



การวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM2.5 ในอากาศโดยรอบที่พื้นที่ดอยสะเก็ดในช่วงฤดูการเผาในเชียงใหม่

Measurements of Mass and Number Concentrations of PM2.5 in the Ambient Air at Doi Saket Site during Open Burning Season in Chiang Mai

พานิช อินต๊ะ^{1,*}, ธเนศวร ศิริอาชวะวัฒน์²

¹หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50220

²บริษัท อินโนเวทีฟ อินสทรูเมนต์ จำกัด สมุทรปราการ 10540

Panich Intra^{1,*}, Thanesvorn Siri-achawawath²

¹Research Unit of Applied Electric Field in Engineering, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50220

²Innovative Instrument Co., Ltd., Samut Prakan 10540

Received 14 December 2020, Received in revised 27 February 2021; Accepted 26 May 2022

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการวัดและอธิบายค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM2.5 ในอากาศโดยรอบในช่วงฤดูเผาที่เชียงใหม่ ประเทศไทย สถานีตรวจวัดได้ติดตั้งและประเมินภาคสนามในหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 1 – 15 เดือนเมษายน 2562 โดยค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM2.5 ได้ถูกวัดพร้อมกันด้วยเครื่องวัดฝุ่น DustTrak โมเดล 8533 และเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น CPC โมเดล 3750 ตามลำดับ ผลการศึกษาภาคสนามแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 ที่วัดโดย CPC มีค่าไปในทิศทางเดียวกันและความแตกต่างเล็กน้อยกับความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 ที่วัดโดย DustTrak ความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย DustTrak เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลประมาณ 180.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 42.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 101.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย CPC เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลประมาณ 22,460.94 particles/cm³, 4,550.39 particles/cm³ และ

11,517.39 particles/cm³ ตามลำดับ ซึ่งค่าความสัมพันธ์และสัดส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM2.5 ที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนป้องกันและเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อไป

คำสำคัญ: ฝุ่นละออง; PM2.5; ความเข้มข้นของมวล; ความเข้มข้นของจำนวน; ฤดูกาลเผา

Abstract

In this study, mass and number concentrations of PM2.5 in the ambient air during the open burning season in Chiang Mai, Thailand, were measured and described. The monitoring station was placed and field evaluated in the Research Unit of Applied Electric Field in Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Doi Saket district, Chiang Mai province, Thailand, during 1 – 15 April 2019. The PM2.5 mass and number concentrations were simultaneously measured by the DustTrak model 8533 and the Condensation Particle Counter (CPC) model 3750, respectively. The field study results showed that the trend of the number concentration of PM2.5 measured by the CPC agreed to within minor differences with the mass concentration of PM2.5 measured by the DustTrak. The maximum, minimum, and average PM2.5 mass concentrations measured by DustTrak that average over the measurement period were about 180.33 µg/m³, 42.13 µg/m³, and 101.71 µg/m³, respectively, and the maximum, minimum, and average PM2.5 number concentration measured by the CPC that average over the measurement period was about 22,460.94 particles/cm³, 4,550.39 particles/cm³ and 11,517.39 particles/cm³, respectively. Finally, the relationship and the proportion between the mass and number concentrations of PM2.5 obtained will be beneficial for further planning, prevention, and monitoring of impacts on human health and the environment.

Keyword: Particulate matter; PM2.5; Mass concentration; Number concentration; Open burning season

1. บทนำ

PM2.5 เป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาหลักในกรุงเทพมหานครและเมืองขนาดใหญ่ในปัจจุบัน เช่น เชียงใหม่ สงขลา ขอนแก่น นครราชสีมา โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศมีผลกระทบต่อทัศนวิสัย อากาศตามฤดูกาล สุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากร และกระบวนการในอุตสาหกรรมมากมาย เช่น อาหาร ห้องประกอบอาหาร ปรงยา หรือพื้นที่ใน

โรงพยาบาล อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และสารกึ่งตัวนำ และการปนเปื้อนในพื้นที่และผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและผลการผลิตได้ PM2.5 คือ ฝุ่นละอองลอย (particulate matter) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกินกว่า 2.5 µm เป็นการรวมกันของโมเลกุล (molecular) หรือกลุ่มโมเลกุลของสารหรือสารประกอบต่างๆ ที่ลอยอยู่ปนกับฝุ่นละอองลอยในอากาศที่เราหายใจเข้าไป ซึ่งมีความหลากหลายทั้งทาง

ด้านกายภาพ (physical) และองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) มีทั้งสภาพที่เป็นของแข็ง (solid) หรือของเหลว (liquid) สามารถแขวนลอยได้เป็นเวลานาน [1] โดยแหล่งที่มาของฝุ่นละอองลอยต่างๆ เหล่านี้ เช่น การเผาป่าและชีวมวล โรงงานอุตสาหกรรม โรงโม่หิน การทำปูนซีเมนต์ โรงงานไฟฟ้า เขม่าควันจากไอเสียของเครื่องยนต์ และฝุ่นเกลือจากทะเล โดยอนุภาคขนาดเล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$ จะมาจากไอเสียดยนต์มีปฏิกิริยาระหว่างแก๊สชนิดต่างๆ ควันไฟ พายุฝุ่น ละอองน้ำทะเล และโรงงานอุตสาหกรรม อนุภาคขนาดในช่วง $0.01\text{--}1.0 \mu\text{m}$ จะมาจากการรวมตัวของควัน ไอเสียกับไอน้ำ อนุภาคขนาดในช่วง $0.4\text{--}0.9 \mu\text{m}$ เป็นตัวการในการกระจายแสงและทำให้ท้องฟ้าขมุกขมัว อนุภาคขนาดใหญ่กว่า $1.0 \mu\text{m}$ จะมาจากการรวมตัวใหญ่ขึ้นของควันไฟ ชี้อื้อ ผงโลหะจากการขัดสี เกสรดอกไม้ และแมลง [2] ดังนั้น การเผาป่าหรือเผาชีวมวลในที่โล่งจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของอนุภาคขนาดเล็กระดับซับไมครอน (submicron particles) หรือนาโน (nanoparticles) ทั้งภายในและภายนอกอาคาร [3 – 4] จากปัญหาหมอกควันไฟป่าในช่วงที่ผ่านมาทำให้จังหวัดเชียงใหม่มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศ US AQI (Air Quality Index) และมีค่าฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ สูงขึ้นต่อเนื่อง โดยวันที่ 14 มีนาคม 2563 เว็บไซต์ Airvisaul.com ได้รายงานสถานการณ์ฝุ่นรอบโลกแบบเรียลไทม์ช่วงเวลา 12.00 น. ผลการจัดอันดับค่าฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ รอบโลกของประเทศไทยพบจังหวัดเชียงใหม่มีปริมาณฝุ่นแบบภาพรวมที่ 412 US AQI ส่วนปริมาณฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยที่ $367.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็นจังหวัดที่มีค่าฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ มากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 ของโลก และเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2563 เว็บไซต์ Airvisaul.com ยังได้รายงานว่าสภาพอากาศโดยทั่วไปของกรุงเทพมหานครตามมาตรฐาน US AQI อยู่ที่ 190 หรือค่าฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ อยู่ที่ $57.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จัดอยู่ในอันดับที่ 3 ของโลก จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจวัด วิเคราะห์และควบคุมปริมาณการแพร่กระจายฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในอากาศจากแหล่งกำเนิด

เพื่อเป็นการวางแผนป้องกันและเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยตัวแปรสำคัญในการกำหนดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากอนุภาคละอองลอยคือความเข้มข้นเชิงมวล (mass concentration) ความเข้มข้นเชิงจำนวน (number concentration) และการกระจายขนาด (size distribution) ของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ [2, 5] การกระจายขนาดอนุภาคสามารถแบ่งได้เป็น 3 โหมด คือ โหมด Nuclei โหมด Accumulation และ โหมด Coarse มีการแบ่งขนาดอนุภาคเป็นช่วงๆ ตามลำดับของขนาดอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ประมาณ $100 \text{ nm}\text{--}100 \mu\text{m}$ ในโหมด Nuclei ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 nm อนุภาคในโหมด Nuclei ถูกสร้างขึ้นจากการปล่อยออกมาจากแหล่งที่มาและอนุภาคที่เกิดในบรรยากาศโดยการเปลี่ยนผันแก๊สไปอนุภาค (gas-to-particle conversion) และกระบวนการควบแน่น (condensation process) อนุภาคในโหมดนี้จะมีการกระจายขนาดละอองลอยเชิงจำนวน (number-weighted aerosol size distribution) เนื่องจากอนุภาคในโหมด Nuclei มีขนาดเล็กและมีมวลน้อยมากๆ จึงทำให้ไม่มีการกระจายขนาดเชิงมวล (mass weighted size distribution) โหมด Accumulation ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงขนาดระหว่างประมาณ 100 nm และ $1 \mu\text{m}$ และอนุภาคในโหมด Nuclei ที่มีการเกาะรวมตัวกันกับอนุภาคในโหมด Accumulation เนื่องจากอนุภาคในโหมดนี้ถูกสร้างขึ้นโดยการเกาะรวมตัวกันของอนุภาคในโหมด Nuclei ทำให้มีขนาดที่ใหญ่กว่าและมีจำนวนที่น้อยกว่า จึงมีการกระจายขนาดละอองลอยแบบเชิงมวล (mass weighted aerosol size distribution) สำหรับอนุภาคในโหมด Coarse ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า $1 \mu\text{m}$ ถึงแม้ว่าอนุภาคในโหมด Coarse จะมีมวลมาก แต่อนุภาคเหล่านี้จะมีจำนวนน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับอนุภาคในโหมด Nuclei และ Accumulation ดังนั้น อนุภาคในโหมดนี้จึงมีความสำคัญกับการกระจายขนาดทั้งเชิงจำนวนและมวล [5]

