



รายงานการวิจัย

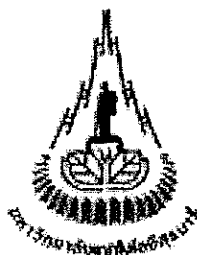
การพัฒนาวิธีวิเคราะห์กลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและ
กลุ่มธาตุคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยเครื่อง
อิลิเมนทอล อนาไลเซอร์

(Development of organic and elemental carbon analyses in
fine particulate matter by elemental analyzer)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์กลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและ
กลุ่มธาตุคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยเครื่อง
อิลิเมนทอล อนาไลเซอร์

(Development of organic and elemental carbon analyses in
fine particulate matter by elemental analyzer)

ผู้วิจัย

นายนเรศ เชื้อสุวรรณ
สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2548

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2552

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย “การพัฒนาวิธีวิเคราะห์กลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและกลุ่มธาตุคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์” ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ประสงค์ให้อาจารย์มีผลงานและสร้างความเข้มแข็งด้านงานวิจัยภายใต้การบริหารจัดการของสถาบันวิจัยและพัฒนา ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณที่ให้การสนับสนุนให้การดำเนินงานด้วยดีเสมอมา รวมทั้งการสนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการช่วยเหลืออย่างดีของคุณนงนภัส โฆษวิทิตกุล และขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการและสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 ในการอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการของสารกลุ่มอินทรีย์และธาตุคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็ก PM₁₀ ในบรรยากาศด้วยเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กจากพื้นที่กรุงเทพฯ ถูกใช้เป็นตัวอย่างสำหรับพื้นที่ที่มีมลพิษอากาศจากฝุ่นละอองสูง ตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาใช้สำหรับพื้นที่ที่มีระดับของฝุ่นละอองปานกลาง

กระดาษกรองควอทซ์ชนิด Pallflex Tissuequartz 2500QAT-UP ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และตัวอย่างถูกแบ่งเป็นสองส่วนสำหรับการวิเคราะห์แบบใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์และการใช้พื้นที่เป็นเกณฑ์ ทั้งนี้ สารคาร์บอนมาตรฐานปริมาณต่ำถูกใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการเปรียบเทียบปริมาณของคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์เหมาะสมกับการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างสูง (กรุงเทพฯ) เพราะลักษณะของเครื่องมือที่นิยมใช้กับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นในระดับที่สูงกว่าการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ระดับคาร์บอนในฝุ่นละอองที่ทำการวิเคราะห์มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 4 ของตัวอย่าง โดยตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 1.5 ของตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีพบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) จากพื้นที่กรุงเทพฯ มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ($r^2 = 0.91, p < 0.05$) แต่ตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่เทศบาลนครราชสีมาเมื่อวิเคราะห์ด้วยทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง ($r^2 = 0.54, p > 0.05$) สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) จากการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักและพื้นที่เป็นเกณฑ์พบว่า ตัวอย่างจากสองพื้นที่ คือ กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมาที่วิเคราะห์ด้วยสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ($r^2 = 0.99, p < 0.05$) การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) จากการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักและพื้นที่เป็นเกณฑ์พบว่า ตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่กรุงเทพฯ มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ($r^2 = 0.86, p < 0.05$) แต่ตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่เทศบาลนครราชสีมาที่มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ ($r^2 = 0.45, p > 0.05$)

ความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์สำหรับหาปริมาณธาตุคาร์บอนอยู่ในระดับดีมากสำหรับตัวอย่างจากทั้งสองพื้นที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า คาร์บอนที่มีความคงตัว (ธาตุคาร์บอน) จะเหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์มากกว่าอินทรีย์คาร์บอนที่กระบวนการวิเคราะห์ต้องผ่านการให้ความร้อนกับตัวอย่างในระดับประมาณ 350 องศาเซลเซียสในตู้ให้ความร้อนก่อนที่จะนำเข้าเครื่องวิเคราะห์ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกกำจัดออกก่อนได้ง่าย

คำสำคัญ

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀, อินทรีย์คาร์บอน, ธาตุคาร์บอน, อิลิเมนทอลอนาไลเซอร์, มลพิษอากาศ

Abstract

Development of organic and elemental carbon analyses in fine particulate matter by elemental analyzer

Major objective of this research is to develop analytical techniques for the analysis of organic and elemental carbonaceous fractions in fine particulate matter employing an elemental analyzer at Center for Science and Technology Equipment, Suranaree University of Technology. High concentrations of particulate samples from Bangkok and Nakhon Ratchasima Municipality were used in this work.

