



การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อระบุแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

Chemical Composition Analysis for Source Identification of PM_{2.5} in Muang District of Ubon Ratchathani Province

สุพรรณิการ์ ซาเหลา^{1*}, ณัฐพล โพธิ์ทาทอง¹, ปริญญาพร คำมุงคุณ¹ และ ภาคภูมิ ชูมณี²

Supannika Salao^{1*}, Natapol Potatong¹, Priyaporn Kammoongkun¹ and Parkpoom Choomanee²

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹ Department of Biological science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

² Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University

Received : 23 April 2020

Revised : 10 July 2020

Accepted : 24 July 2020

บทคัดย่อ

การศึกษานี้วิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM_{2.5}) ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่เขตเทศบาลนครอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยทำการเก็บตัวอย่างบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีและบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง ระหว่างวันที่ 18 กุมภาพันธ์ -17 เมษายน พ.ศ.2562 โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Mini Volme Air Sampler) รุ่น Minivol TAS การเก็บตัวอย่างเป็นค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 06:00 น. จนถึงเวลา 06:00 น. ของวันถัดไป การวิเคราะห์องค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon; OC) และธาตุคาร์บอน (Element Carbon; EC) ใช้วิธี Thermal/Optical Transmittance (TOT) ด้วยวิธี NIOSH870 protocol ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี มีค่าอยู่ในช่วง 0.037-0.061 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับบริเวณพื้นที่สวนสาธารณะทุ่งศรีเมืองพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 – 0.028 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนพบว่าความเข้มข้นของ OC มีค่าสูงกว่า EC ทั้งสองพื้นที่ และสำหรับไอออนละลายน้ำพบว่าไอออนหลัก คือ SO₄²⁻ NO₃⁻ และ NH₄⁺ และจากการศึกษาองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนที่พบในฝุ่นละออง PM_{2.5} พบว่าองค์ประกอบทั้งหมด 8 ชนิด คือ OC3, OC2, OC4, OC1, PC, EC1, EC2 และ EC3 ซึ่งพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 4.441 – 9.658 ซึ่งสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในบรรยากาศโดยพบว่า มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ชีวมวลและจากท่อไอเสียรถยนต์

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM_{2.5}) ; อินทรีย์คาร์บอน ; ธาตุคาร์บอน ; องค์ประกอบของไอออน



Abstract

This research aimed to analyze the concentration and the distribution of organic carbon and element carbon of particulate matter with an aerodynamic diameter less than 2.5 micrometers ($PM_{2.5}$) in the ambient air of Muang District, Ubon Ratchathani Province. The air samplings were carried out at Ubon Ratchathani Rajabhat University and Thung Sri Mueang (public park) in dry season during 18 February to 17 April 2019. Mass concentration data were collected for 24 hours (from 6:00 am. to 6:00 am. of the next day) using the Mini Volume Air Sampler, with Minivol TAS model. The Thermal/Optical Transmittance (TOT) method following the NIOSH870 protocol was used to determine the amounts of organic carbon (OC) and element carbon (EC). The concentrations of $PM_{2.5}$ at Ubon Ratchathani Rajabhat University and Thung Sri Mueang were in the ranges of 0.037 – 0.061 mg/m^3 and 0.001 – 0.028 mg/m^3 , respectively. From the study of carbon compound in $PM_{2.5}$ samples, it is found that OC concentrations were higher than EC concentrations in both areas. The concentrations of ion compositions in ambient $PM_{2.5}$ were found predominant species as SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+ . The distribution of eight carbon fractions (OC3, OC2, OC4, OC1, PC, EC1, EC2 and EC1) were determined and the OC/EC ratios were in the range of 4.441 – 9.655. The results suggested that biomass burning and motor vehicle exhaust significantly contributed to the carbonaceous particles in Muang District, Ubon Ratchathani Province.

Keywords : fine particulate matter ($PM_{2.5}$) ; organic carbon ; element carbon ; ion composition



บทนำ

ภาวะอากาศที่มีการปนเปื้อนสารทั้งในรูปของแข็งหรือก๊าซ รวมทั้งเขม่า คาร์บอนดำ คาร์บอนมอนอกไซด์ กลิ่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปรอท ตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซโอโซน ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ทำให้เกิดเป็นภาวะซึ่งเรียกว่า มลพิษทางอากาศ (Chooin, 2013) ซึ่งอีกสาเหตุหลักของปัญหามลพิษทางอากาศนั้นคือการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไปฝุ่นละอองในบรรยากาศมีตั้งแต่ระดับอนุภาคขนาดเล็กมากที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าไปจนถึงอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร ซึ่งแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในบรรยากาศนั้นสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นทราย ฝุ่นดิน ฝุ่นหิน การเกิดไฟไหม้ป่าที่เกิดโดยกระบวนการตามธรรมชาติ การเกิดการระเบิดของภูเขาไฟ เป็นต้น และแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เกิดขึ้นมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น คาร์บอนจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์จากการจราจร กระบวนการเผาไหม้จากแหล่งอุตสาหกรรมต่าง ๆ การเผาในที่โล่งที่เกิดจากมนุษย์ เป็นต้น และในปัจจุบันประเทศไทยได้พบกับปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากฝุ่นละอองมีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสัตว์ ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ประชาชนได้รับความเดือดร้อนรำคาญ โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เนื่องด้วยมีอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้น และระยะยาว ซึ่งในฝุ่นละอองประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน (Element carbon; EC) และอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon; OC) (Chow *et al.*, 2011) ซึ่งพบว่าฝุ่นละอองจากการจราจรจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel burning) ธาตุคาร์บอนนี้มีสมบัติในการดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์และมีผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Zhao *et al.*, 2015)