ในปัจจุบันเครื่องวัดฝุ่นละออง PM2.5 ได้ถูกกำหนดวิธีการวัดโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาหรือ US EPA คือวิธีการวถมิตรี (gravimetric method) เป็นวิธีการวัดมาตรฐานอ้างอิง และ US EPA ยังได้มีการกำหนดวิธีเทียบเคียง (Federal Equivalent Method; FEM) [6 – 7] โดยมีเครื่องมือแบบอโนมิติและแบบกึ่งอโนมิติที่สามารถรายงานผลได้ทันที เช่น เครื่องวัดระบบเบต้า เร (Beta Ray) เครื่องวัดระบบเทปเปอ อิลิเมนต์ ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance) เครื่องวัดระบบไดโคโตมัส (Dichotomous) เป็นต้น [6] ในปัจจุบัน US EPA ได้กำหนดมาตรฐานการรายงานค่าความเข้มข้นของ PM2.5 อยู่บนพื้นฐานของมวลอนุภาค (particle mass) ต่อปริมาตรอากาศ (volume) คือ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [8] แต่ปัญหาของการวัดความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาค (mass concentration) ในปัจจุบัน จะเกิดกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กเพราะอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมากจะมีมวลเท่ากับมวลของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เพียงอนุภาคเดียว ตัวอย่างเช่น มวลอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน จำนวน 1000 อนุภาค จะเท่ากับมวลของอนุภาคขนาด 1 ไมครอน เพียงอนุภาคเดียว ซึ่งจากรายงานการวิจัยพบว่าผลกระทบต่อสุขภาพของอนุภาคระดับ 0.1 ไมครอน มีแนวโน้มสูงกว่าอนุภาคขนาด 1 ไมครอน เพราะอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน สามารถในการไหลผ่านทะลุได้มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่เนื่องจากมีมวลน้อยกว่าและอนุภาคขนาดเล็กมากที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและพื้นที่ผิวขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวสูงทำให้อนุภาคดูดซับสำหรับมวลอนุภาคที่มีโลหะอันตราย (hazardous metal) ในปริมาณที่มากขึ้นและสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) ที่สามารถสร้างภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เมื่อหายใจเข้าไปอนุภาคสามารถผ่านทางเดินหายใจลงไปที่ถุงลมได้ดีเนื่องจากมีขนาดเล็ก สารเคมีหรือแก๊สบางชนิดที่ผ่านเข้ามาในระบบทางเดินหายใจร่วมกับอนุภาคเหล่านี้ จะถูกละลายรวมกับเนื้อเยื่อ

ของเนื้อเยื่อบริเวณนั้น ๆ หรือเยื่อเมือกของถุงลมปอดแล้วไหลผ่านเข้าไปสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิดการเสียหายต่อเนื้อเยื่อบริเวณต่างๆ ของร่างกาย อนุภาคบางตัวอาจมีสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) หรือสารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) รวมอยู่ด้วย นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กยังสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางเข้าถึงเส้นเลือดฝอยและสามารถกระจายไปทั่วร่างกายผ่านระบบไหลเวียนของเลือดเป็นสาเหตุของโรคหลอดเลือดสมองและหัวใจ [9 – 12] ดังนั้น การวัดความเข้มข้นเชิงจำนวน (number concentration) ของอนุภาคขนาดเล็กระดับซับไมครอน ในหน่วยจำนวนอนุภาคต่อปริมาตรอากาศคือ $\text{particles}/\text{m}^3$ จึงมีความสำคัญและให้ความถูกต้องแม่นยำกว่าการวัดความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคเนื่องจากอนุภาคระดับซับไมครอนมีมวลค่อนข้างน้อยและการวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคสามารถที่จะแปลงผันไปเป็นความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคได้ภายหลังได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองลอยในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของประเทศไทย รวมไปถึงยังไม่มีมีการตรวจวัดความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนพร้อมกันของฝุ่น PM2.5 ในช่วงฤดูกลางเฝ้าที่เชียงใหม่เพื่อการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM2.5

จากปัญหาหมอกควันไฟป่าที่เกิดขึ้นในฤดูกาลเผาของจังหวัดเชียงใหม่คือช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนของทุกปีทำให้ค่าฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงเป็นอันดับ 1 ของประเทศและอันดับ 1 ของโลกตามที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น ในบทความนี้จะนำเสนอการวัดความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM2.5 ในอากาศโดยรอบในช่วงฤดูเผาของจังหวัดเชียงใหม่ โดยเลือกจุดตรวจวัดภาคสนามที่หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาอำเภอต๋อยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 1 – 15 เดือนเมษายน 2562 โดยค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM2.5 จะถูกวัดพร้อมกันด้วยเครื่อง

วัดฝุ่น DustTrak และเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบ การควบแน่น และยังมีเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค AeroTrak Portable Particle Counter และเครื่องวิเคราะห์ขนาดแบบสแกน ความเคลื่อนที่ได้ (Scanning Mobility Particle Sizer) โดยข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้จะทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์และสัดส่วนของความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวน ของฝุ่น PM_{2.5}

2. ระเบียบวิธีวิจัย

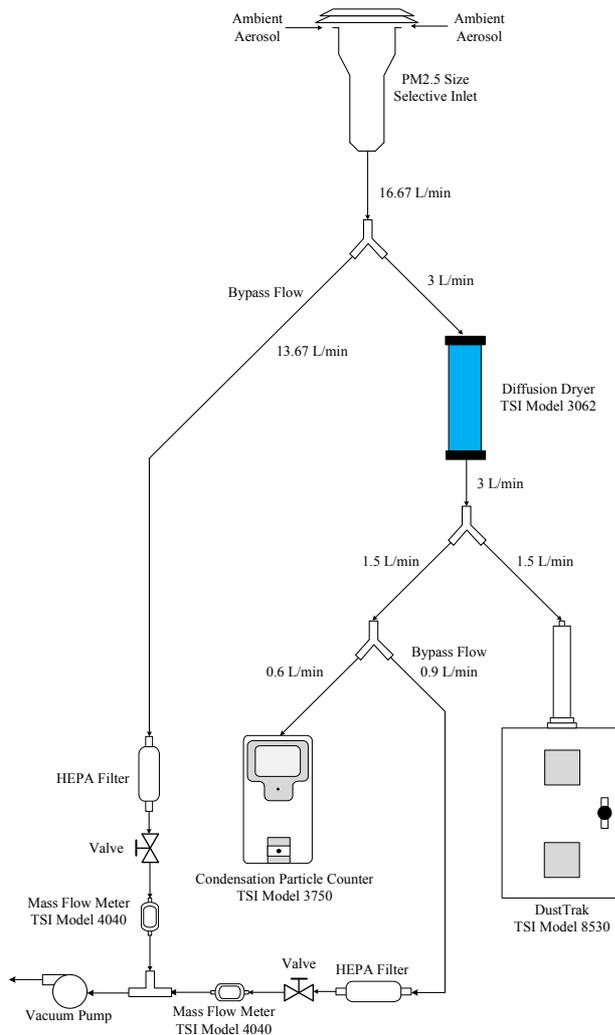
2.1 เครื่องมือในการตรวจวัดและเก็บข้อมูล

(Figure 1a) แสดงแผนภาพการวัดความเข้มข้น เชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM_{2.5} ระบบการวัดความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของ PM_{2.5} ประกอบด้วย เครื่องวัดฝุ่น PM_{2.5} เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการ ควบแน่น (Condensation Particle Counter) หัวคัด ขนาดฝุ่น PM_{2.5} (PM_{2.5} size selective inlet) ตัวดัก ความชื้นแบบแพร์ (diffusion dryer) แผ่นกรองแบบ HEPA วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Valve) มาตรวัด การไหล (Flow meter) และปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ในการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องวัดฝุ่น DustTrak ของ บริษัท TSI โมเดล 8533 สำหรับการวัดความเข้มข้นเชิง มวลของฝุ่น PM_{2.5} โดยเครื่องวัดฝุ่น DustTrak เป็น เครื่องวัดฝุ่นที่ใช้หลักการ Light scattering ในการวัดฝุ่น ในอากาศในช่วง PM_{0.1} - PM₁₀ มีช่องกรวัด 3 ช่องวัด คือ PM_{1.0}, PM_{2.5} และ PM₁₀ ตามลำดับ และสามารถ วัดความเข้มข้นเชิงมวลได้ในช่วง 0.001 ถึง 150 mg/m³ สำหรับการวัดค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของ PM_{2.5} จะ ใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น (Conden- sation Particle Counter, CPC) ของบริษัท TSI โมเดล 3750 เครื่อง CPC สามารถวัดความเข้มข้นเชิงจำนวน ของอนุภาคสูงสุดที่ 3×10^5 particles/cm³ ที่เวลาการ ตอบสนอง 0.8 วินาที สำหรับอนุภาคที่มีขนาดในช่วง 2.5 นาโนเมตร ถึง 3 ไมครอน หัวคัดขนาดฝุ่น PM_{2.5} ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นของบริษัท Thermo Fisher

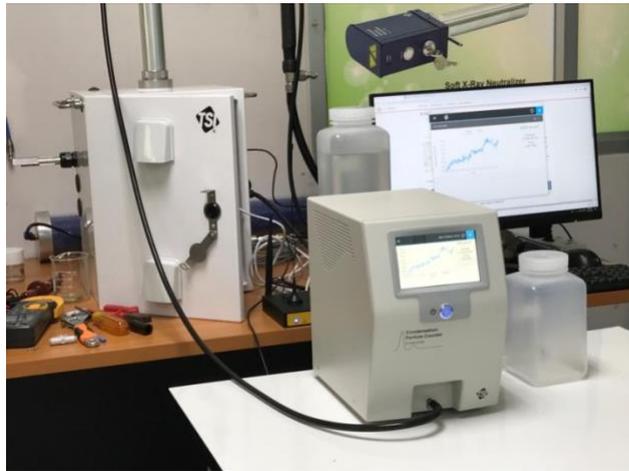
Scientific โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางจุดตัดของอนุภาค (particle cut-point diameter) ที่ประสิทธิภาพ 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 2.5 μ m ที่อัตราการไหล 16.67 L/min โดยหัวคัดขนาดฝุ่น PM_{2.5} สูงจากพื้นประมาณ 35 เมตร เนื่องจากบริเวณที่ตรวจวัดเก็บข้อมูลมีตึกอาคาร เรียงสูงคับคั่ง จำเป็นต้องมีการติดตั้งหัววัดที่สูงกว่าตึก อาคารเรียงและต้นไม้ เพื่อต้องการให้อากาศเป็นเนื้อ เดียวกัน (Homogeneous) สามารถดึงอากาศและฝุ่นได้ รอบทิศทางโดยไม่มีการบดบังของตึกอาคารและต้นไม้ใน ขณะตรวจวัดเก็บข้อมูล (Figure 2) หลังจากหัวคัดขนาด ฝุ่น PM_{2.5} ทำการบายพาสการไหล (bypass flow) เป็น 13.67 L/min และ 3.0 L/min โดยอัตราการไหล 13.67 L/min ผ่านไปที่แผ่นกรองแบบ HEPA วาล์วควบคุมอัตรา การไหล มาตรวัดการไหล (TSI Model 4040) และปั๊ม สุญญากาศ ส่วนอัตราการไหล 3.0 L/min จะเข้าไปยัง เครื่องวัดทั้งสองโดยผ่านตัวดักความชื้นแบบแพร์ (TSI Model 3062) เพื่อกำจัดความชื้น ไอน้ำและละอองน้ำ ออกก่อนเข้าเครื่องวัดฝุ่น โดยจะควบคุมความชื้นให้ ไม่เกิน 50 %RH หลังจากตัวดักความชื้นแบบแพร์เพื่อกำจัด ความชื้น ทำการสมดุผลการไหลเป็น 1.5 L/min และ 1.5 L/min สำหรับเครื่องวัดทั้งสองเพื่อให้ความเร็วการไหล ที่เท่ากัน โดยเครื่องฝุ่น DustTrak ทำงานที่อัตราการไหล 1.5 ส่วนเครื่องนับจำนวนอนุภาค CPC ทำงานที่อัตรา การไหล 0.6 L/min ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการบายพาส การไหล 0.9 L/min สำหรับเครื่องนับจำนวนอนุภาค โดยการไหล 0.9 L/min ผ่านไปที่แผ่นกรองแบบ HEPA วาล์วควบคุมอัตราการไหล มาตรวัดการไหล (TSI Model 4040) และปั๊มสุญญากาศ ในการศึกษาใช้ท่อซิลิโคนนำ ไฟฟ้า (Conductive silicone tube) และท่อเหล็กกล้า ไร้สนิม (Stainless steel tube) เป็นท่อสำหรับนำส่ง และการเก็บตัวอย่างอนุภาคเพื่อป้องกันการสูญเสียของ อนุภาคในระบบการวัด โดยท่อซิลิโคนนำไฟฟ้าและท่อ เหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าการทะลุผ่านของอนุภาคระหว่าง 100 – 300 nm มากกว่า 95% [13] ในระหว่างที่ทำการ วัดเก็บข้อมูลนี้ได้นำเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค Aero-

