอากาศ 2 ลิตรต่อ นาที จากนั้นวิเคราะห์ EC บนกระดาดกรองควอทซ์ โดยเครื่องมือ Magee Scientific SootScan Model OT21 (ภาพที่ 1) ซึ่งวิเคราะห์โดยหลักการวัดการดูดกลืนแสง ซึ่ง EC จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร โดยผลการตรวจวัดแสดงในรูปของความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2. วิธีการวิจัย

ในการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในบรรยากาศ การเลือกพื้นที่ศึกษาพิจารณาจากขนาดของความเป็นเมืองและกิจกรรมในพื้นที่ ซึ่งเป็นลักษณะของเขตเมืองคือการจราจรที่หนาแน่น ดังนั้นพื้นที่ศึกษาจึงเป็นบริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ซึ่งเขตจตุจักรเป็น 1 ใน 50 เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ลักษณะโดยทั่วไปเป็นแหล่งการค้า การบริการ และแหล่งที่อยู่อาศัยที่มีความหนาแน่น โดยจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่โล่งของสถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน อยู่ใกล้กับ

แยกรัษโยธิน มีถนนรัชดาภิเษกและถนนพหลโยธินตัดผ่าน (ภาพที่ 2) ซึ่งพบว่าถนนพหลโยธินเป็น 1 ใน 5 เส้นทาง ที่มีการจราจรหนาแน่นที่สุดในกรุงเทพมหานคร ดังนั้นการจราจรจึงเป็นกิจกรรมส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเปลี่ยนแปลงกิจกรรมตามรอบวัน ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองเพื่อศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองและวิเคราะห์ธาตุคาร์บอนนั้นจึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ระดับความสูง 10 เมตร โดยรถตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ ตั้งแต่เวลา 12.00 นาฬิกา วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึงเวลา 12.00 นาฬิกา วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ซึ่งเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทุก 3 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง คือ 00.00–03.00 นาฬิกา 03.00–06.00 นาฬิกา 06.00–09.00 นาฬิกา 09.00–12.00 นาฬิกา 12.00–15.00 นาฬิกา 15.00–18.00 นาฬิกา 18.00–21.00 นาฬิกา และ 21.00–00.00 นาฬิกา และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองในรอบวัน

การกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองในรอบวันจะพิจารณาจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองซึ่งแสดงในรูปแบบของความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) ในหน่วยอนุภาคต่อปริมาตรอากาศ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากการทำงานร่วมกันของเครื่องมือ SMPS, Long DMA และ CPC โดยการกระจายตัวของฝุ่นละอองรวม (10–414 นาโนเมตร) ในพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร พบว่า จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ $3,446.22 \pm 2,405.90$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้จำนวนอนุภาคต่ำสุด–สูงสุดของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 615.67–12,969.13 อนุภาค

ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งการกระจายตัวของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่ศึกษาจะมีจำนวนอนุภาคสูงในช่วงขนาด 40–50 นาโนเมตร โดยฝุ่นละอองขนาด 44.5 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงสุดมีค่าเท่ากับ 5,343.25 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 3) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่ศึกษาในรอบวัน พบว่า จำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 06.00–09.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคสูงสุดในช่วงเวลา 12.00–15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $7,296.86 \pm 4,935.95$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และลดลงต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00–06.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 903.98 ± 319.27 (ภาพที่ 4)

การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในพื้นที่ศึกษา ฝุ่นละอองในขนาดดังกล่าวสามารถเป็นแกนกลางการกลั่นตัวของเมฆ (Cloud condensation nuclei: CCN) ได้ [10] [11] โดยจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 21.07 ± 13.36 36.91 ± 28.10 30.56 ± 13.94 27.68 ± 8.44 23.62 ± 10.32 และ 21.44 ± 11.86 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองสูงสุดที่ขนาด 50 นาโนเมตร (ภาพที่ 5) สอดคล้องกับฝุ่นละอองรวมในพื้นที่ที่มีจำนวนอนุภาคสูงในช่วงขนาด 40–50 นาโนเมตร เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตรในรอบวัน พบว่าฝุ่นละอองมีการกระจายตัวแตกต่างกัน กล่าวคือ จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30 50 และ 100 นาโนเมตร (30–100 นาโนเมตร) จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 06.00–09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 29.04 ± 13.36 43.97 ± 19.12 และ 51.96 ± 13.20 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ และลดลงช่วงเวลา 09.00–12.00 นาฬิกา จากนั้นจำนวนอนุภาคเฉลี่ยฝุ่นละอองจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา 12.00–15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ