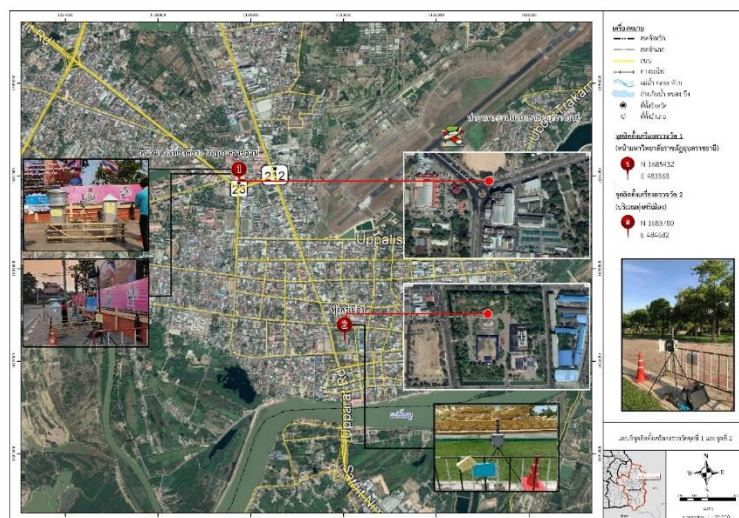
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นอีกหนึ่งภูมิภาคที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ ($PM_{2.5}$) จากรายการปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองของพื้นที่จังหวัดขอนแก่นในช่วงปี พ.ศ. 2561 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 153 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Pollution control department, 2018) ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่กำหนดให้ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของฝุ่นละออง ($PM_{2.5}$) ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เช่นเดียวกับพื้นที่ต่าง ๆ ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีค่าสูงในช่วงฤดูแล้งรวมถึงพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี จากสถิติจำนวนผู้ป่วยจากระบบรายงาน 504 จำนวนผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจในจังหวัดอุบลราชธานี ในปี พ.ศ. 2559 มีจำนวน 441,616 ราย ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2556 ที่มีผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ 393,987 ราย (Ubon Ratchathani Provincial Health Office, 2018) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งจะสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวัง

ปัญหามลพิษจากฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ให้กับประชาชนและเป็นแนวทางในการควบคุมมลพิษทางอากาศในพื้นที่ และรวมไปถึงการใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่าง

การศึกษาแหล่งที่มาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองในบรรยากาศ พื้นที่ศึกษาพิจารณาจากขนาดความเป็นเมืองและกิจกรรมในพื้นที่ซึ่งเป็นลักษณะของเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้าและเย็น ดังนั้นจึงกำหนดพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง ซึ่งตั้งอยู่ในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ สถานที่ออกกำลังกายมีพื้นที่โดยรอบประกอบด้วยสถานศึกษา สถานที่ราชการ วัด และอาคารพาณิชย์กรรม และบริเวณด้านหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1) โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ระหว่างวันที่ 18 - 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 และดำเนินการเก็บตัวอย่างบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมืองระหว่างวันที่ 22 มีนาคม - 17 เมษายน 2562 วิธีการศึกษาทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Mini Volme Air Sampler) รุ่น Minivol TAS ยี่ห้อ Airmetrics ประเทศสหรัฐอเมริกา เก็บตัวอย่างด้วยอัตราการไหล 6.0 ลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างวันละ 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06:00 น.จนถึง 06:00 น. ของวันถัดไป การเก็บตัวอย่างใช้กระดาษเก็บตัวอย่าง quartz microfiber filters (Tisch Environmental Inc.) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47.0 มิลลิเมตร โดยก่อนทำการเก็บตัวอย่างนำกระดาษกรองไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปดูความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 6 ตำแหน่ง ก่อนนำไปเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Mini Volme Air Sampler) รุ่น Minivol TAS และนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง



ภาพที่ 1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$)

**ตารางที่ 1** รายละเอียดการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM_{2.5})

1. จุดเก็บตัวอย่าง	หน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี	บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง
ละติจูด	1685432N	1683780N
ลองจิจูด	483568E	484682E
2. ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง	06:00–06:00 ของวันถัดไป	06:00–06:00 ของวันถัดไป
3. ฤดูกาล	ฤดูแล้ง	ฤดูแล้ง
4. วันที่เก็บตัวอย่าง	18 - 25 กุมภาพันธ์ 2562	26 มีนาคม - 17 เมษายน 2562

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละออง องค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละออง จะตรวจวัดในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอน (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยหลังจากที่เก็บตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมง นำกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งทำการวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์บอนด้วยเครื่องมือ Carbon Analyzer (Sunset Laboratory Inc.) ซึ่งมีการทำ calibrated ด้วยสารละลายซูโครส (N = 3 และ R² = 0.99) ซึ่งมีค่าต่ำสุดสำหรับการวิเคราะห์ OC และ EC ที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้เท่ากับ 0.2 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าความแตกต่างของการวิเคราะห์เริ่มต้นและการทำซ้ำสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) มีค่าต่ำกว่า 5% และมีค่าต่ำกว่า 10% สำหรับการวิเคราะห์ OC และ EC การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Thermal/Optical Carbon Analyzer ร่วมกับ NIOSH870 protocol โดยวิธี Thermal-optical transmittance (TOT) (Han *et al.*, 2007) โดยการตัดกระดาษ quartz microfiber filters พื้นที่ 1.5 ตารางเซนติเมตร และนำเข้าเครื่องมือวิเคราะห์หี้อ Sunset Laboratory Analyzer วิเคราะห์คาร์บอน 10 ค่า ได้แก่ OC1, OC2, OC3, OC4, EC1, EC, EC3, EC4, EC5, EC6 และ PC (pyrolytic carbon) โดยตามวิธี NIOSH870 protocol คำนวณหา OC ได้จาก OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + PC และค่า EC ได้จาก (EC1 + EC2 + EC3 + EC4 + EC5 + EC6) – PC