Trak Portable Particle Counter (TSI Model 9310) และเครื่องวิเคราะห์ขนาดแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้ (Scanning Mobility Particle Sizer) หรือ SMPS (TSI Model 3938) มาตรวจวัดในบางช่วงเวลาเนื่องจากช่วงระยะเวลาตรวจวัดมีค่าฝุ่น PM_{2.5} ค่อนข้างสูง ซึ่งเกินย่านการวัดของเครื่องวัด เครื่องจึงไม่สามารถทำการวัดได้ต่อเนื่องยาวนาน จึงต้องเลือกช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นเหมาะสมกับย่านการวัดของเครื่องวัดและมีการวัดในช่วงเวลาสั้นๆ ข้อมูลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคทั้งสองจะใช้เพื่อวิเคราะห์ขนาดอนุภาคในช่วง 0.3 – 10 μm

และในช่วง 10 nm – 1 μm ซึ่งจะทำให้เห็นความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคแต่ละขนาดสำหรับประกอบการอธิบายผลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวน (Figure 1b) แสดงภาพถ่ายการวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM_{2.5} ด้วย DustTrak และ CPC โดยทั้ง DustTrak และ CPC จะถูกเชื่อมต่อข้อมูลการวัดไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB เพื่อเก็บข้อมูลการวัดทุกๆ 1 นาที (Figure 3) แสดงโปรแกรมบันทึกข้อมูลการวัดของ (a) DustTrak และ (b) CPC



(a)



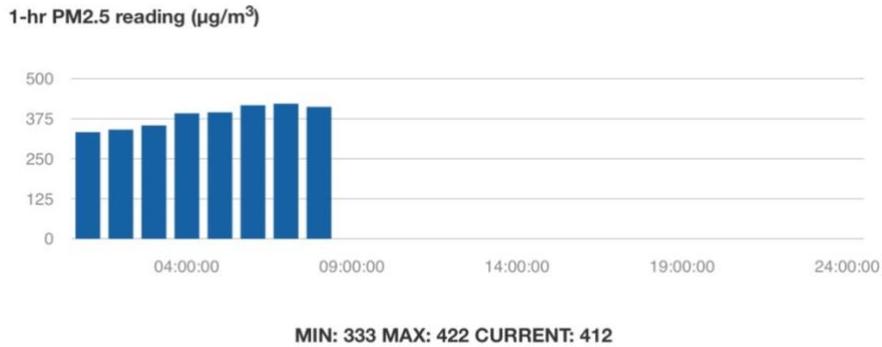
(b)

Figure 1 Setup for measurements of mass and number concentrations of PM2.5.

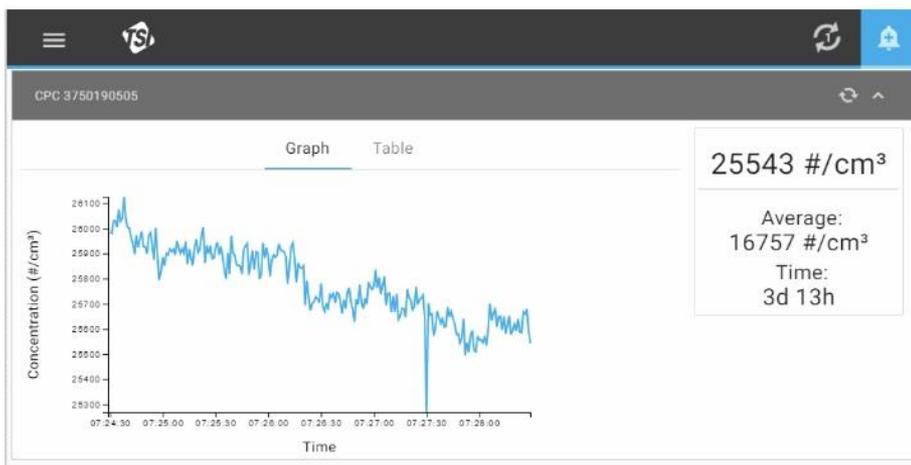


(a) schematic and (b) photo

Figure 2 Photo of the PM2.5 size selective inlet used in this work.



(a)



(b)

Figure 3 Software for logging PM2.5 data of this work (a) mass concentration and (b) number concentration.

โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเชิงมวล (M_p) และความเข้มข้นเชิงจำนวน (N_p) ของอนุภาคฝุ่นจะสามารถอธิบายได้จากสมการดังต่อไปนี้ [5]

$$M_p = \frac{\pi}{6} \rho d_p^3 N_p \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของอนุภาค (particle density) และ d_p คือเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเทียบเท่า (equivalent particle diameter)

2.2 พื้นที่ตรวจวัดและเก็บข้อมูล

ในการศึกษานี้จะทำการวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM2.5 ในอากาศโดยรอบณ สถานีตรวจวัดภาคสนามในหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 1 – 15 เดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูการเพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของ PM2.5 ในอากาศโดยรอบที่พื้นที่ดอยสะเก็ดในช่วงฤดูกาลเผาของจังหวัดเชียงใหม่คือช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนของทุกปี โดยการศึกษาี้เลือกพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานีอยู่ที่ตำแหน่ง $18^{\circ}85'50.601''N$ และ $99^{\circ}17'91.38''E$ (Figure 4) เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เกิดไฟฟ้าและการเผาในที่โล่งจำนวนมาก จากรายงานสรุปจากส่วนควบคุมและปฏิบัติการไฟฟ้าของจังหวัดเชียงใหม่พบว่าอำเภอดอยสะเก็ดเกิดไฟป่ามากกว่า 300 ครั้งในปีที่ผ่านมา และยังเป็นจุดตรวจวัดที่ห่างไกลจากแหล่งชุมชนและการจราจรขนส่ง จึงไม่มีปัจจัยหรือกิจกรรมอื่นมารบกวนระหว่างการตรวจวัด โดยในช่วงการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันอยู่ระหว่าง 27 ถึง $38^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันอยู่ที่ $70 - 85\%RH$

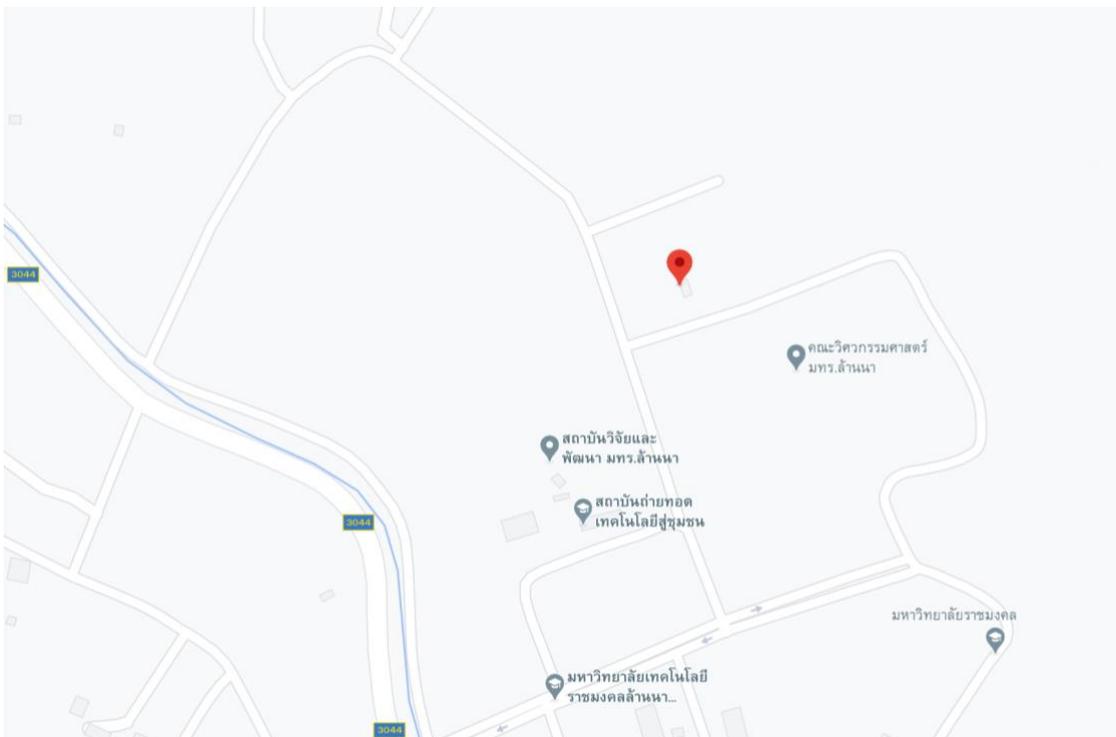
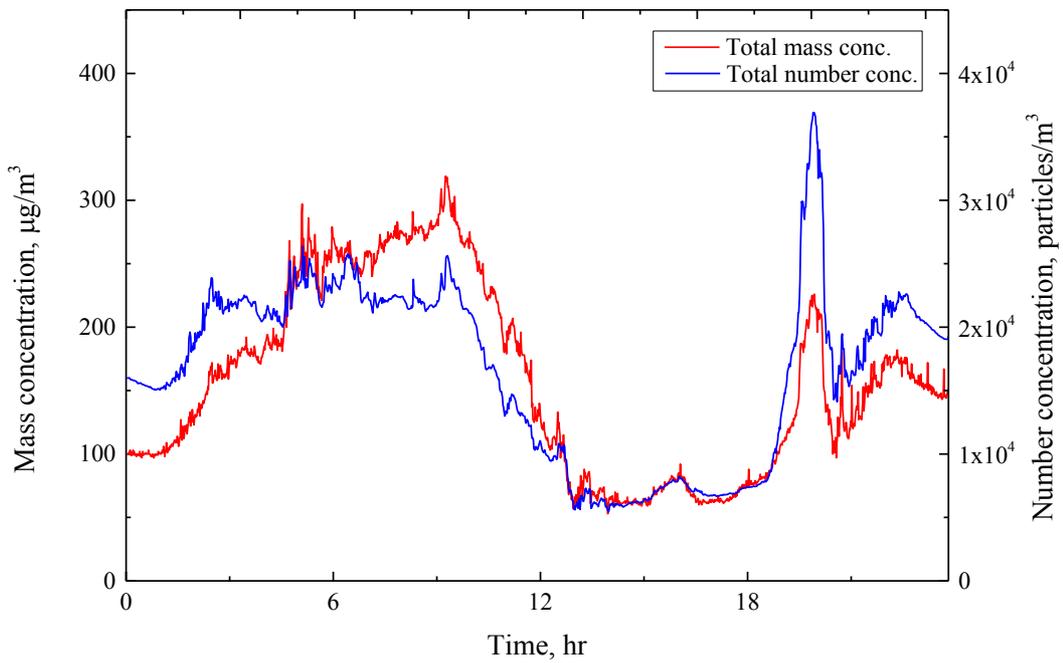