Pallflex Tussuequartz 2500QAT-UP was used to collect fine particulate matter according to sampling protocol. Filters preparation involved the division of the filters into two sections. First section was submitted for carbonaceous analysis based on specific weight. Second section was analyzed as area basis. Quantitative analysis of carbon derived from low level reference material and protocol of the elemental analyzer. The results showed that the analyzer was applicable for high carbon-contained samples (Bangkok samples) due to the design of the analyzer used in quantified elements such as carbon and nitrogen. Concentrations of carbon from samples were not exceed 4% but samples from Nakhon Ratchasima were less than 1.5% of carbon in samples.

Total carbon (TC) from Bangkok samples showed high correlation when analyzed with both area- and weight-based techniques ($r^2 = 0.91$, $p < 0.05$) while correlation of both techniques was fair for samples from Nakhon Ratchasima Municipality ($r^2 = 0.54$, $p > 0.05$). In fact, elemental carbon (EC) from all samples were well correlated for both techniques ($r^2 = 0.99$, $p < 0.05$). When analyzed with both techniques, samples from Bangkok also had relatively high correlation for organic carbon ($r^2 = 0.86$, $p < 0.05$) but poor agreement found for samples from Nakhon Ratchasima Municipality ($r^2 = 0.45$, $p > 0.05$).

Good correlation of elemental carbon analyzes from all samples indicated that relatively stable fraction of carbon (EC) was more applicable for elemental analyzer than organic carbon analysis. A process involved the sample heating at 350°C contributed to error associated with sample preparation process.

Keywords: particulate matter, PM_{10} , organic carbon, elemental carbon, OC/EC, elemental analyzer, air pollution

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 กรอบแนวคิด	4
2.2 สารคาร์บอนในบรรยากาศ	5
2.3 องค์ประกอบของสารคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอย	7
2.3.1 ชาติคาร์บอน (EC)	7
2.3.2 สารอินทรีย์คาร์บอน (OC)	7
2.4 ผลกระทบของสารคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอยต่อสิ่งแวดล้อม	8
2.5 วิธีการวิเคราะห์หาสารในกลุ่มคาร์บอน	8
2.6 กระดาษกรองและการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบคัดขนาดในบรรยากาศ	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	12
3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง	12
3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ ในบรรยากาศ	12
3.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องฮิลิเมนทอล อนุไลเซอร์	16
3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง	17
3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน	18
3.3.2 การควบคุมคุณภาพและการวิเคราะห์ข้อมูล	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	20
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง

40



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.	20
ตารางที่ 4.2 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.	21
ตารางที่ 4.3 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	22
ตารางที่ 4.4 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	23
ตารางที่ 4.5 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.	24
ตารางที่ 4.6 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.	25
ตารางที่ 4.7 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	26
ตารางที่ 4.8 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	26
ตารางที่ 4.9 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.	27
ตารางที่ 4.10 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	28
ตารางที่ 4.11 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	28
ตารางที่ 4.12 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	30

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบสัดส่วนของธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ	32
ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบสัดส่วนของธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	32
ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณคาร์บอนแต่ละกลุ่มจากตัวอย่างพื้นที่กรุงเทพฯ	36
ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณคาร์บอนแต่ละกลุ่มจากตัวอย่างพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	36



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย	4
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงของสหรัฐอเมริกา	6
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM ₁₀ ที่พบในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา	6
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณเขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร (วงกลมดำ)	13
รูปที่ 3.2 การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณเขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร	13
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณเทศบาลนครนครราชสีมา (วงกลมดำ)	14
รูปที่ 3.4 การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณเทศบาลนครนครราชสีมา	14
รูปที่ 3.5 เครื่องมือปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ Reference flow device	15
รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งกระดาษกรอง Sartorius รุ่น LA130S-F	16
รูปที่ 3.7 เครื่องอิลิเมนต์อลอนาไลเซอร์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์	17
รูปที่ 3.8 ลักษณะการแบ่งกระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยความร้อน	18
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ของตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ	33
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	34
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ของตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ	34
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	35
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ของตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ	35

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ของตัวอย่างจากพื้นที่
เทศบาลนครนครราชสีมา