การวิเคราะห์ไอออนละลายน้ำ ในการวิเคราะห์หาไอออน จะทำการวิเคราะห์ไอออนละลายน้ำทั้งหมด 6 ชนิด ประกอบด้วยไอออนบวก (cations) ได้แก่ NH₄⁺, K⁺ และ Mg²⁺ และไอออนลบ (anions) ได้แก่ NO₃⁻, SO₄²⁻ และ Cl⁻ โดยการนำกระดาษกรองส่วนที่ถูกแบ่งส่วนที่สองมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นโดยใช้เครื่อง Ion chromatography รุ่น DIONEX INTEGRION HPIC ซึ่งมีวิธีการคือนำกระดาษกรองส่วนที่ถูกแบ่งใส่ในขวด plastic centrifuge tube และเติมน้ำปราศจากไอออน 15.0 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่นและนำไปเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonic cleaner ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังจากนั้นกรองผ่าน syringe fitter nylon membrane ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในหลอด Plastic centrifuge ขนาด 10.0 มิลลิลิตร (Chow and Watson, 1999) และนำไปวิเคราะห์ด้วยวิเคราะห์หาไอออนละลายน้ำด้วยเครื่องมือ Ion Chromatography รุ่น DIONEX INTEGRION HPIC และเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำการ calibration curve ค่าสัมประสิทธิ์ R² = 0.99 สำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบและไอออนบวก

ผลการวิจัย

การศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ผลการศึกษามีรายละเอียด ดังนี้

1. ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าอยู่ในช่วง 0.037-0.061 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 2) โดยพบว่าความเข้มข้นส่วนใหญ่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไปตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดไว้ใน 24 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นในวันที่ 2 และวันที่ 4 ของการดำเนินการเก็บตัวอย่างพบว่าปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ มีค่าเท่ากับ 0.061 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกินเกณฑ์มาตรฐานซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการจราจรที่หนาแน่นและสภาพอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีความกดอากาศสูง ความเร็วลมต่ำจึงส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของมลสารเกิดขึ้นไม่ดีจึงส่งผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองจึงมีค่าสูง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอน (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) พบว่าความเข้มข้นของ OC มีค่าอยู่ในช่วง 27.387 – 47.519 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของ EC มีค่าอยู่ในช่วง 5.053 – 9.496 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 4.650 - 6.007 (ตารางที่ 3 และภาพที่ 2) ซึ่งพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าสูงนั้นแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง จากการปล่อยมลพิษจากการจราจร การเผาไหม้ชีวมวลต่าง ๆ รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และการเปลี่ยนสถานะของสารมลพิษจากก๊าซเป็นอนุภาค (gas-to-particle conversion) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (Volatile Organic Compounds, VOCs) (Ji *et al.*, 2016) ดังนั้นจึงส่งผลให้ OC มีค่าสูงมากกว่า EC มาก ซึ่ง OC สามารถเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลฟอร์มเมชัน (photochemical formation) ของ NO_3^- และปฏิกิริยาออกซิเดชันของ VOCs เปลี่ยนรูปไปเป็นละอองลอยสารอินทรีย์ทุติยภูมิ (secondary organic aerosols, SOA) (Zhou *et al.*, 2016) ในสภาวะอากาศที่มีความกดอากาศต่ำ อุณหภูมิและแสงแดดที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่ในพื้นที่เขตเมืองพบสัดส่วน OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 - 4.0 (Ji *et al.*, 2016) เนื่องจากในบริเวณพื้นที่เขตเมืองมีแหล่งกำเนิดหลักของ primary OC-EC จากแหล่งกำเนิดที่มาจากจราจร แหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวล การเผาไหม้ของถ่านหิน การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากภาพที่ 2 พบว่าองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนที่พบในฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พบองค์ประกอบทั้งหมด 8 ชนิด คือ OC3, OC2, OC4, OC1, PC, EC1, EC2 และ EC3

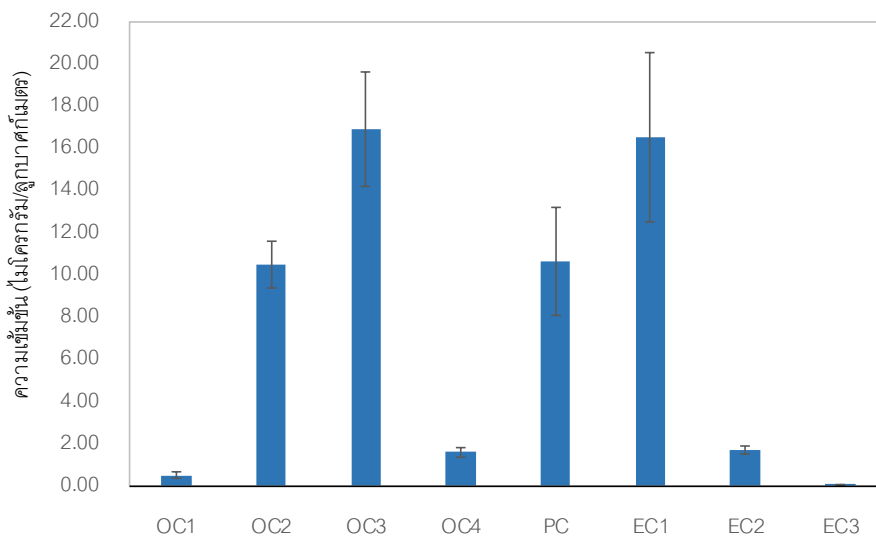
**ตารางที่ 2** ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