Figure 4 Location of monitoring station of this work.

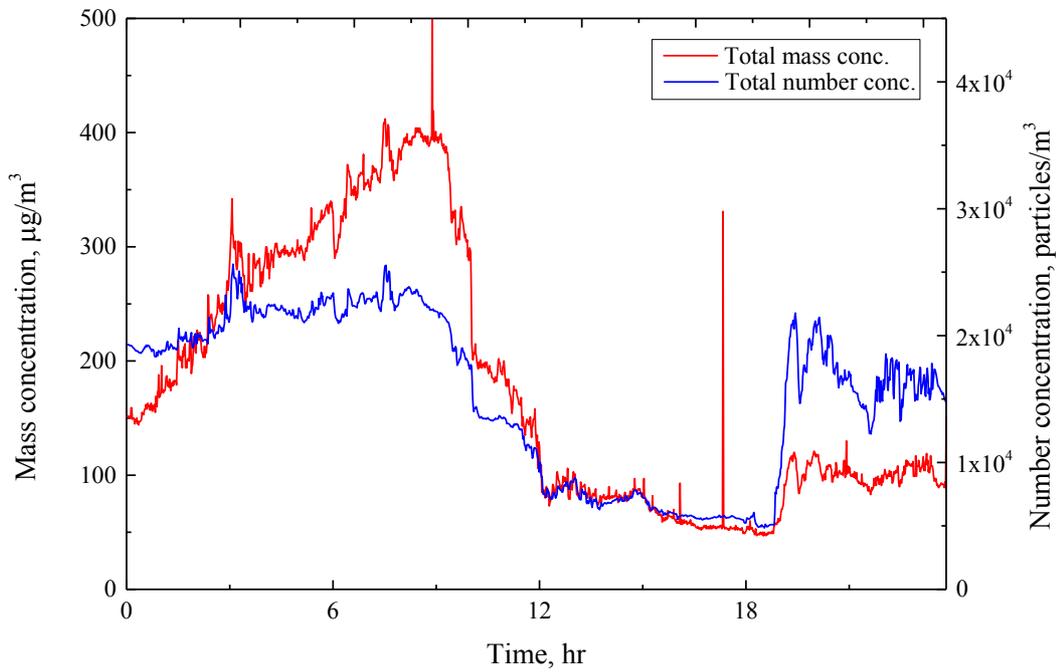
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

(Figure 5) แสดงกราฟผลการวัดค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยรายนาที่ตั้งแต่ช่วงเวลา 00:00 – 23:59 น. ระหว่างวันที่ 1 – 15 เดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ณ สถานีตรวจวัดภาคสนามในหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอคลองหลวง จังหวัดเชียงใหม่ จากผลการศึกษาภาคสนามแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของความเข้มข้นเชิงจำนวนของ PM_{2.5} ที่วัดโดย CPC มีค่าไปในทิศทางเดียวกันและความแตกต่างเล็กน้อยกับความเข้มข้นเชิงมวลของ PM_{2.5} ที่วัดโดย DustTrak จากข้อมูลการวัดในช่วงวันและเวลาดังกล่าวพบว่าในช่วงเที่ยงจนถึงเช้ามืด (12:00-04:00 น) ของแต่ละวันมีค่าการวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM_{2.5} มีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM_{2.5} หมายความว่าอนุภาคขนาดเล็กที่มีจำนวนมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีจำนวนน้อยกว่า ซึ่งมีความเป็นไปได้

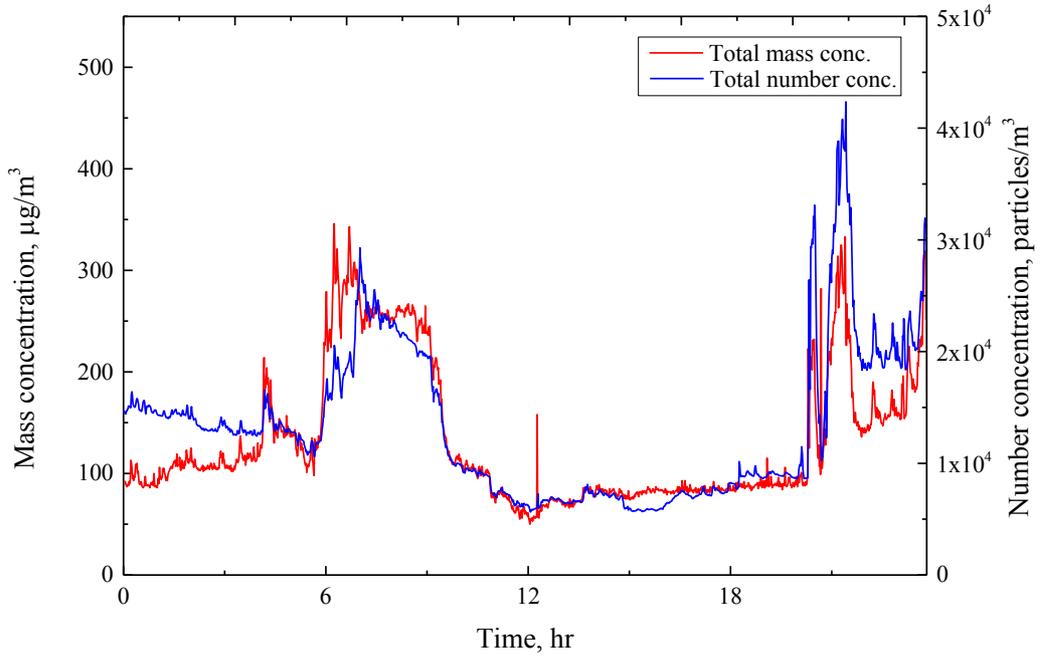
ว่าในช่วงเวลาดังกล่าวอุณหภูมิเหนือพื้นดินจะมีความเย็นกว่าอากาศข้างบนเนื่องจากการคายความร้อนของพื้นผิวโลกจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์อุณหภูมิมักผันขึ้นจึงทำให้ฝุ่นขนาดเล็กลอยตัวต่ำลง โดยปกติฝุ่นขนาดเล็กจะลอยตัวสูงกว่าฝุ่นขนาดใหญ่เนื่องจากมีมวลน้อยการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงจึงน้อยกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีมวลมากกว่า และในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการแปลงผันแก๊สไปอนุภาค (gas-to-particle conversion) และกระบวนการควบแน่น (condensation process) ในบรรยากาศหรือเรียกว่าอนุภาครอง (secondary particle) ได้ และสำหรับในช่วงเช้ามืดถึงเที่ยงวัน (04:00-12:00 น) ของแต่ละวันมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM_{2.5} สูงกว่าค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM_{2.5} ซึ่งเป็นไปได้ว่าเป็นช่วงที่อุณหภูมิเหนือพื้นดินสูงฝุ่นขนาดเล็กจึงลอยตัวสูงขึ้นกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่