36



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การศึกษาด้านระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อมในเรื่องคุณภาพอากาศที่มีความเชื่อมโยงกับปัญหาสุขภาพของประชาชนในหลายประเทศทั่วโลกให้ข้อสังเกตค่อนข้างสอดคล้องกันว่า ปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการป่วย อัตราการเข้ารับการรักษาพยาบาล รวมถึงอัตราการเสียชีวิตของประชาชนในหลายเมืองของสหรัฐอเมริกา (Pope *et al.*, 1995; Reichhardt, 1995; William *et al.*, 2000) เม็กซิโก (Borja-Aburto *et al.*, 1997) ชิลี (Ostro *et al.*, 1995) ยุโรป (Janssen *et al.*, 2000; Abu-allaban *et al.*, 2002) ไต้หวัน (Chen and Wang, 1997) ทั้งนี้ความรุนแรงของปัญหาจะเพิ่มมากขึ้นในประชากรกลุ่มที่มีโรคของทางเดินหายใจอยู่แล้ว เช่น ผู้มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ หอบหืด เป็นต้น (Schwartz and Dockery, 1992; Delfino *et al.*, 1994; U.S. EPA, 2004) กลุ่มเสี่ยงอีกกลุ่มหนึ่งที่สำคัญคือเด็กและคนชรา สำหรับประเทศไทย ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเสียชีวิตของประชากรในพื้นที่กรุงเทพมหานคร Ostro *et al.*, (1999) ศึกษาข้อมูลย้อนหลัง (ระหว่างปี พ.ศ. 2535-2539) พบว่า ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการเสียชีวิตของประชากรในกรุงเทพฯ โดยปริมาณฝุ่นขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้น 10 มคก.ต่อลบม. จะมีส่วนสัมพันธ์กับสาเหตุการเสียชีวิตตามธรรมชาติ (Natural mortality), การเสียชีวิตจากปัญหาในระบบทางเดินหายใจ (Respiratory mortality) และการเสียชีวิตจากปัญหาระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular mortality) โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 1-2, 3-6, และ 1-2 ตามลำดับ

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นมลพิษอากาศหลัก (Criteria pollutant) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย (US.EPA, 2004; กรมควบคุมมลพิษ, 2548) เพื่อป้องกันปัญหาที่เป็นผลกระทบด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้กับประชาชน โดยกำหนดให้มีปริมาณในหน่วยของน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ เช่น ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในเวลา 24 ชั่วโมง เป็นต้น ปริมาณฝุ่นที่ใช้กำหนดในมาตรฐานคุณภาพอากาศเป็นเพียงตัวแทนของความเป็นพิษที่เกิดขึ้นกับสุขภาพของประชาชน เนื่องจากองค์ประกอบของฝุ่นละอองมีค่อนข้างหลากหลาย เช่น ซัลเฟต ไนเตรท ธาตุโลหะบางชนิด เป็นต้น องค์ประกอบที่แตกต่าง

กันของฝุ่นทำให้มีการศึกษาทางพิษวิทยาถึงความเป็นพิษขององค์ประกอบชนิดต่าง ๆ ข้อมูลที่ได้จากองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency – U.S.EPA) ให้ความสำคัญของสารในกลุ่มคาร์บอนว่าเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาสุขภาพของประชาชน เนื่องจาก กลุ่มธาตุคาร์บอน (elemental carbon หรือ เขม่า) เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง (Lena *et al.*, 2002; U.S. EPA, 2004)

ปริมาณของกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนมีอยู่ในตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ ฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจมีสารในกลุ่มนี้มากถึงร้อยละ 40 ในเขตเมืองและพื้นที่อุตสาหกรรม อนุภาคของสารคาร์บอนในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นตามกิจกรรมของมนุษย์มีผลกระทบต่อสุขภาพจากการถ่ายทอดพลังงานของรังสีจากดวงอาทิตย์ (Jacobson, 2001; IPCC, 2001) ผลกระทบต่อสุขภาพที่มีต่อประชากรทั่วไป (William *et al.*, 2000; WHO, 2005; Pope and Dockery, 2006) รวมถึงกลุ่มที่สูงอายุและเด็ก (Maisonet *et al.*, 2004) และปฏิกิริยาเคมีของสารมลพิษอากาศในบรรยากาศ (Watson, 2002; Bond *et al.*, 2004) อนุภาคของธาตุคาร์บอน (Elemental carbon) ในบรรยากาศกำลังเป็นปัญหาเพราะเป็นองค์ประกอบของมลพิษในบรรยากาศลำดับที่สองรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสภาวะโลกร้อนในประเด็นของอิทธิพลต่อบรรยากาศโดยตรงหรือ direct forcing ในระดับ 0.8 ± 0.4 วัตต์ต่อตร.ม. (IPCC, 2001) ปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทยเกิดบ่อยครั้งมากขึ้นในช่วงเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมาจนกลายเป็นประเด็นข่าวสู่สาธารณะเพราะผลกระทบต่อด้านสุขภาพ เช่น ปัญหาหมอกควันจากไฟไหม้ป่าจากประเทศอินโดนีเซีย ปัญหาหมอกควันปกคลุมในภาคเหนือบริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