วันที่ทำการ เก็บ ตัวอย่าง	PM _{2.5} (mg/m ³)	อุณหภูมิ (C°)	ความกดอากาศ (mmHg)	จำนวนรถ (คัน)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (m/s)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
1	0.045	37.3	749.45	10,035	NNE	7.72	64.13
2	0.061	34.7	749.25	10,057	NNE	5.66	59.50
3	0.013	36.4	751.25	6,920	N	5.66	60.13
4	0.061	36.4	752.00	10,087	NNE	5.14	61.75
5	0.047	37.6	749.45	11,820	NNE	6.17	58.63
6	0.043	37.6	749.45	10,480	N	6.17	63.25
7	0.037	35.9	749.45	10,425	N	7.20	61.50
เฉลี่ย	0.044	36.6	750.04	9975		6.25	61.27
SD	0.016	1.0	1.10	1484		0.91	1.99
Min	0.013	34.7	749.25	6,920		5.14	58.63
Max	0.061	37.6	752.00	11,820		7.72	64.13

ผลการวิเคราะห์ไอออนละลายน้ำ 6 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻ และ Cl⁻ ตามลำดับความเข้มข้นของ SO₄²⁻ สูงสุด รองลงมาคือ NH₄⁺ และ NO₃⁻ ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ความเข้มข้นของ SO₄²⁻ และ NO₃⁻ มีค่าสูงเนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดเกือบตลอดทั้งวันจึงส่งผลให้ SO₄²⁻ และ NO₃⁻ พบค่าสูงเนื่องจากเกิดกระบวนการออกซิเดชันของ SO₂ เปลี่ยนรูปเป็น SO₄²⁻ (aqueous-phase reactions) โดย NO₂ (Zhou *et al.*, 2016) และจากผลการศึกษาพบว่าไอออนละลายน้ำกลุ่มไอออนลบมีปริมาณที่สูงกว่าไอออนบวก โดยพบความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำในบรรยากาศตามลำดับ คือ SO₄²⁻ > NH₄⁺ > NO₃⁻ > K⁺ > Mg²⁺ > Cl⁻

ตารางที่ 3 ค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง	อินทรีย์คาร์บอน (OC) (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ธาตุคาร์บอน (EC) (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	สัดส่วน OC/EC	ไอออนละลายน้ำ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
				NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
1	40.259	8.147	4.941	0.744	0.249	0.062	0.401	0.932	0.103
2	27.387	5.053	5.420	0.358	0.032	0.058	0.356	0.636	0.064
3	44.157	9.496	4.650	0.075	0.258	0.055	0.161	0.372	0.000
4	42.612	8.861	4.809	0.495	0.034	0.056	0.373	0.749	0.072
5	40.852	7.589	5.383	0.675	0.232	0.057	0.468	0.75	0.082
6	38.810	6.792	5.714	0.711	0.226	0.057	0.367	0.839	0.129
7	47.519	7.911	6.007	1.094	0.224	0.224	0.34	2.299	0.091
เฉลี่ย	40.228	7.693	5.280	0.593	0.179	0.081	0.352	0.940	0.077
SD	6.345	1.453	0.497	0.323	0.101	0.063	0.094	0.625	0.040
Min	27.387	5.053	4.650	0.075	0.032	0.055	0.161	0.372	0.000
Max	47.519	9.496	6.007	1.094	0.258	0.224	0.468	2.299	0.129



ภาพที่ 2 ความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนต่าง ๆ ในฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

2. ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง

การศึกษาปริมาณความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างเป็นตัวแทนของบริเวณพื้นที่สวนสาธารณะซึ่งมีกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของพื้นที่เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ พื้นที่ออกกำลังกาย เป็นสวนสาธารณะใจกลางเมืองอุบลราชธานี ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าอยู่ในช่วง 0.001 – 0.028 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 4) โดยพบว่าความเข้มข้นที่ตรวจพบโดยไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไปตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดไว้ใน 24 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ห่างจากถนนประมาณ 300 เมตร และมีต้นไม้สูงล้อมรอบพื้นที่ซึ่งต้นไม้ที่มีใบขนาดใหญ่จะช่วยตรึงฝุ่นให้เกาะอยู่บนผิวใบได้ดี