44.68±22.33 80.44±53.45 และ 45.30±17.42 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 150 200 และ 250 นาโนเมตร จะเป็นไปในลักษณะตรงข้าม กล่าวคือ จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 21.00-00.00 น. มีค่าเท่ากับ 27.49±16.34 22.07±13.58 และ 33.82±13.32 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 00.00-03.00 น. มีค่าเท่ากับ 38.08±14.45 42.17±9.06 และ 43.55±16.37 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 6)

จากการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ฝุ่นละออง 30-100 นาโนเมตร เป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร เป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode เมื่อพิจารณาผลการกระจายตัวของฝุ่นละอองทั้งสองกลุ่ม ในรอบวัน พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation Mode มีค่าเท่ากับ 43.20±11.47 และ 22.48±5.97 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 15.83±5.61 และ 26.02±12.10 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่า ฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตรมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) และฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร จะมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) การที่ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีจำนวนอนุภาคสูงในช่วงเวลากลางวัน (ภาพที่ 7) เนื่องจากฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (10-100 นาโนเมตร) เกิดจากกระบวนการ Gas to particle conversion โดยก๊าซที่เกิดขึ้นมาจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์

เช่น ไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ เป็นต้น จะมีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากการจราจรหนาแน่น ทำให้เกิดกระบวนการ Gas to particle conversion ได้มาก จึงส่งผลให้ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีจำนวนอนุภาคสูง ในงานวิจัยนี้ ความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งได้ทำการตรวจวัดไปพร้อมกับการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละออง มีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 07.00 น. มีค่าเท่ากับ 153 ppb และ 180 ppb ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ในบริเวณ Michigan ประเทศสหรัฐอเมริกา [12] พบว่าในช่วงเวลา 08.00 น. มีความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode สูงที่สุด เนื่องจากมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (3.4 ppm) และก๊าซไนตริกออกไซด์ (194 ppb) สูง ซึ่งแปรผันตามรูปแบบการจราจรในเขตเมือง

ในขณะที่ฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode มีจำนวนอนุภาคสูงกว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากก๊าซที่ทำให้เกิดกระบวนการ Gas to particle conversion ในเวลากลางคืนมีความเข้มข้นต่ำ ดังนั้นความเข้มข้นของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode จึงต่ำและเกิดการเกาะรวมกัน [3] กลายเป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode จึงทำให้ฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร จะมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) สอดคล้องกับงานวิจัยของที่ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองในเขตเมือง Kanpur ประเทศอินเดีย [13] พบว่า ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา ในขณะที่ฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุดในช่วงเวลา 18.00 นาฬิกา และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองในเขตเมือง Nanjing ประเทศจีน [14] พบว่า การกระจายตัวของฝุ่นละอองในกลุ่ม

Accumulation mode ในรอบวันมีจำนวนอนุภาคสูง ตั้งแต่เวลา 15.00 นาฬิกา เป็นต้นไป และมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 20.00–21.00 นาฬิกา

2. ความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของฝุ่นละออง

จากผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตรในรอบวัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (30–100 นาโนเมตร) และฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode (150–250 นาโนเมตร) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างการกระจายตัวของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่และการกระจายตัวของฝุ่นละออง Aitken mode พบว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.92 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวการของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่และการกระจายตัวของฝุ่นละออง Accumulation Mode พบว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.13 แสดงว่าการกระจายตัวของฝุ่นละอองมีแนวโน้มสัมพันธ์กันน้อย ดังนั้นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (30–100 นาโนเมตร) จึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่มากกว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode (150–250 นาโนเมตร) แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ฝุ่นละอองขนาดนาโนเมตรส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมการจราจรซึ่งเป็นกิจกรรมหลักที่เกิดขึ้นภายในเขตกรุงเทพมหานคร

3. ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนของฝุ่นละออง

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน (Element carbon:EC) โดยเครื่องมือ Magee Scientific SootScan Model OT21 มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยพบว่าความเข้มข้นของ EC มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.32–4.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC มีค่าเท่ากับ 0.41 ± 0.12 ไมโครกรัม

ต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความเข้มข้นของ EC ที่เมืองอลบานี รัฐนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตเมือง) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC มีค่าเท่ากับ 0.55 ± 0.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [15] และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ EC ในรอบวันเฉลี่ย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของ EC อยู่ในช่วงเวลา 15.00–18.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.04 ± 0.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดของ EC อยู่ในช่วงเวลา 00.00–03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.11 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 8)

องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองของพื้นที่เขตเมืองนั้นส่วนใหญ่มาจากการจราจร เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล การเผาไหม้เชื้อเพลิง และมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ [16] [17] โดย EC เป็นละอองลอยระดับนาโนเมตรเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์หรือเชื้อเพลิงชีวภาพ [18] จากภาพที่ 8 จะเห็นได้ความเข้มข้นของ EC ในรอบวันเฉลี่ยจะมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน (06.00–18.00 นาฬิกา) เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาขององค์ประกอบคาร์บอนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่า EC จะมาจากการจราจร ถูกปลดปล่อยจากเครื่องยนต์ดีเซลและก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นหลัก [19] แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ช่วงเวลา 06.00–09.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น ความเข้มข้นของ EC มีค่าต่ำ เนื่องจากในช่วงเวลา 06.00–09.00 นาฬิกา เกิดสภาพอากาศที่เป็นอุณหภูมิผกผัน (Inversion) ส่งผลให้ระดับความสูงผสม (Mixing Height) ลดต่ำลง ทำให้ฝุ่นละอองเกิดการสะสมที่ความสูงระดับต่ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ระดับความสูง 10 เมตร ทำให้ความฝุ่นละอองมีเข้มข้นต่ำจึงมีความเป็นไปได้ที่ความเข้มข้นของ EC จึงแปรผันตามไปด้วย ในขณะที่ช่วงเวลา 12.00–15.00 นาฬิกา มีแดดจัด อากาศจึงยกตัวตาม Adiabatic cooling process ทำให้ระดับความสูงผสมสูงขึ้น ฝุ่นละอองจึงมีความเข้มข้นสูง ทำให้ความเข้มข้นของ EC สูงด้วยเช่นกัน เนื่องจาก

ความเข้มข้นของ EC จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของฝุ่นละออง [19] เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่กับความเข้มข้นของ EC ในรอบวัน พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.77 และช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.30 จะเห็นได้ว่าจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดกับความเข้มข้นของ EC ในช่วงเวลากลางวันมีสัมพันธ์กันมากกว่าในเวลากลางคืน เนื่องจากความเข้มข้นของ EC จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของฝุ่นละออง ซึ่งในเวลากลางวันจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองมีค่าสูงส่งผลให้ EC จึงมีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลากลางวัน

สรุป

ในการศึกษาการกระจายตัวตามขนาดของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นพื้นที่เขตเมือง พบว่าการกระจายตัวของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่ศึกษาจะมีจำนวนอนุภาคสูงสุดที่ฝุ่นละอองขนาด 44.5 นาโนเมตร ซึ่งเป็นฝุ่นละอองกลุ่ม Aiken mode ในขณะที่การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่าจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงสุดที่ขนาด 50 นาโนเมตร ซึ่งเป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aiken mode สอดคล้องกับฝุ่นละอองรวมในพื้นที่ ในขณะที่การกระจายตัวของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode ในรอบวันพบว่า ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode จะมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น นั้นแสดงให้เห็นว่าฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่จะเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดต่ำกว่า 100 นาโนเมตร ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ EC พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC มีค่าสูงในช่วงเวลากลางวันมากกว่าช่วงเวลากลางคืนและความเข้มข้นของ EC แปรผัน