การวิเคราะห์ด้านมลพิษอากาศหาปริมาณของกลุ่มคาร์บอนอินทรีย์ (OC) และกลุ่มธาตุคาร์บอน (EC) ที่มีอยู่ในตัวอย่างฝุ่นตามวิธีขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาและนักวิจัยในต่างประเทศ ซึ่งความต้องการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนในฝุ่นละอองสำหรับการศึกษาด้านคุณภาพอากาศในประเทศไทยกำลังเพิ่มมากขึ้น และปัญหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็กเกินมาตรฐานไม่จำกัดอยู่แต่ในพื้นที่กรุงเทพฯ อีกต่อไป เมืองหลักในต่างจังหวัด เช่น นครราชสีมา เชียงใหม่ พิษณุโลก กำลังมีปัญหามลพิษขนาดเล็กเกินมาตรฐาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชนในพื้นที่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) แต่ขีดความสามารถในการวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนในฝุ่นละอองค่อนข้างจำกัด ที่ผ่านมาโครงการศึกษาด้านมลพิษอากาศต้องส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่สหรัฐอเมริกา (Radiant International LLC, 1998) ทำให้เกิดอุปสรรคและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษาของ Chuersuwan (1996) พบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณของสารคาร์บอนในฝุ่นละอองด้วยวิธีการให้ความร้อนสามารถทำได้ด้วยเครื่องมือที่มีส่วนประกอบของส่วนให้ความ

ร้อน ระบบนำก๊าซ และอุปกรณ์รับสัญญาณ เครื่องมือประเภทอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์ (Elemental analyzer) ที่มีการใช้ความร้อนเผาตัวอย่างเพื่อหาปริมาณไนโตรเจน คาร์บอน ซัลเฟอร์ ไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการที่คล้ายคลึงกับเครื่อง Thermal/Optical (แต่ไม่มีการใช้เลเซอร์) มีใช้อยู่ในประเทศไทย รวมทั้งที่ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบสารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอน และกลุ่มธาตุคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กด้วยเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์ในการวิเคราะห์ ปริมาณของสารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและกลุ่มธาตุคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็ก
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบสารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและกลุ่มธาตุ คาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กด้วยเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1.3.1 สนับสนุนการศึกษาค้นคว้าหาสาเหตุของแหล่งกำเนิดฝุ่นเพื่อการจัดการคุณภาพ อากาศ (กรมควบคุมมลพิษ กรมวิทยาศาสตร์บริการ สถาบันการศึกษา ระดับอุดมศึกษา ศูนย์พัฒนาความเป็นเลิศด้านมลพิษอากาศ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี)
- 1.3.2 ใช้สร้างฐานข้อมูลขององค์ประกอบฝุ่นประเทศไทยในด้านคุณภาพอากาศ (กรม ควบคุมมลพิษ กรมวิทยาศาสตร์บริการ สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา ศูนย์พัฒนาความเป็นเลิศด้านมลพิษอากาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย)
- 1.3.3 เพื่อประยุกต์ใช้ในงานบริการวิชาการและศึกษาวิจัยด้านคุณภาพอากาศ (ศูนย์ พัฒนาความเป็นเลิศด้านมลพิษอากาศ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