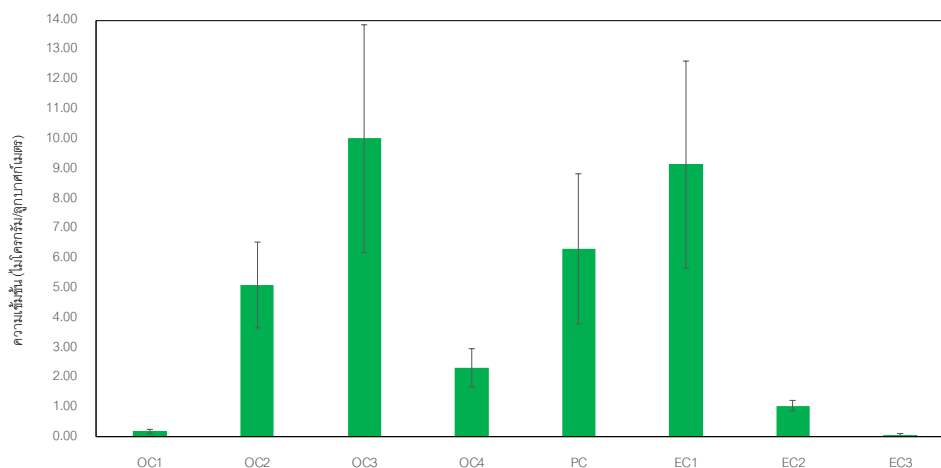
ตารางที่ 4 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง

วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง	PM _{2.5} (mg/m ³)	อุณหภูมิ (C°)	ความกดอากาศ (mmHg)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (m/s)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
1	0.065	27.7	757.93	ESE	7.00	83.75
2	0.001	36.9	758.94	E	9.00	61
3	0.028	37.6	757.37	WSW	16.00	56
4	0.011	37.6	758.04	NNW	18.00	63.25
5	0.018	37.7	757.14	SSE	11.00	60.25
6	0.032	39.4	756.03	SSE	20.00	57.63
7	0.017	40.6	754.75	SSE	16.00	53.75
8	0.015	39.3	755.90	SSE	14.00	57.88
9	0.425	36.7	756.59	ESE	12.00	69.63
10	0.018	38.8	756.17	SSW	12.00	62.25
เฉลี่ย	0.063	37.2	756.89		13.50	62.54
SD	0.128	3.6	1.24		4.06	8.66
Min	0.001	27.7	754.75		7.00	53.75
Max	0.425	40.6	758.94		20.00	83.75

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอน (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) พบว่าความเข้มข้นของ OC มีค่าอยู่ในช่วง 12.874 – 36.113 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 3) และความเข้มข้นของ EC ค่าอยู่ในช่วง 1.333 – 5.678 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในเขตเมืองมีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ฝุ่นดิน ฝุ่นจากการก่อสร้าง เป็นต้น และพบว่าอินทรีย์คาร์บอนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากแหล่งกำเนิดโดยตรง จากการปล่อยมลพิษจากการจราจร การเผาไหม้ชีวมวลต่าง ๆ รวมถึงการ

เผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเปลี่ยนสถานะของสารมลพิษจากก๊าซเป็นอนุภาค (gas-to-particle conversion) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (Volatile Organic Compounds, VOCs) (Ji *et al.*, 2016) สำหรับธาตุคาร์บอนมีแหล่งกำเนิดโดยส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล (Zhou *et al.*, 2016) โดยองค์ประกอบของคาร์บอน (OC-EC) ในช่วงฤดูหนาวจะมีความเข้มข้นสูงกว่าในช่วงฤดูฝน และพบว่าแหล่งกำเนิดของคาร์บอน (OC-EC) มาจากการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ การเผาไหม้ถ่านหินชีวมวล การเผาไหม้จากแหล่งอุตสาหกรรม และเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลฟอร์มเมชัน (photochemical formation) ของ NO_3^- และปฏิกิริยาออกซิเดชันของ VOCs เปลี่ยนรูปไปเป็นละอองลอยสารอินทรีย์ทุติยภูมิ (Zhou *et al.*, 2016) สำหรับสัดส่วนของ OC/EC ในฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ พบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 4.441-9.658 จากสัดส่วนของ OC/EC มีค่าสูงนั้นแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมืองมาจากการเผาไหม้ชีวมวลต่าง ๆ (Ji *et al.*, 2016) อันเนื่องมาจากในพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูแล้งมีกิจกรรมการเผาในที่โล่ง เช่น การเผาตอซังฟางข้าว การเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การเผาขยะ ดังนั้นจึงส่งผลให้สัดส่วน OC/EC มีค่าสูง จากภาพที่ 3 พบว่าองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนที่พบในฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ พบองค์ประกอบทั้งหมด 8 ชนิด คือ OC3, OC2, OC4, OC1, PC, EC1, EC2 และ EC3

การวิเคราะห์ไอออนละลายน้ำ 6 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} และ Cl^- ตามลำดับ ซึ่งพบว่า SO_4^{2-} มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.979 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ NO_3^- และ NH_4^+ ตามลำดับ ความเข้มข้นของ SO_4^{2-} และ NO_3^- มีค่าสูงเนื่องจากบริเวณโดยรอบพื้นที่ตรวจวัดมีถนนล้อมรอบทั้ง 4 ทิศ เป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน 07.00 - 08.30 น. และเวลา 15.30 - 17.00 น. จึงส่งผลให้ SO_4^{2-} และ NO_3^- พบค่าสูง เนื่องจากเกิดกระบวนการออกซิเดชันของ SO_2 เปลี่ยนรูปเป็น SO_4^{2-} (aqueous-phase reactions) โดย NO_2 และจากผลการศึกษาพบว่าไอออนละลายน้ำกลุ่มไอออนลบมีปริมาณที่สูงกว่าไอออนบวก พบความเข้มข้นไอออนละลายน้ำในบรรยากาศตามลำดับได้แก่ $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^-$