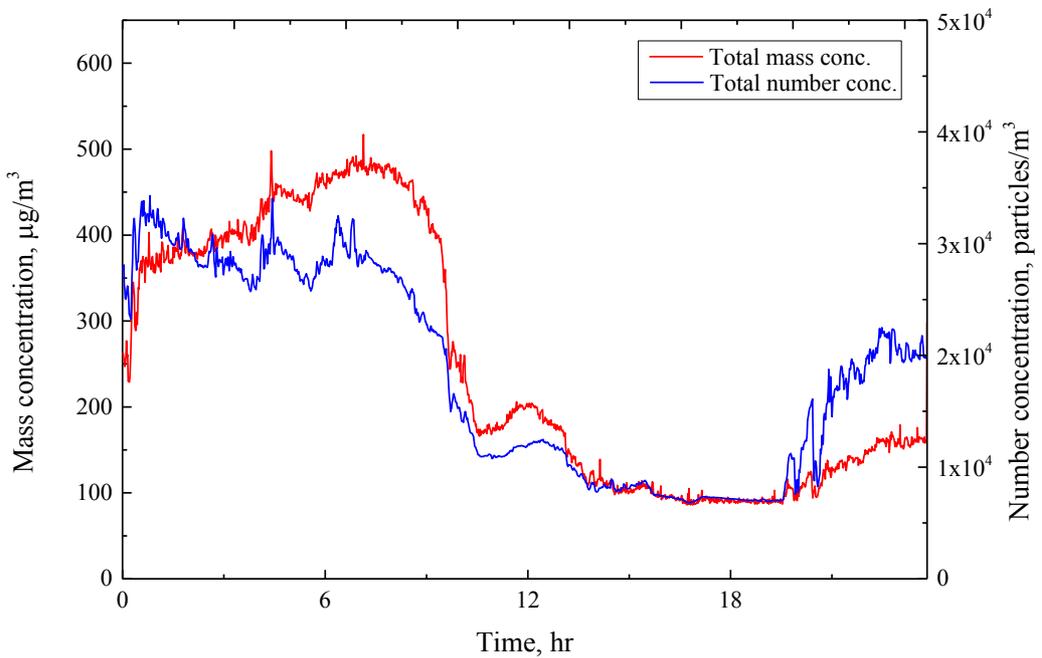
(a) 1/4/2019



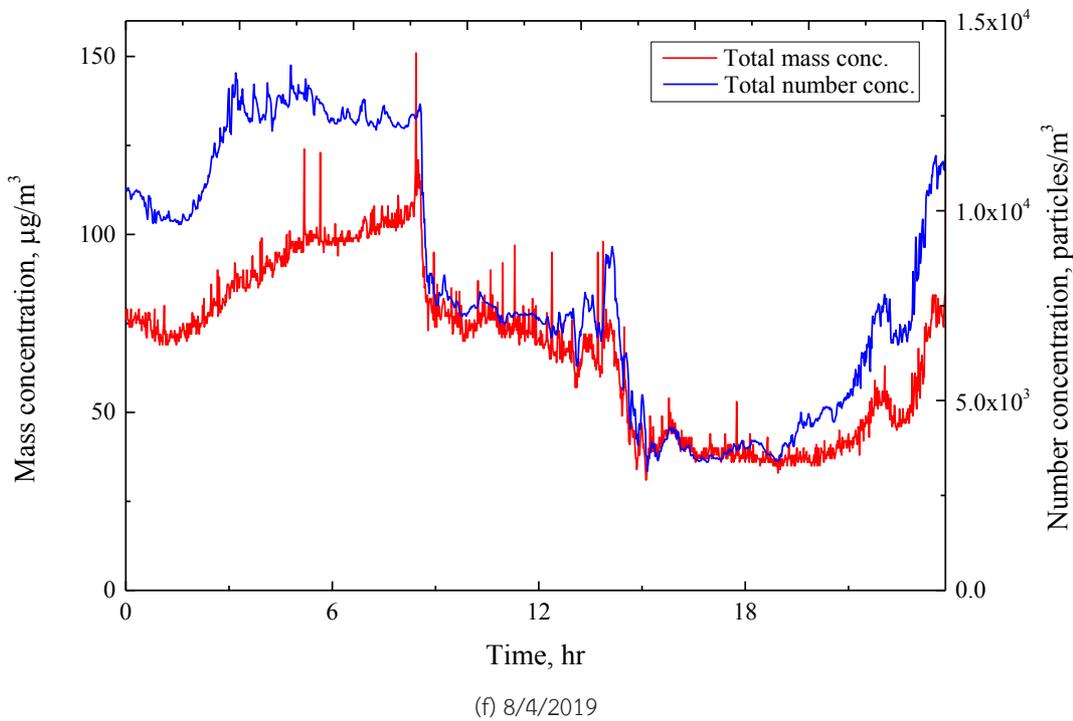
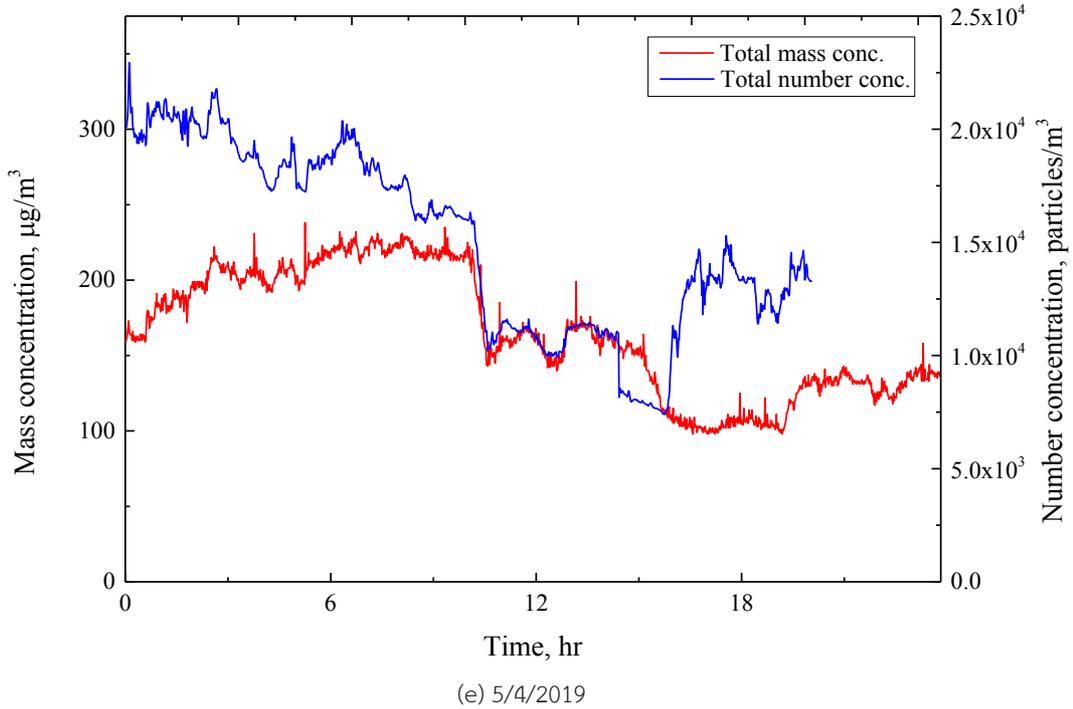
(b) 2/4/2019

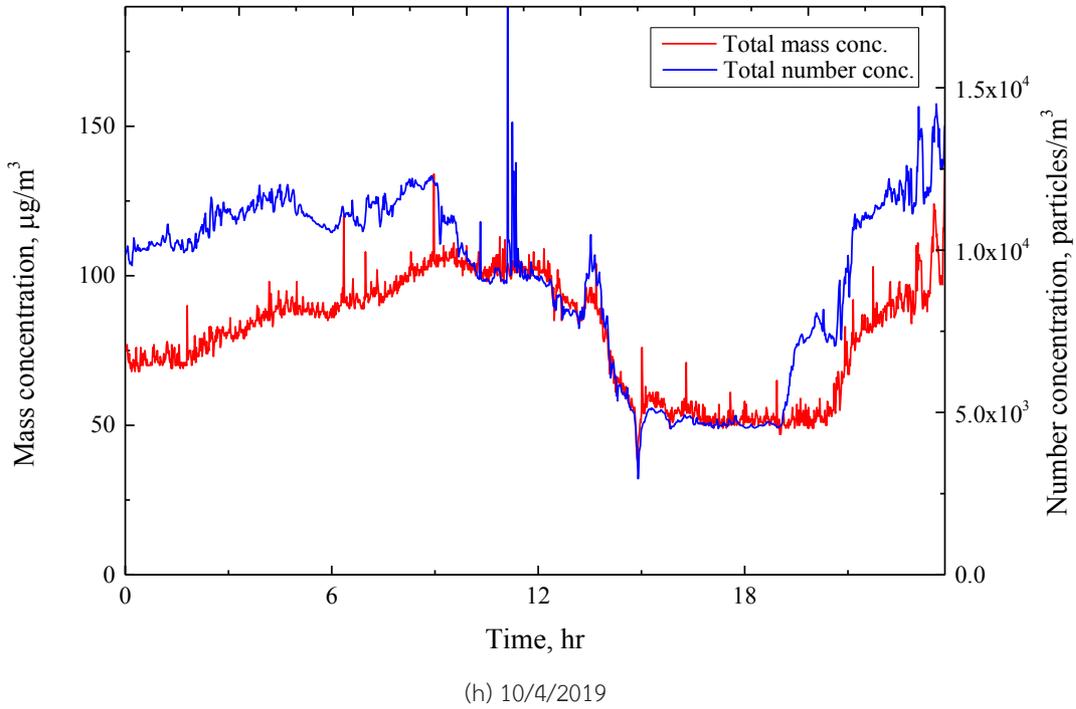
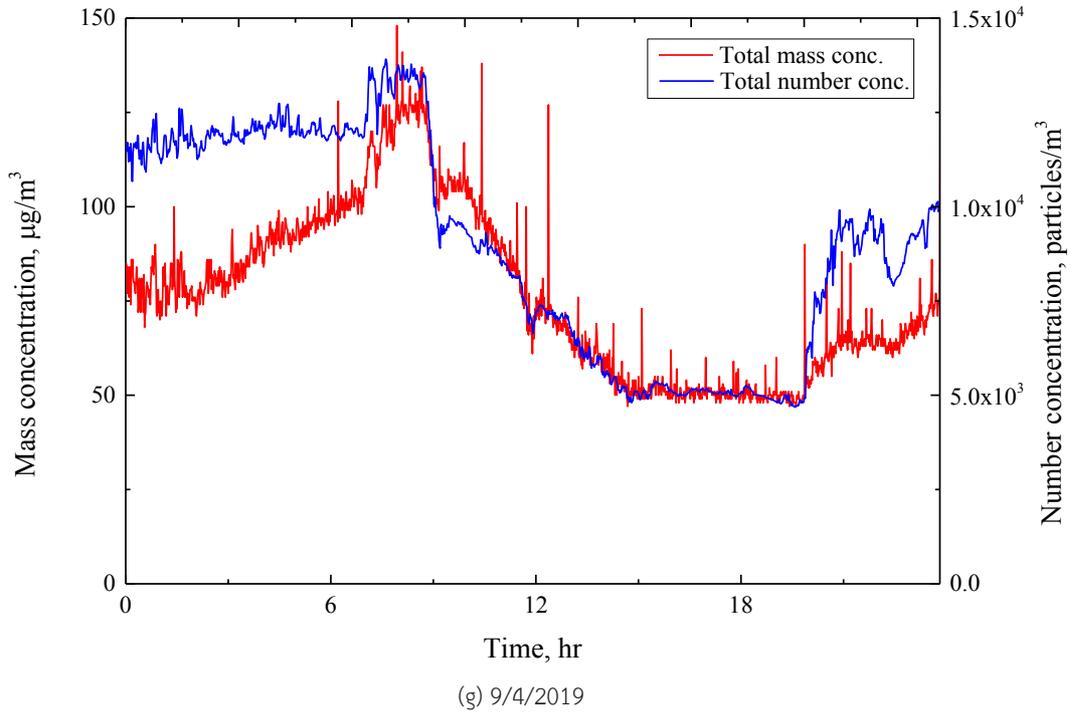