ตามความเข้มข้นของฝุ่นละออง จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรและความเข้มข้นของ EC ชี้ให้เห็นว่า ฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในพื้นที่กรุงเทพมหานครนั้นมาจากการจราจร ส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ดังนั้นหากใช้ข้อมูลนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการควบคุมมลพิษทางอากาศที่เกิดจากฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในพื้นที่เขตเมือง กรุงเทพมหานคร อาจทำได้โดยควบคุมปริมาณการจราจร สนับสนุนให้ปลูกพรรณไม้ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับฝุ่นละอองให้ความรู้ในการปฏิบัติตัวแก่ประชาชนในการป้องกันอันตรายจากฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากมีจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองสูงอาจส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจได้ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

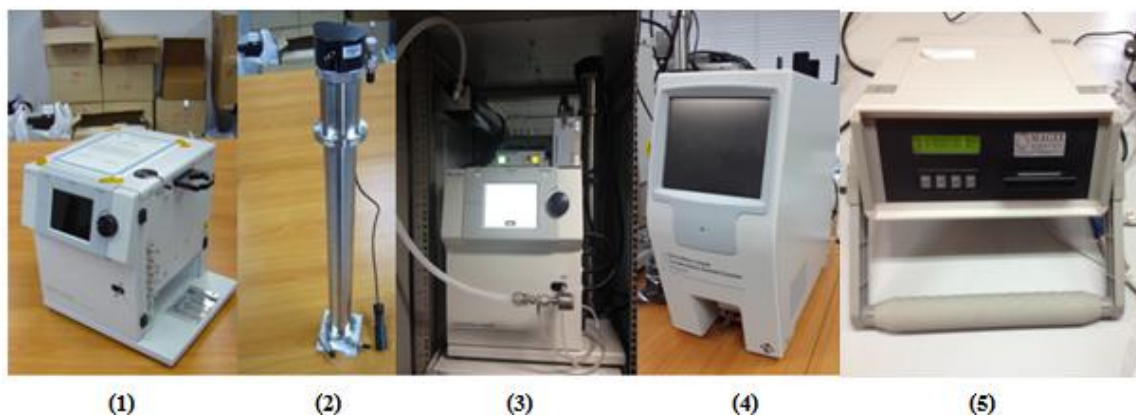
1. Sasaki K, Sakamoto K. Vertical differences in the composition of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the urban atmosphere of Osaka, Japan. *Atmos. Environ.* 2005; 39: 7240-50.
2. Lohmann U, Feichter J. Global indirect aerosol effects: a review. *Atmos. Chem. Phys.* 2005; 5: 715-37.
3. Wang H, Zhu B, Shen L, An J, Yin Y, Kang H. Number size distribution of aerosols at Mt. Huang and Nanjing in the Yangtze River Delta, China: Effects of air masses and characteristics of new particle formation. *Atmospheric Research.* 2014; 150: 42-56.
4. Wu CH. Atmospheric aerosol [Internet]. 2009 [update 2014 Apr 15; cited 2014 Oct 15]. Available from: <http://aerosol.ees.ufl.edu/default.htm>.