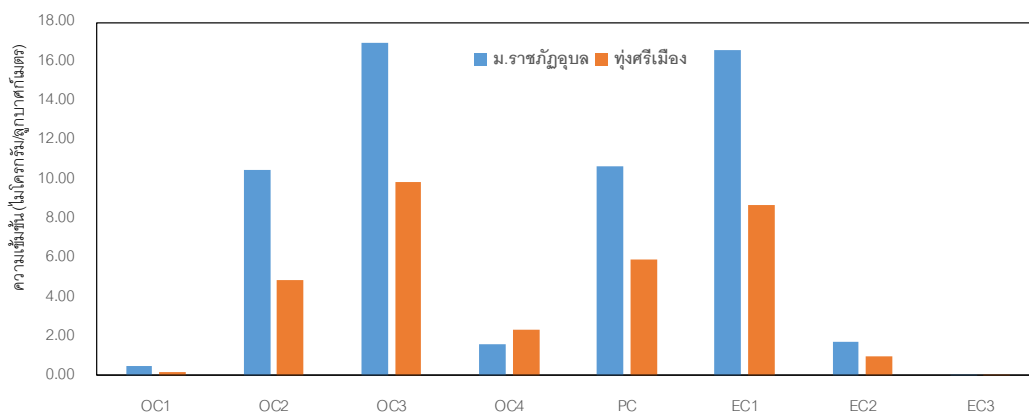
ภาพที่ 3 ความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนต่าง ๆ ในฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง



ตารางที่ 5 ค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมือง

วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง	อินทรีย์คาร์บอน (OC) (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ธาตุคาร์บอน (EC) (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	สัดส่วน OC/EC	ไอออนละลายน้ำ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
				NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
1	30.442	4.008	7.595	0.392	0.030	0.095	0.950	0.581	0.332
2	18.469	4.159	4.441	0.403	0.108	0.063	0.141	0.455	0.037
3	19.042	4.020	4.737	0.215	0.028	0.067	0.089	0.479	0.019
4	16.303	3.194	5.104	0.157	0.032	0.063	0.187	0.471	0.020
5	31.694	5.678	5.582	0.219	0.253	0.066	0.253	0.731	0.035
6	36.113	5.456	6.619	0.252	0.035	0.065	0.186	0.715	0.023
7	25.461	4.203	6.058	0.251	0.276	0.069	0.279	0.856	0.030
8	17.138	3.257	5.262	0.184	0.227	0.059	0.169	0.719	0.033
9	12.874	1.333	9.658	0.076	0.191	0.096	0.197	0.691	0.047
10	31.800	4.064	7.826	0.158	0.032	0.069	0.217	0.979	0.028
เฉลี่ย	23.934	3.937	6.288	0.231	0.121	0.071	0.267	0.668	0.060
SD	8.135	1.215	1.645	0.102	0.104	0.013	0.246	0.173	0.096
Min	12.874	1.333	4.441	0.076	0.028	0.059	0.089	0.455	0.019
Max	36.113	5.678	9.658	0.403	0.276	0.096	0.950	0.979	0.332

จากผลการศึกษาความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนต่าง ๆ (carbonaceous species) ในฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พบว่าองค์ประกอบหลักของอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละออง PM_{2.5} คือ OC3, OC2, OC4 และ OC1 ตามลำดับ (ภาพที่ 4) ซึ่งองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอน OC3, OC4 บ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจากการปลดปล่อยจากท่อไอเสียของรถยนต์ (Chow *et al.*, 2004) และองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอน OC2 บ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจากโฟโตเคมีคอลฟอร์มเมชัน (photochemical formation) ของสารคาร์บอนอินทรีย์ทุติยภูมิ (Secondary Organic Carbon) (Gu *et al.*, 2010) สำหรับสัดส่วน OC1 ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองมาจากการเผาไหม้ชีวมวล (Ji *et al.*, 2016) สำหรับองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนพบว่าองค์ประกอบหลักคือ EC1 และ EC2 ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดจากการปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล และสำหรับบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมืองพบว่าองค์ประกอบหลักของอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละออง PM_{2.5} คือ OC3, OC2, OC4 และ OC1 ซึ่งองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอน OC3, OC4 บ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจากการปลดปล่อยจากท่อไอเสียของรถยนต์ (Chow *et al.*, 2004) และองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอน OC2 บ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจากโฟโตเคมีคอลฟอร์มเมชัน (photochemical formation) ของสารคาร์บอนอินทรีย์ทุติยภูมิ (Secondary Organic Carbon) สำหรับ OC1 ที่พบบ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองมาจากการเผาไหม้ชีวมวล (Ji *et al.*, 2016) และองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนพบว่าองค์ประกอบหลักคือ EC1 และ EC2 ซึ่งบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองจากการปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล จากการเปรียบเทียบทั้งสองพื้นที่ที่ศึกษาพบว่าบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีมีความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนสูงกว่าบริเวณทุ่งศรีเมืองและพบว่าองค์ประกอบหลักของอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละออง PM_{2.5} ทั้งสองพื้นที่ คือ OC3, OC2, OC4, OC1 และองค์ประกอบหลักของธาตุคาร์บอน คือ EC1 และ EC2 นั้นแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองอุบลราชธานีมาจากการปลดปล่อยมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์ และกิจกรรมการเผาในพื้นที่โล่ง เช่น การเผาไหม้ชีวมวล การเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การเผาขยะ



ภาพที่ 4 ความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนต่าง ๆ ในฝุ่นละออง PM_{2.5}