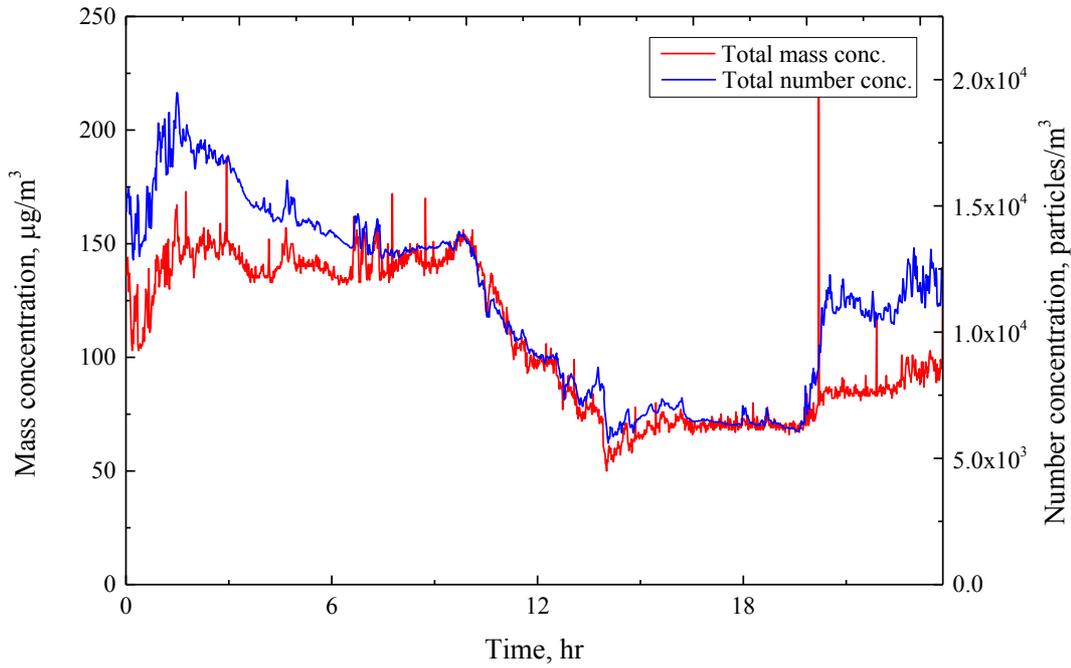
(c) 3/4/2019



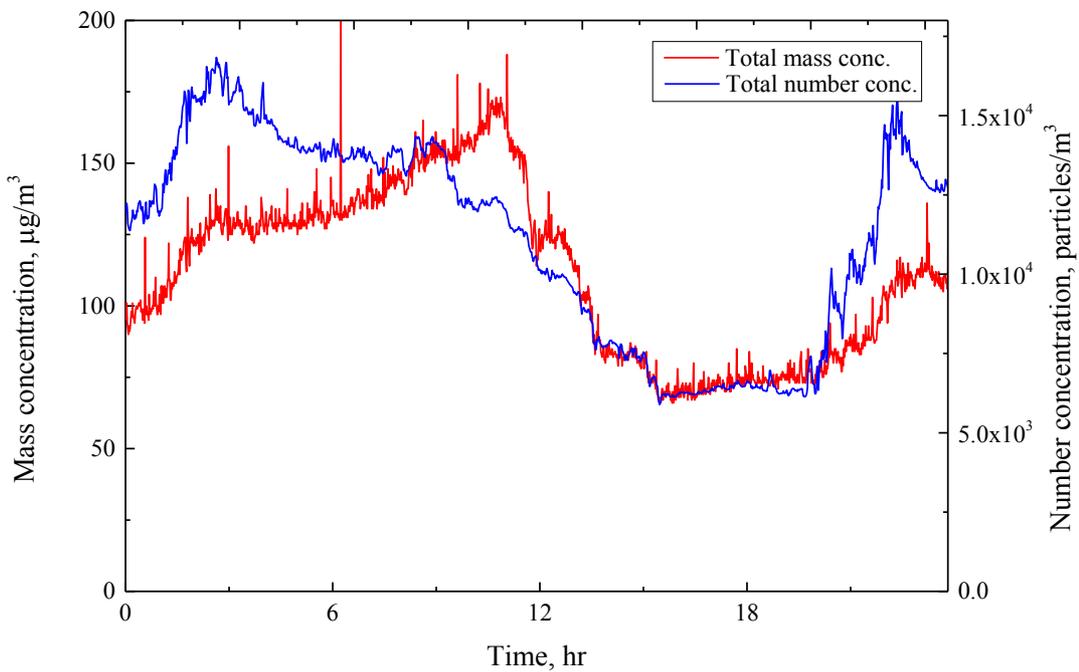
(d) 4/4/2019



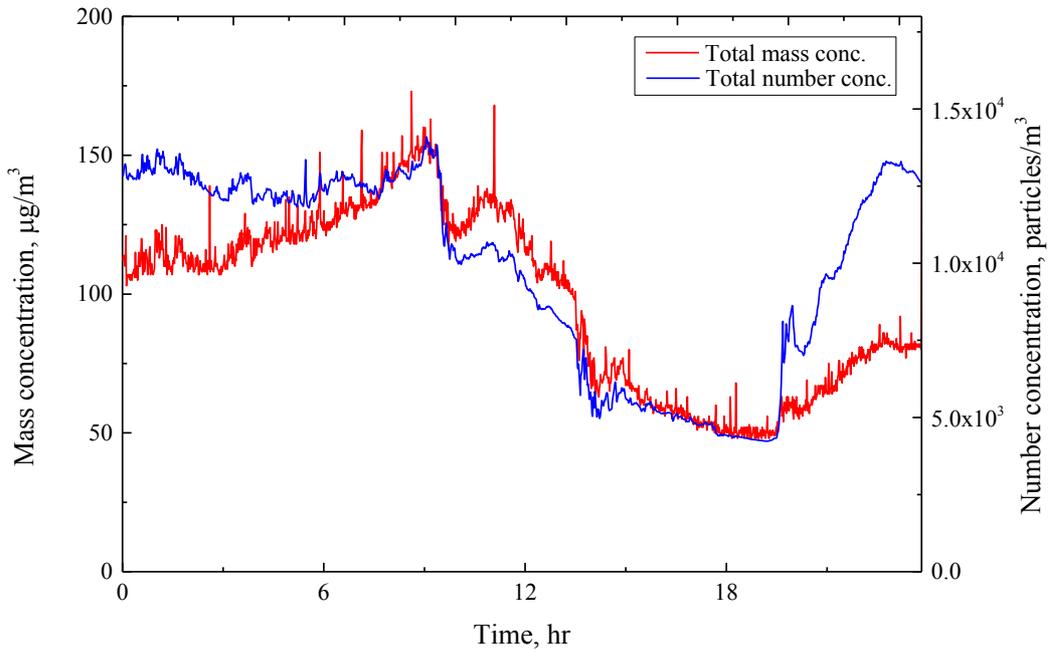




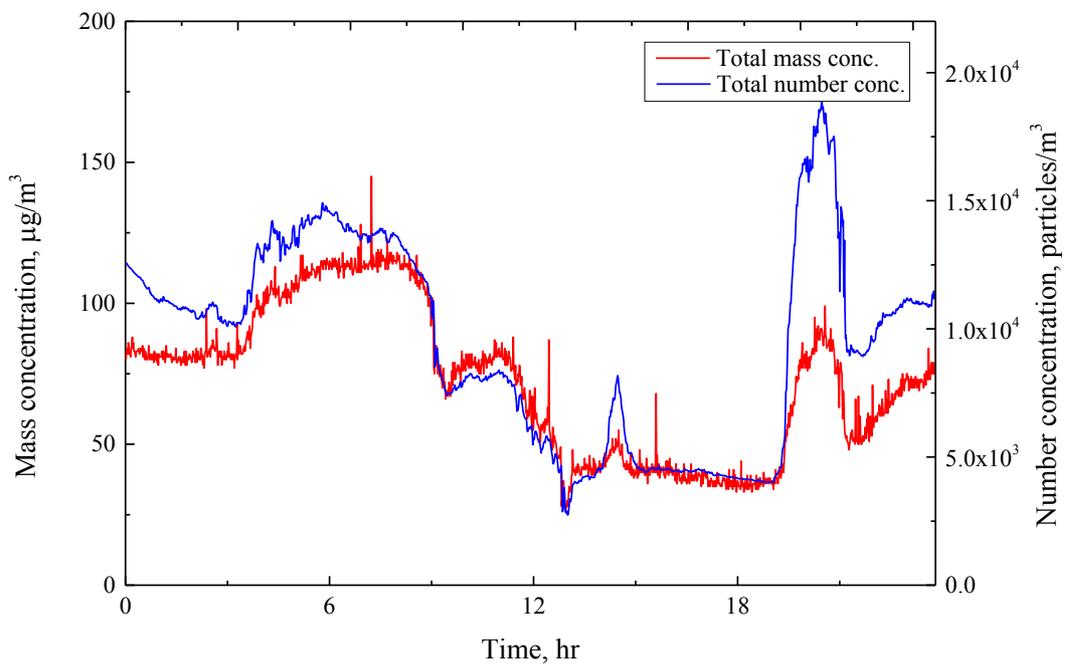
(i) 11/4/2019



(j) 12/4/2019



(k) 13/4/2019



(l) 14/4/2019

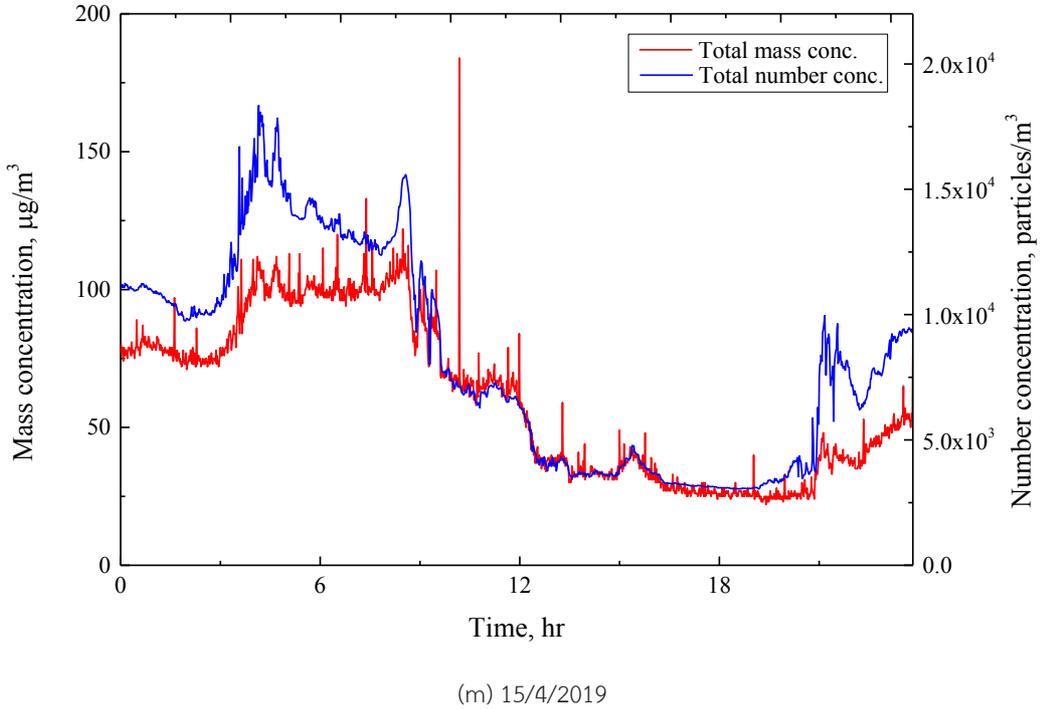


Figure 5 Measured mass and number concentrations of PM_{2.5} during 1 – 15 April, 2019 at Doi Saket site.

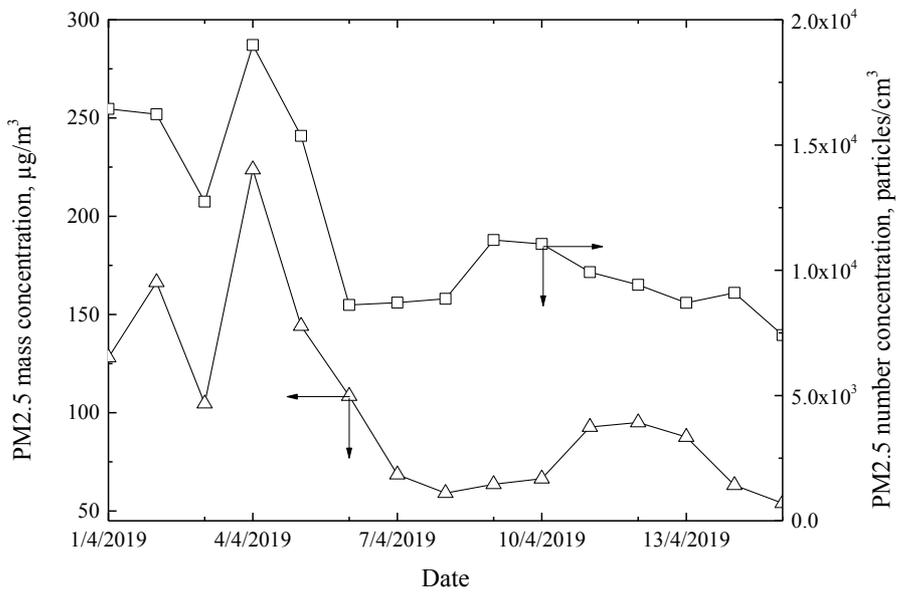


Figure 6 24 Hr average mass and number concentrations of PM_{2.5} during 1 – 15 April, 2019 at Doi Saket site.

Table 1 Maximum, minimum and average mass and number concentrations of PM2.5 during 1 – 15 April, 2019 at Doi Saket site.

Dates	Numbers of data	PM2.5 number concentration (Particles/cm ³)			PM2.5 mass concentration (µg/m ³)		
		Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average
01/04/2019	1,440	34,364.94	5,464.01	16,441.57	279	27	128.07
02/04/2019	1,440	36,915.72	4,843.57	16,227.79	362	41	166.42
03/04/2019	1,440	29,277.34	5,643.86	12,740.45	304	42	104.66
04/04/2019	1,440	42,364.66	6,817.94	18,994.01	452	74	223.76
05/04/2019	1,440	22,939.05	6,968.49	15,365.74	210	77	144.12
06/04/2019	1,440	14,637.5	3,138.8	8,614.84	149	69	108.49
07/04/2019	1,440	13,912.49	4,428.28	8,709.13	101	29	68.51
08/04/2019	1,440	23,351.82	2,959.79	8,860.87	100	27	59.08
09/04/2019	1,440	19,483.93	5,598.66	11,206.16	111	30	63.62
10/04/2019	1,440	16,834.12	5,888.8	11,047.48	93	33	66.45
11/04/2019	1,440	15,523.92	4,227.65	9,927.53	149	43	92.75
12/04/2019	1,440	18,550.08	2,735.34	9,418.02	150	57	95.03
13/04/2019	1,440	18,952.08	3,044.1	8,699.77	136	41	87.65
14/04/2019	1,440	11,967.95	3,452.41	9,096.61	103	22	63.12
15/04/2019	1,440	17,838.45	3,124.1	7,410.84	111	20	53.93
Average		22,460.94	4,550.39	11,517.39	187.33	42.13	101.71

(Figure 6) แสดงกราฟค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM2.5 ในหน่วยความเข้มข้นเชิงมวลและความเข้มข้นเชิงจำนวน ระหว่างวันที่ 1 – 15 เดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ณ สถานีตรวจวัดภาคสนามในหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในภาควิชาวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ

สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 127 ตอนพิเศษ 37ง วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2553 ความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจะต้องน้อยกว่า 50 µg/m³ และรายปีจะต้องน้อยกว่า 25 µg/m³ (Table 1) แสดงค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยของฝุ่น PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในช่วงวัดและเวลาเดียวกัน จากตารางพบว่าค่าความเข้มข้นเชิงมวลของ PM2.5 สูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย DustTrak เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลประมาณ 180.33 µg/m³, 42.13 µg/m³

และ 101.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของ PM2.5 สูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย CPC เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลประมาณ 22,460.94 particles/cm³, 4,550.39 particles/cm³ และ 11,517.39 particles/cm³ ตามลำดับ โดยความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลของฝุ่น PM2.5 จะมีสัดส่วนเป็น 101.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ต่อ 11,517.39 particles/cm³ หรือทุกๆ ความเข้มข้นเชิงมวล 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะเท่ากับ ความเข้มข้นเชิงจำนวน 113.23 particles/cm³ หรือ 1.13×10^8 particles/m³

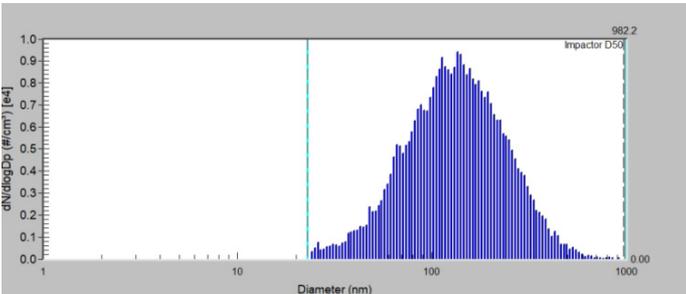
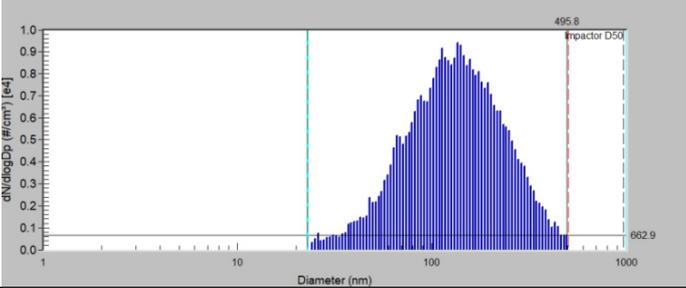
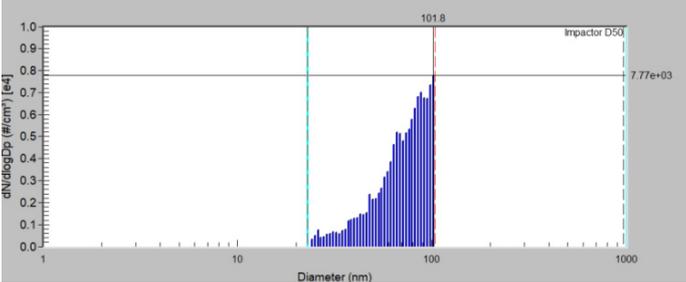
ในการวัดค่าฝุ่น PM2.5 ด้วยเครื่องวัดเชิงมวล จะเป็นการวัดค่ามวลรวมของฝุ่น PM2.5 (การวัดในหน่วยมวลต่อปริมาตร หรือ $\mu\text{g}/\text{m}^3$) จึงทำให้ไม่ทราบการกระจายขนาดของอนุภาค (particle size distribu-

tion) แต่ละขนาดมีมวลเท่าใด สำหรับการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคทำให้ทราบการกระจายขนาดของอนุภาคว่าอนุภาคขนาดใดมีจำนวนเท่าใดและรู้ว่าอนุภาคขนาดไหนมีจำนวนมากที่สุด (Table 2) แสดงการวัดความเข้มข้นจำนวนของอนุภาคที่มีขนาดในช่วง 0.3 ถึง 10 μm ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค AeroTrak Portable Particle Counter (TSI Model 9310) ในช่วงวันที่ 10 เมษายน 2562 เวลาประมาณ 20:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ความเข้มข้นเชิงมวลและความเข้มข้นเชิงจำนวนเริ่มมีค่าต่างกัน จากตารางพบว่าอนุภาคขนาด 0.3 μm มีความเข้มข้นจำนวนมากที่สุดถึงประมาณ 90% ในจำนวนอนุภาคที่มีขนาดในช่วง 0.3 ถึง 10 μm

Table 2 Size and number concentration of particles in the size range of 0.3 to 10 μm measured at 08:00PM. on 10 April 2019.