5. Eleftheriadisa K, Colbeckb I, Housiadasa C, Lazaridisc M, Mihalopoulostd N, Mitsakoua C, et al. Size distribution, composition and origin of the submicron aerosol in the marine boundary layer during the eastern Mediterranean “SUB-AERO” experiment. *Atmos. Environ.* 2006; 40: 6245–60.
6. Sakamoto KM, Allan JD, Coe H, Taylor JW, Duck TJ, Pierce JR. Aged boreal biomass burning aerosol size distributions from BORTAS 2011. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2014; 14:24349–85.
7. Tunguraiwan K. Variation of concentrations and chemical compositions of PM₁₀ in Samutprakarn province [MSc thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2009. Thai.
8. Viidanoja J, Sillanpaa M, Laakia J, Kerminen V, Hillamo R, Aarnio P, et al. Organic and black carbon in PM_{2.5} and PM₁₀ : 1 year of data from an urban site in Helsinki. *Atmos. Environ.* 2002;36: 3183–93.
9. Raes F, Van Dingenen R, Vignati E, Wilson J, Putaud JP, Seinfeld JH, et al. Formation and cycling of aerosols in the global troposphere. *Atmos. Environ.* 2000; 34: 4215–40.
10. Meier J, Wehner B, Massling A, Birmili W, Nowak A, Gnauk T, et al. Hygroscopic growth of urban aerosol particles in Beijing (China) during wintertime: a comparison of three experimental methods. *Atmos. Chem. Phys.* 2009; 9:6865–80.
11. Ye X, Ma Z, Hu D, Yang X, Chen J, Size-resolved hygroscopicity of submicrometer urban aerosols in Shanghai during wintertime. *Atmospheric Research.* 2011; 99: 353–64.
12. Young LH, Keeler GL. Summertime Ultrafine Particles in Urban and Industrial Air: Aitken and Nucleation Mode Particle Events. *Aerosol and Air Quality Research.* 2007; 7: 379–402.
13. Kanawade VP, Tripathi SN, Bhattu D, Shamjad PM. Sub-micron particle number size distributions characteristics at an urban location, Kanpur, in the Indo-Gangetic Plain. *Atmospheric Research.* 2014; 147: 121–32.
14. Wan H, Zhu B, Shen L, An J, Yin Y, Kang H. Number size distribution of aerosols at Mt. Huang and Nanjing in the Yangtze River Delta, China: Effects of air masses and characteristics of new particle formation. *Atmospheric Research.* 2014; 150 : 42–56.
15. Ahmed T, Dutkiewicz VA, Shareef A, Tuncel G, Tuncel S, Husain L. Measurement of black carbon (BC) by an optical method and a thermal-optical method: Intercomparison for four sites. *Atmos. Environ.* 2009; 43: 6305–11.
16. Keuken MP, Jonkers S, Zandveld P, Voogt M, Elshout van den S. Elemental Carbon as an Indicator for Evaluating the Impact of Traffic Measures on Air Quality and Health. *Atmos. Environ.* 2012; 61: 1–8.

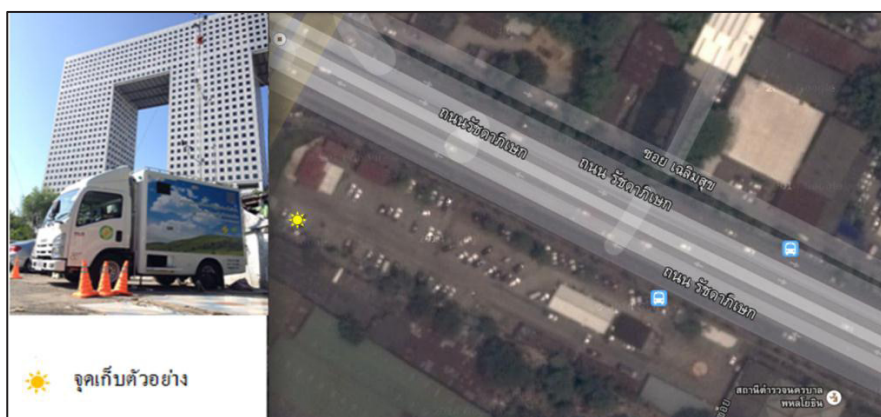
17. Gu J, Bai Z, Liu A, Wu L, Xie Y, Li W, et al. Characterization of atmospheric organic carbon and element carbon of PM_{2.5} and PM₁₀ at Tianjin, China. Aerosol and Air Quality Research. 2010; 10: 167-76.
18. Duncan T, Alexander L, Crozier PA, Anderson JR. Brown Carbon Spheres in east asian outflow and their optical properties. Science. 2008; 321: 833-6.
19. Monthasuwan S. The relationship of carbon composition concentration of particulate and atmospheric profile in urban area [MSc thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2009. Thai.