วิจารณ์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พบว่าความเข้มข้นของ OC มีค่าอยู่ในช่วง 27.387 – 47.519 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของ EC ค่าอยู่ในช่วง 5.053 – 9.496 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 4.650 - 6.007 ซึ่งพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าสูงมากนั้นแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่มาจากท่อไอเสียรถยนต์และจากการเผาไหม้ชีวมวลต่าง ๆ รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง มีการเผาในพื้นที่โล่ง เช่น การเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การเผาขยะในชุมชน ซึ่งส่งผลให้ OC มีค่าสูงมากกว่า EC มาก รวมถึงการเพิ่มสูงขึ้นของ volatile organic precursors เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเปลี่ยนสภาพของสารมลพิษจากก๊าซเป็นอนุภาค (gas-to-particle conversion) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (Volatile Organic Compounds, VOCs) (Ji *et al.*, 2016) และลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา ระดับชั้นความสูงผสม (mixing layer) พบว่ามีระดับชั้นความสูงผสมที่ต่ำส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของมลสารได้ไม่ดี สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนละลายน้ำ 6 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} และ Cl^- พบว่า ความเข้มข้นของ SO_4^{2-} มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ NO_3^- และ NH_4^+ ความเข้มข้นของ SO_4^{2-} และ NO_3^- มีค่าสูงเนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวันจึงส่งผลให้ SO_4^{2-} และ NO_3^- พบค่าสูงเนื่องจากเกิดกระบวนการออกซิเดชันของ SO_2 เปลี่ยนรูปเป็น SO_4^{2-} (aqueous-phase reactions) โดย NO_2 และพบว่าไอออนละลายน้ำกลุ่มไอออนลบมีปริมาณที่สูงกว่าไอออนบวก

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมืองพบ ความเข้มข้นของ OC มีค่าอยู่ในช่วง 12.874 – 36.113 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของ EC ค่าอยู่ในช่วง 1.333 – 5.678 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งพบว่าอินทรีย์คาร์บอนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากแหล่งกำเนิดโดยตรง จากการปล่อยมลพิษจากการจราจร การเผาไหม้ชีวมวลต่าง ๆ (Chommanee *et al.*, 2019) รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเปลี่ยนสภาพของสารมลพิษจากก๊าซเป็นอนุภาค (gas-to-particle conversion) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (Volatile Organic Compounds, VOCs) สำหรับธาตุคาร์บอนมีแหล่งกำเนิดโดยส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล สำหรับสัดส่วนของ OC/EC ในฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ พบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 4.441 - 9.658 จากสัดส่วนของ OC/EC มีค่าสูงมากนั้นแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมืองมาจากท่อไอเสียรถยนต์และจากการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง มีการเผาในพื้นที่โล่ง เช่น การเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การเผาขยะในชุมชน ซึ่งส่งผลให้ OC มีค่าสูงมากกว่า EC มาก รวมถึงการเพิ่มสูงขึ้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเปลี่ยนสภาพของสารมลพิษจากก๊าซเป็นอนุภาค (gas-to-particle conversion) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (volatile organic compounds, VOCs) การวิเคราะห์ ไอออนละลายน้ำ 6 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} และ Cl^- ซึ่งพบ SO_4^{2-} มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.979 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ NO_3^- และ NH_4^+ ตามลำดับ ความเข้มข้นของ SO_4^{2-} และ NO_3^- มีค่าสูงเนื่องจากบริเวณโดยรอบพื้นที่ตรวจวัดมีถนนล้อมรอบทั้ง 4 ทิศ และอยู่ติดกับสถานศึกษาจำนวน 2 แห่ง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นโดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน 07.00 - 08.30 น. และเวลา 15.30 - 17.00 น. จึงส่งผลให้ SO_4^{2-} และ



NO_3^- พบค่าสูงเนื่องจากเกิดกระบวนการออกซิเดชันของ SO_2 เปลี่ยนรูปเป็น SO_4^{2-} (aqueous-phase reactions) โดย NO_2 ซึ่งจากผลการศึกษาทั้งสองพื้นที่มีผลการศึกษาคู่กันโดยพบว่าความเข้มข้นของ OC มีค่าสูงกว่า EC ทั้งสองพื้นที่ โดยองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนที่พบในฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ ทั้งหมด 8 ชนิด คือ OC3, OC2, OC4, OC1, PC, EC1, EC2 และ EC3 และพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าสูงมาก ซึ่งสามารถบ่งบอกว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดหลักจากการปล่อยมลพิษจากการจราจร การเผาไหม้ชีวมวลต่าง ๆ รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การเผาในพื้นที่โล่ง เช่น การเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การเผาขยะในชุมชน และ $\text{PM}_{2.5}$ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเปลี่ยนแปลงของสารมลพิษจากก๊าซเป็นอนุภาค (gas-to-particle conversion) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (Volatile Organic Compounds, VOCs) และสำหรับกลุ่มของไอออนละลายน้ำพบความเข้มข้นหลักของไอออนละลายน้ำคือ SO_4^{2-} , NO_3^- และ NH_4^+