Particle size (μm)	Number concentration (particles/cm ³)	%
0.3	5,313	90.35
0.5	485	8.24
1.0	74	1.25
3.0	6	0.093
5.0	2	0.034
10	1	0.014
Total	5,881	100

Table 3 Size distribution, number and mass concentrations of PM1.0, PM0.5 and PM0.1 measured at 08:00PM. on 10 April 2019.

	Particle size distribution	Particle concentration	
		Number (particles/cm ³)	Mass (µg/m ³)
PM1.0		5,710	27.4
PM0.5		5,670	22.6
PM0.1		1,930	0.462
	Ratio of PM0.5 to PM1.0 (%)	99.29	82.48
	Ratio of PM0.1 to PM1.0 (%)	33.80	1.68

(Table 3) แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคของ PM1.0, PM0.5 และ PM0.1 และความเข้มข้นจำนวนอนุภาคในหน่วยความเข้มข้นเชิงจำนวน (particles/cm³) และเชิงมวล (µg/m³) ที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดแบบสแกนความเคลื่อนที่ได้ หรือ SMPS (TSI Model 3938) ในช่วงวันที่ 10 เมษายน

2562 เวลาประมาณ 20:00 น. เช่นกัน โดยความเข้มข้นเชิงจำนวนและมวลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 จากตารางพบว่า PM1.0 มีความเข้มข้นเชิงจำนวน 5,710 particles/cm³ และเชิงมวล 27.4 µg/m³ ตามลำดับ PM0.5 มีความเข้มข้นเชิงจำนวน 5,670 particles/cm³ และเชิงมวล 22.6 µg/m³

ตามลำดับ และ PM0.1 มีความเข้มข้นเชิงจำนวน 1,930 particles/cm³ และเชิงมวล 0.462 ug/m³ ตามลำดับ โดยสัดส่วน PM0.5 ใน PM1.0 คือประมาณ 99.29% และ 82.48% สำหรับหน่วยความเข้มข้นเชิงจำนวนและเชิงมวล ตามลำดับ และสัดส่วน PM0.1 ใน PM1.0 คือประมาณ 33.80% และ 1.68% สำหรับหน่วยความเข้มข้นเชิงจำนวนและเชิงมวล ตามลำดับ หากเปรียบเทียบกับค่าฝุ่น PM2.5 ในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าช่วงที่ทำการวัดมีค่าฝุ่น PM2.5 ประมาณ 52.8 ug/m³ และ 6,945 particles/cm³ ทำให้มีสัดส่วน PM1.0 ใน PM2.5 คือประมาณ 50% และ 91% ในหน่วยความเข้มข้นเชิงมวลและความเข้มข้นเชิงจำนวน ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของหน่วยความเข้มข้นเชิงมวลและความเข้มข้นเชิงจำนวนเนื่องจากจำนวน (number) พื้นที่ผิว (surface area) และมวล (mass) ของอนุภาคแต่ละขนาดแตกต่างกัน ตัวอย่าง เช่น พื้นที่ผิวของอนุภาคที่เส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันคือ 10, 2.5 และ 0.1 μm โดยสมมติให้อนุภาคทั้ง 3 ขนาดเป็นทรงกลมที่สมบูรณ์แบบ (perfect sphere) มีความหนาแน่น (density) และมวล (mass) เท่ากันคือ จำนวนอนุภาค (particle number) ของอนุภาคขนาด 2.5 และ 0.1 μm จะสัมพันธ์กับอนุภาคขนาด 10 μm คือ 1, 64 และ 1,000,000 อนุภาค ตามลำดับ และมีพื้นที่ผิวต่อหนึ่งอนุภาคคือ 1, 0.0625 และ 0.0001 สำหรับอนุภาคขนาด 10, 2.5 และ 0.1 μm ตามลำดับ เมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวจำเพาะ (พื้นที่ผิวทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยมวล) จะเห็นความต่างชัดเจนสำหรับอนุภาคขนาด 10, 2.5 และ 0.1 μm คือ 1, 4 และ 100 ตามลำดับ [14] จากการเปรียบเทียบทำให้เห็นความแตกต่างระหว่าง 2 หน่วยการวัดของ PM2.5, PM1.0, PM0.5 และ PM0.1 สำหรับการวัดความเข้มข้นของอนุภาคขนาดเล็กควรมีการรายงานในหน่วย particles/cm³ เพราะอนุภาคขนาดเล็กมีมวลน้อยมากๆ การวัดความเข้มข้นเชิงมวลจึงไม่เหมาะสมสำหรับอนุภาคขนาดเล็ก

เนื่องอนุภาคขนาดเล็กยังมีข้อจำกัดในการวัดเชิงมวลในหลายเทคนิคที่ใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากมีขนาดเล็กมากจึงมีค่าการกระเจิงแสงที่ต่ำในเทคนิคการวัดเชิงแสง มีการตอบสนองกับความถี่ของ Oscillating microbalance ต่ำในเทคนิคการวัดแบบ TEOM มีการดูดซับรังสีเบต้าต่ำในเทคนิคการวัดแบบ Beta Ray และสามารถผ่านทะลุแผ่นกรองเก็บตัวอย่างได้ง่ายในวิธีการวิเมตริก จึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งค่าหรือค่าแก้ (correction factor) สำหรับการวัดความเข้มข้นของอนุภาคในระดับนี้

4. สรุปผล

ในการศึกษานี้ได้วัดและอธิบายความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของ PM2.5 ในอากาศโดยรอบในช่วงฤดูเผาที่เชียงใหม่ประเทศไทย สถานีตรวจวัดติดตั้งและประเมินภาคสนามในหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 1 – 15 เดือนเมษายน 2562 โดยค่าความเข้มข้นเชิงมวลและจำนวนของ PM2.5 ได้ถูกวัดพร้อมกันด้วยเครื่องวัดฝุ่น DustTrak โมเดล 8533 และ เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น CPC โมเดล 3783 ตามลำดับ ผลการศึกษาภาคสนามแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของความเข้มข้นเชิงจำนวนของ PM2.5 ที่วัดโดย CPC มีค่าไปในทิศทางเดียวกันและความแตกต่างเล็กน้อยกับความเข้มข้นเชิงมวลของ PM2.5 ที่วัดโดย DustTrak จากข้อมูลตรวจวัดพบว่าในช่วงเที่ยงจนถึงเช้ามืด (12:00-04:00 น) ของแต่ละวัน ค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 ซึ่งหมายความว่าช่วงเวลาดังกล่าวมีอนุภาคขนาดเล็กที่มีจำนวนมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีจำนวนน้อยกว่าและในช่วงเช้ามืดถึงเที่ยง (04:00-12:00 น) ของแต่ละวันมีค่าความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM2.5 มีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่น PM2.5 ซึ่งหมายความว่าช่วงเวลาดังกล่าวมีอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีมวลมากกว่าอนุภาค

ขนาดเล็กที่มีมวลน้อยกว่า โดยค่าความเข้มข้นเชิงมวลของ PM_{2.5} สูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย DustTrak เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลอยู่ในช่วงประมาณ 180.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 42.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 101.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นเชิงจำนวนของ PM_{2.5} สูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยที่วัดโดย CPC เฉลี่ยตลอดในช่วงที่เก็บข้อมูลอยู่ในช่วงประมาณ 22,460.94 particles/cm³, 4,550.39 particles/cm³ และ 11,517.39 particles/cm³ ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบทั้งสิ้น

6. References

- [1] Intra, P., (2019). Electrostatic aerosol measurement and control technology, ChulaPress, Bangkok. (in Thai)
- [2] Hinds, WC., (1999). Aerosol Technology. John Wiley & Sons, New York.
- [3] Vinitketkumnuen U., Kalayanamitra K., Chewonarin T. and Kamens R.M. (2002). Particulate matter, PM₁₀ & PM_{2.5} levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand, Mutation Research, 519; 121-131.
- [4] Thepnuan, D., Yabueng, N., Chantara, S., Prapamontol, T. and Tsai, Y.I. (2020). Simultaneous determination of carcinogenic PAHs and levoglucosan bound to PM_{2.5} for assessment of health risk and pollution sources during a smoke haze period. Chemosphere, 257; 127154.
- [5] Willeke, K. and Baron, P.A. (1993). Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications. John Wiley & Sons, New York.
- [6] EPA. (1997). National ambient air quality standards for particulate matter. Final Rule, Federal Register, 62, 38651.
- [7] Federal Register. (1997). National ambient air quality standards for particulate matter. 40 CFR Part 50.7, Section 8.2, 62(138), July 18.
- [8] Intra, P. and Tippayawong, N. (2007). An overview of aerosol particle sensors for size distribution measurement. Maejo International Journal of Science and Technology, 1; 120 – 136.
- [9] Leiva, G.M.A., Santibañez, D.A., Ibarra, S., Matus, P., Seguel, R., (2013). A Five-year Study of Particulate Matter (PM_{2.5}) and Cerebrovascular Diseases. Environmental Pollution, 181; 1-6.
- [10] Riipinen, I., Pierce, J. R., Yli-Juuti, T., Nieminen, T., Häkkinen, S., Ehn, M., Junninen, H., Lehtipalo, K., Petäjä, T., Slowik, J., Chang, R., Shantz, N. C., Abbatt, J., Leaitch, W. R., Kerminen, V.-M., Worsnop, D. R., Pandis, S. N., Donahue, N. M., and Kulmala, M. (2011). Organic condensation: a vital link connecting aerosol formation to cloud condensation nuclei (CCN) concentrations. Atmospheric Chemistry and Physics, 11; 3865–3878.
- [11] Handy, R. D. and Shaw, B. J. (2007). Toxic effects of nanoparticles and nanomaterials: Implications for public health, risk assessment and the public

- perception of nanotechnology. *Health, Risk & Society*, 9(2); 125-144.
- [12] Silva, L.F.O., da Boit, K.M. (2011). Nanominerals and nanoparticles in feed coal and bottom ash: implications for human health effects. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174; 187–197.
- [13] Timko, M.T., Yu, Z., Kroll, J., Jayne, J.T., Worsnop, D.R., Miake-Lye, R.C., Onasch, T.B., Liscinsky, D., Kirchstetter, T.W., De-
staillats, H., Holder, A.L., Smith, J.D. and Wilson, K.R., (2009) Sampling Artifacts from Conductive Silicone Tubing. *Aerosol Science and Technology*, 43(9); 855-865.
- [14] Kwon, HS., Ryu, M.H. and Carlsten, C. (2020). Ultrafine particles: unique physicochemical properties relevant to health and disease. *Experimental & Molecular Medicine*, 52; 318–328.