ตารางที่ 1 จำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

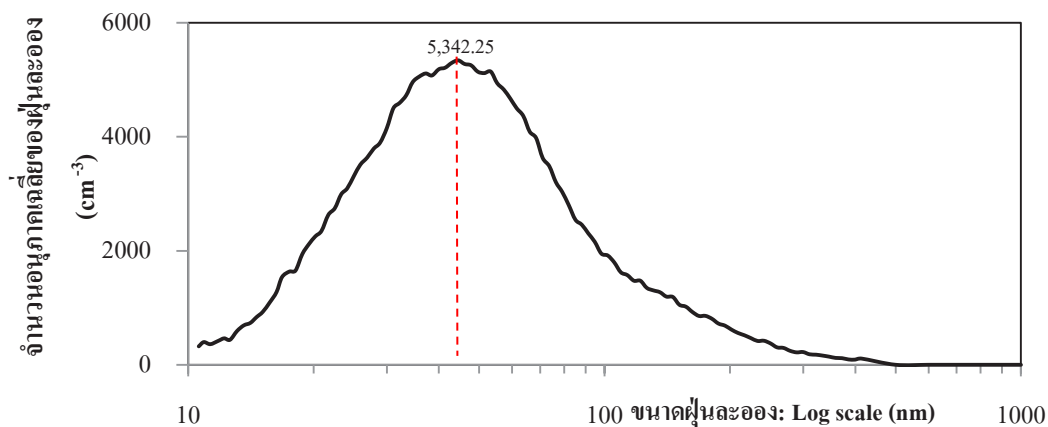
เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนอนุภาคของฝุ่นละออง (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	30-100 นาโนเมตร	150-250 นาโนเมตร
กลางวัน		
06.00-09.00	41.66	4.21
09.00-12.00	28.96	30.13
12.00-15.00	56.81	18.57
15.00-18.00	45.36	16.99
เฉลี่ย	43.20±11.47	22.48±5.97
กลางคืน		
18.00-21.00	16.96	12.09
21.00-00.00	10.51	27.79
00.00-03.00	23.21	41.27
03.00-06.00	12.62	22.94
เฉลี่ย	15.83±5.61	26.02±12.10



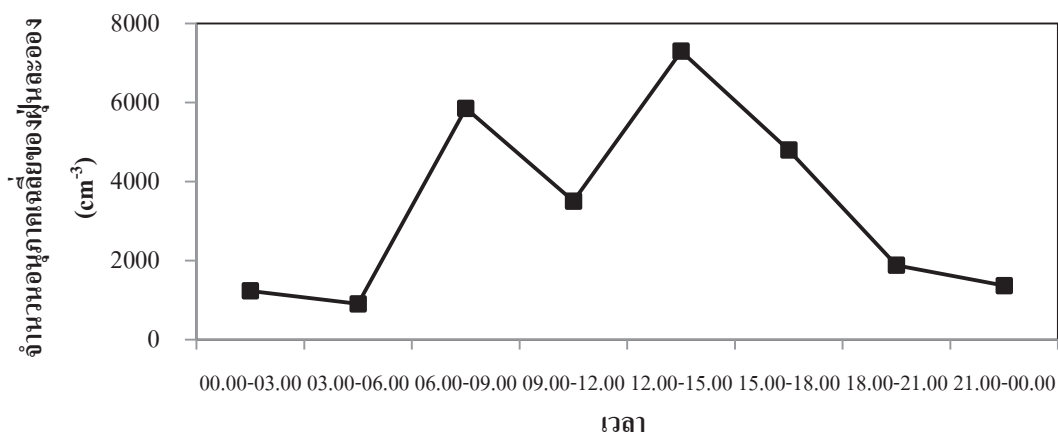
ภาพที่ 1 (1) Electrostatic classifier (SMPS) TSI. Model 3080 (2) Differential mobility analyser (Long DMA) TSI. Model 3081 จำนวน 2 ชุด (3) ชุดเครื่องมือของ SPMS และ Long DMA (4) Nano Water-based condensation particle counter (CPC) TSI. Model 3788 (5) เครื่องมือ Magee Scientific SootScan Model OT21