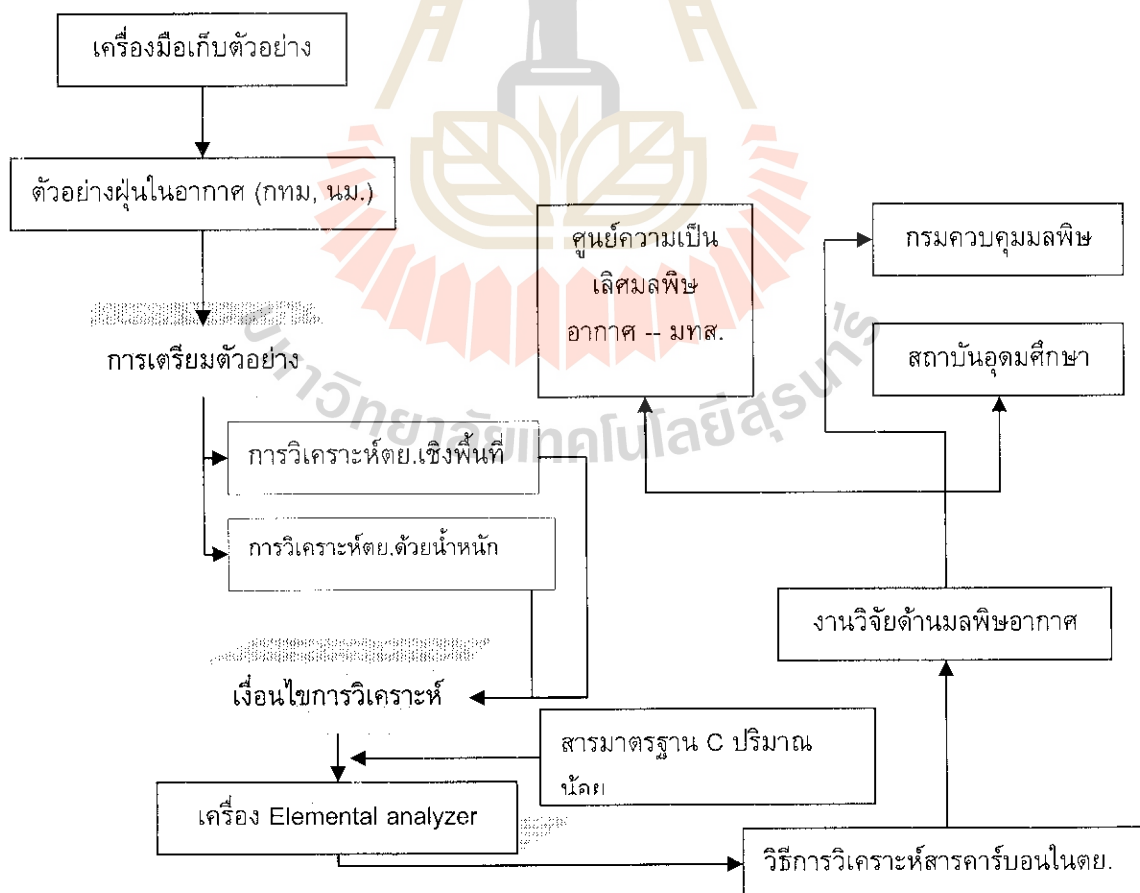
การวิจัยทำการศึกษาองค์ประกอบของสารคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ จากสองพื้นที่ที่มีระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ ตัวอย่างฝุ่นละอองของกรุงเทพมหานคร ที่มีปริมาณฝุ่นละอองสูง และเทศบาลนครนครราชสีมาที่มีปริมาณฝุ่นละอองต่ำกว่า โดยการ วิเคราะห์ทำการหาปริมาณคาร์บอนในสองกลุ่ม คือ ธาตุคาร์บอนและสารอินทรีย์ด้วย เครื่องมือ อิลิเมนทอลอนาไลเซอร์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 กรอบแนวคิด

การศึกษาเพื่อหาวิธีควบคุมปัญหามลพิษอากาศ โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย จำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี แต่ปัญหาของการวิเคราะห์เกิดขึ้นในส่วนของ การวิเคราะห์หาสารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและกลุ่มธาตุคาร์บอน เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีเครื่องมือเฉพาะสำหรับวิเคราะห์หาสารกลุ่มดังกล่าว การใช้เครื่องมือที่มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกันจึงเป็นหนทางที่จะช่วยแก้ไขปัญหาค้างคาที่มีอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับลักษณะของตัวอย่างจำเป็นต้องผ่านการทดลอง (รูปที่ 2.1) เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถและประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้งานจริงกับงานด้านมลพิษอากาศที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำลังดำเนินการแก้ไขปัญหา เช่น พื้นที่หน้าพระลาน จ.สระบุรี พื้นที่อุตสาหกรรม จังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น