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ องค์ประกอบของคาร์บอนและไอออนที่ละลายน้ำ ในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุบลราชธานี พบว่าบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีพบองค์ประกอบที่เป็นลักษณะเด่นของไอออนลบ คือ $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ และสำหรับไอออนบวก คือ $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ องค์ประกอบของคาร์บอนพบว่าความเข้มข้นของ OC สูงกว่า EC และพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 4.650 – 6.007 แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่มาจากท่อไอเสียรถยนต์และจากการเผาไหม้ชีวมวลต่าง ๆ รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สำหรับพื้นที่ศึกษาบริเวณสวนสาธารณะทุ่งศรีเมืองพบว่าองค์ประกอบที่เป็นลักษณะเด่น ไอออนละลายน้ำที่เป็นไอออนลบ คือ $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ และองค์ประกอบที่เป็นลักษณะเด่นไอออนบวก คือ $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ และพบว่าองค์ประกอบของคาร์บอนพบว่าความเข้มข้นของ OC สูงกว่า EC และพบว่าสัดส่วนของ OC/EC มีค่าอยู่ในช่วง 4.441 – 9.658 ซึ่งบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศโดยพบว่า มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวลและจากท่อไอเสียรถยนต์ รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าลำดับของสัดส่วนที่พบมีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งสองพื้นที่โดยส่วนใหญ่ไอออนที่ละลายน้ำนั้นพบ SO_4^{2-} และ NO_3^- เป็นองค์ประกอบที่เป็นลักษณะเด่น ส่วนองค์ประกอบคาร์บอนนั้นส่วนใหญ่พบอินทรีย์คาร์บอน (OC) สูงกว่าธาตุคาร์บอน (EC)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการติดตามลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดินและมลสารทางอากาศสำหรับประเทศไทย คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง



เอกสารอ้างอิง

- Chooin, S. (2013). Air pollution. (1). Bangkok: Chulalongkorn university press.(in Thai)
- Chommanee, P., Bualert, S., Thongyen, T., Salao, S., Szymanski, W W. & Rungratanaubon, T. (2019). Vertical Variation of Carbonaceous Aerosols within the PM_{2.5} Fraction in Bangkok, Thailand. *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 43- 52.
- Chow, J. C. & Watson, J. G. (1999) . Ion chromatography in elemental analysis of airborne particles. In Landsberger, S. and Creatchman, M. (Eds.), *Elemental Analysis of Airborne Particles*. (pp. 97-137).Gordon and Breach Science Publishers.
- Chow, J. C., Watson, J. G., Kuhns, H., Etyemezian, V., Lowenthal, D. H., Crow, D., Kohl, S. D., Engelbrecht, J. P., & Green, M. C. (2004). Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational study. *Chemosphere*, 54, 185-208.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Lowenthal, D.H., Chen, L.A. & Motallebi, N. (2011). PM_{2.5} source profiles for black and organic carbon emission inventories. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5407–5414.
- Gu, J., Bai, Z., Liu, A., Wu, L., Xie, Y., Li, Y., Dong, H., & Zhang, X. (2010). Characterization of Atmospheric Organic Carbon and Element Carbon of PM_{2.5} and PM₁₀ at Tianjin, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 10, 167- 176.
- Han, Y.M., Cao, J.J., Chow, J.C., Watson, J.G., An, Z., Jin, Z.S., Fung, K. & Liu, S. (2007). Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char- and soot-EC. *Chemosphere*, 69, 569-574.
- Ji, D., Zhang, J., He, J., Wang, X., Pang, B., Liu, Z., Wang, L. & Wang, Y. (2016). Characteristics of atmospheric organic and elemental carbon aerosols in urban Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 125, 293–306.
- Pollution control department. (2018). Air4thai. Retrieved Jan 8, 2019, from <http://air4thai.pcd.go.th>. (in Thai)



- Thongsang, P., Karuchit, S. & Pongkiatkul. (2018). Concentration and chemical composition of $PM_{2.5}$ in Nakorn ratchasima city. *Engineering Journal of Research and Development*, 30(3), 145-155. (in Thai)
- Ubon Ratchathani Provincial Health Office. (2018). Annual Report 2017. Retrieved October 28, 2018, from <http://www.phoubon.in.th/html/data.html>. (in Thai)
- Yang, H., Chen, J., Wen, J., Tian, H., & Liu, X. (2016). Composition and sources of $PM_{2.5}$ around the heating periods of 2013 and 2014 in Beijing: Implications for efficient mitigation measures. *Atmospheric Environment*, 124, 378-386.
- Zhang, Y., Shao, M., Zhang, Y., Zeng, L., He, L., Zhu, B., Wei, Y. & Zhu, X. (2007). Source profiles of particulate organic matters emitted from cereal straw burnings. *Journal of Environmental. Sciences*, 19(2), 167–175.
- Zhang Q. & Y. Zhu.(2010). Measurements of ultrafine particles and other vehicular pollutants inside school buses in South Texas. *Atmospheric Environment*, 44, 253-261.
- Zhao, M., Huang, Z., Qiao, T., Zhang, Y., Xiu, G. & Yu, J. (2015). Chemical characterization, the transport pathways and potential source of $PM_{2.5}$ in Shanghai: Seasonal variations. *Atmospheric. Research*, 158–159, 66–78.
- Zhao, S., Yu, Y., Yin, D., Qin, D., Yu, Z., Dong, L., Yang, J., Mao, Z., He, J. & Li, P. (2019). PM_1 carbonaceous aerosols during winter in a typical valley city of western China: Vertical profiles and the key influencing factors. *Atmospheric Environment*, 202, 75–92.
- Zhou, J., Xing, Z., Deng, J., & Du, K. (2016). Characterizing and sourcing ambient $PM_{2.5}$ over key emission regions in China I: Water-soluble ions and carbonaceous fractions. *Atmospheric Environment*, 135, 20-30.