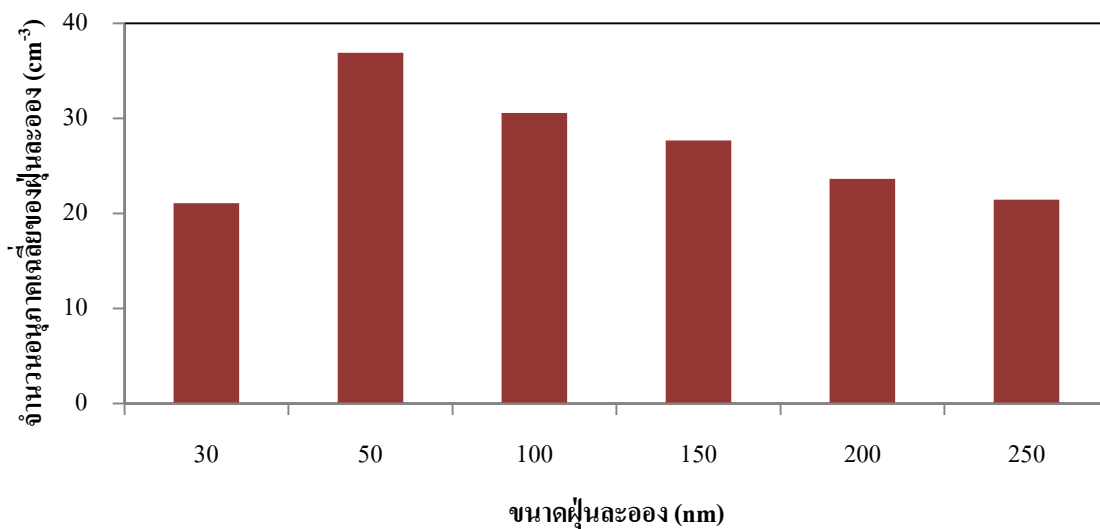
ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษา และรถตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่



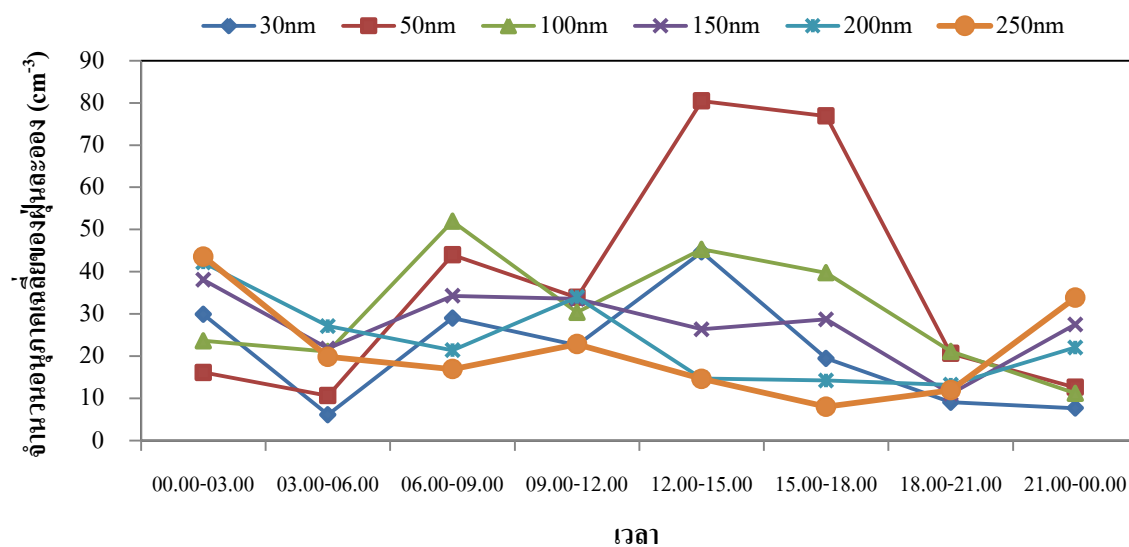
ภาพที่ 3 การกระจายตัวของฝุ่นละอองรวม บริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานครระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม 2557