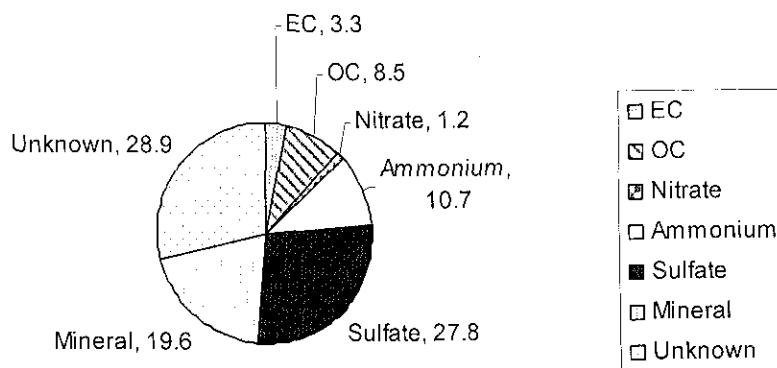
รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

2.2 สารคาร์บอนในบรรยากาศ

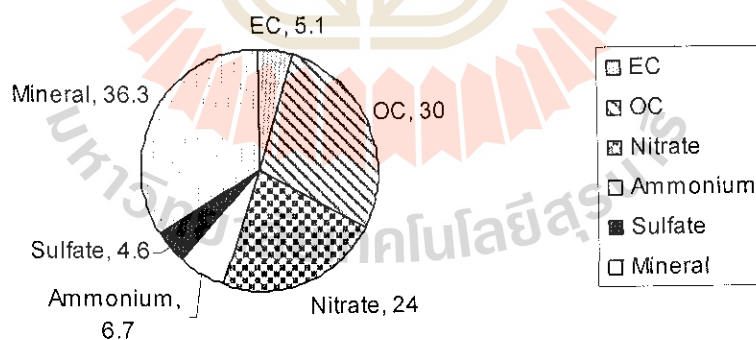
อนุภาคสารคาร์บอนในบรรยากาศ (Carbonaceous aerosol) ได้รับความสนใจในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ของบรรยากาศ (Atmospheric sciences) ซึ่งส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากศักยภาพของสารคาร์บอนที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก (Climate effect potential) มีผลต่อการมองเห็น (Visibility) ทั้งนี้ อนุภาคสารคาร์บอนมีความสามารถทำให้แสงที่ส่องผ่านในชั้นบรรยากาศกระเจิงได้ดี จึงทำให้ลดระยะของการมองเห็นลงได้ สารคาร์บอนยังมีองค์ประกอบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งอาจเป็นแบบมีผลเฉียบพลันหรือเรื้อรัง เนื่องจากมีขนาดของอนุภาคที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ (Seemayer *et al.*, 1994) เป็นผลมาจากการปล่อยสารมลพิษอากาศออกสู่บรรยากาศโดยธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ นอกจากนี้ สารคาร์บอนยังเป็นองค์ประกอบที่มีสัดส่วนสูงในองค์ประกอบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Gelencsér, 2004)

ด้วยเหตุที่องค์ประกอบของสารคาร์บอนมีความซับซ้อนและมีความหลากหลายมาก การวิเคราะห์หาสารคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองจึงมีทั้งการหาปริมาณและชนิดของสารประกอบคาร์บอน ความซับซ้อนขององค์ประกอบทำให้การจำแนกสารคาร์บอนออกเป็นกลุ่มหลัก คือ กลุ่มธาตุคาร์บอน (Elemental carbon -- EC) และอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon -- OC) แต่บางครั้งมีการผนวกกลุ่มคาร์บอเนต (Carbonate) เข้ามาด้วยเนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของสารคาร์บอนเช่นกัน แต่มีได้มีอิทธิพลกับองค์ประกอบของฝุ่นและผลกระทบต่อสุขภาพมากนัก จึงมักจะไม่นับรวมในงานวิจัยเกี่ยวกับสารคาร์บอนในบรรยากาศ (Atmospheric carbonaceous aerosol) โดยปริมาณของสารคาร์บอนทั้งหมด (Total carbon – TC) มักจะหมายถึง ธาตุคาร์บอนและสารอินทรีย์คาร์บอน

องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคแขวนลอยในอากาศมีความแตกต่างกันสถานที่และเวลา โดยการวิเคราะห์ทางเคมีของอนุภาคขนาด 2.5 ไมครอนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นว่าประมาณร้อยละ 47 ของน้ำหนักเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต ในขณะที่สารคาร์บอนมีประมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนัก ที่เหลือเป็นองค์ประกอบอื่น (รูปที่ 2.2) ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคแขวนลอยในอากาศที่พบในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกามีสารคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมากกว่าครึ่ง คือประมาณร้อยละ 53 ของน้ำหนัก ในขณะที่แอมโมเนียมซัลเฟตและองค์ประกอบอื่นมีประมาณร้อยละ 15 - 16 ของน้ำหนัก (รูปที่ 2.3) นอกจากนี้ องค์ประกอบบางชนิดที่ยังไม่อาจระบุได้ (Unknown) มีค่อนข้างสูงในอนุภาคแขวนลอยที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา (US.EPA, 1996)



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ที่พบในภาคตะวันออกของสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ที่พบในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา

2.3 องค์ประกอบของสารคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอย

2.3.1 ธาตุคาร์บอน (EC)

ธาตุคาร์บอนเป็นคำที่ใช้เรียกสารคาร์บอนในรูปของคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยความร้อนและการวิเคราะห์ทางเคมีแบบเปียก (Wet chemistry) ซึ่งสื่อให้เห็นว่าเป็นองค์ประกอบที่เป็นส่วนที่มีเพียงคาร์บอนเท่านั้น บางครั้งชื่อที่ใช้เรียกธาตุคาร์บอนนี้อาจสื่อถึงกราฟไฟท์คาร์บอน (Graphitic carbon) ธาตุคาร์บอนในฝุ่นละอองแขวนลอยเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible wavelengths) ด้วยศักยภาพในการดูดกลืนแสงจึงทำให้ธาตุคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอยมีผลต่อสมมูลความร้อนของบรรยากาศโลก (Benner *et al.*, 1989) ทั้งนี้ ธาตุคาร์บอนเป็นตัวการสำคัญลำดับที่สองที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศของโลกรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Zhang *et al.*, 2005).

กระบวนการเผาไหม้เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของธาตุคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอย ปกติธาตุคาร์บอนจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นสารชนิดอื่นในบรรยากาศ ทำให้ธาตุคาร์บอนถูกใช้เป็นตัวชี้ของการปล่อยมลพิษจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion emission) ในประเทศจีนตอนเหนือพบว่าธาตุคาร์บอนมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 40 – 50 ของน้ำหนักคาร์บอนทั้งหมด (Sue *et al.*, 1989)

2.3.2 สารอินทรีย์คาร์บอน (OC)

สารอินทรีย์คาร์บอนที่พบในอนุภาคแขวนลอยมีที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ค่อนข้างหลากหลาย เช่น แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติที่เป็นละอองเกสรขนาดเล็ก หรือสารชีวภาพแขวนลอยขนาดเล็ก ซึ่งอนุภาคแขวนลอยอาจไม่ได้มาจากธรรมชาติทั้งหมดในตัวของอนุภาคเอง แต่อาจเป็นละอองเกลือขนาดเล็กที่ถูกล้อมรอบด้วยสารชีวภาพหรือเป็นสารอินทรีย์เคมีในสถานะก๊าซแล้วควบแน่นบนอนุภาค แหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์เกิดได้จากการปล่อยมลพิษแบบตั้งใจและไม่ตั้งใจ เป็นต้น ผลการจำลองเหตุการณ์เกี่ยวกับการปล่อยสารอินทรีย์คาร์บอนในจีนและอินเดียในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาพบว่า อาจมีส่วนทำให้เกิดภาวะความแห้งแล้งมากขึ้นในดินเหนียวของจีนและทำให้เกิดน้ำท่วมมากขึ้นในตอนใต้ของจีนในช่วงฤดูร้อน (Menon *et al.*, 2002)

แหล่งกำเนิดอนุภาคแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในบรรยากาศที่เกิดจากธรรมชาติมีการรายงานในช่วงทศวรรษปี ค.ศ.1970 (Schnell and Vali, 1972) ซึ่งมีอิทธิพลเป็นแกนกลางของอนุภาคน้ำแข็งในบรรยากาศ และงานบางส่วนได้จากการใช้กล้องขยายอิเล็กตรอนส่องดูลักษณะของอนุภาคที่มีรูปร่างคล้ายกับเข็มหมุดที่อาจมีความยาวได้ถึง 200 นาโนเมตร และกว้างได้ถึง 30 นาโนเมตร ด้วยการที่สารอินทรีย์คาร์บอนมีแหล่งที่หลากหลาย ทำให้ค่อนข้างจะซับซ้อนในการจำแนกว่าเป็นสารชนิดใด