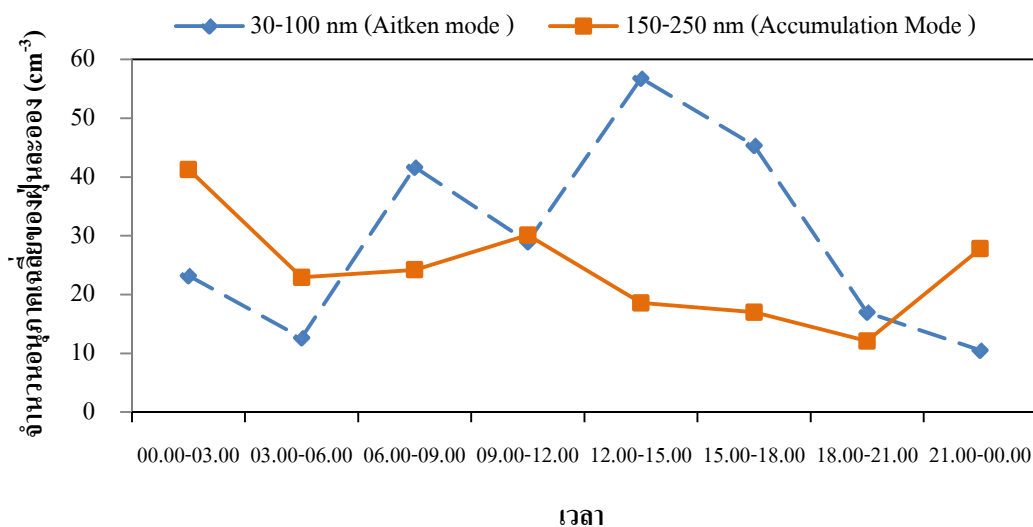
ภาพที่ 4 จำนวนอนุภาคเจลลี่ของฝุ่นละอองรวม บริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ในรอบวัน ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม 2557



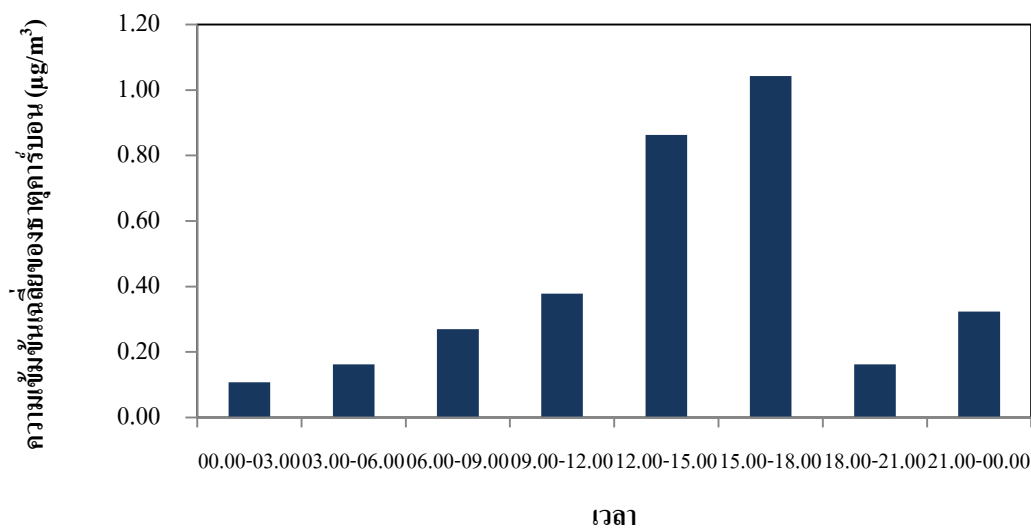
ภาพที่ 5 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 6 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 7 การกระจายตัวของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode ในรอบวัน บริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 8 ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุคาร์บอน (EC) ในรอบวัน บริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม 2557