หรือมาจากแหล่งกำเนิดใด รวมทั้ง การจำแนกโมเลกุลให้ได้ชนิดของสารอินทรีย์คาร์บอนที่พบในอนุภาคสารแขวนลอยในบรรยากาศทำได้เพียงประมาณร้อยละ 5 - 10 เท่านั้น เช่น ประมาณ 809 ชนิดของสารอินทรีย์คาร์บอนถูกจำแนกจากกิจกรรมของการปรุงเนื้อด้วยความร้อน (Meat cooking) ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Rogge *et al.*, 1991) แต่กิจกรรมของมนุษย์มีค่อนข้างหลากหลายและซับซ้อน ดังนั้น การวิเคราะห์หาปริมาณของสารอินทรีย์คาร์บอนในอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศจึงมักทำในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมากกว่า

2.4 ผลกระทบของสารคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอยต่อสิ่งแวดล้อม

สารคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอยส่วนหนึ่งมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ การปล่อยจากท่อไอเสียของยานพาหนะ การเผาถ่าน ไม้ (Castro *et al.*, 1999; Stoffyn-Egli *et al.*, 1997) แต่แหล่งกำเนิดประเภทที่ไม่มีการเผาไหม้ถูกจัดเป็นแหล่งของสารคาร์บอนในอนุภาคแขวนลอยด้วย เช่น เศษของสารคาร์บอนจากสิ่งมีชีวิตที่หลุดออกสู่อากาศ (Grosjean, 1992; Rogge *et al.*, 1993; Hildemann *et al.*, 1996; Schauer *et al.*, 1996).

อนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศมีผลโดยอ้อมต่อสมดุลการแผ่รังสีและพลังงานระหว่างโลกและบรรยากาศ (Indirect forcing) ด้วยการเข้าไปเกี่ยวข้องกับปริมาณเมฆและค่าอัลบีโดของเมฆ (Cloud albedo) (Penner *et al.*, 2001) การที่อนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศมีมากทำให้ไปเพิ่มจำนวนแกนกลางที่มีผลต่อการก่อตัวของเมฆ (Cloud condensation nuclei – CCN) รวมทั้งไปเชื่อมโยงกับการลดลงของขนาดอนุภาคของเมฆที่เหมาะสม (Effective cloud droplet radius) ซึ่งทำให้มีก้อนเมฆกระจายไม่รวมเป็นก้อนใหญ่ส่งผลต่อการเกิดของฝน

2.5 วิธีการวิเคราะห์หาสารในกลุ่มคาร์บอน

วิธีการวิเคราะห์หาสารคาร์บอนในอนุภาคสารแขวนลอยได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอน ธาตุคาร์บอนและคาร์บอนเนตคาร์บอน การวิเคราะห์หาคาร์บอนเนตคาร์บอนทำได้ด้วยการทำให้เป็นกรด (Acidification) ด้วยกรดฟอสฟอริก หรือกรดเกลือ 1% เพื่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น การทำลักษณะนี้จะกำจัดคาร์บอนเนตอินทรีย์ออกไป เช่น แคลเซียมคาร์บอนเนต แมกนีเซียมคาร์บอนเนต เป็นต้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกรีตวีสเป็นมีเทนและทำการวัดด้วยเฟรมไอโอไนเซชัน (Flame ionization detector) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์หาคาร์บอนเนตคาร์บอนในอนุภาคสารแขวนลอยไม่นิยมทำเนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณค่อนข้างน้อยประมาณร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Chow *et al.*, 1993). จากกระดาษกรองที่มีตัวอย่างหลายวิธี

การวิเคราะห์หาสารคาร์บอนรวม (Total carbon – TC) ในตัวอย่างฝุ่นที่เก็บบนกระดาษกรองใช้วิธีการของการทำให้เกิดก๊าซกับตัวอย่าง (Evolved gas analysis – EGA) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารคาร์บอนรวมแบบนี้มีความแม่นยำที่ดี วิธีการนี้จะทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็นช่วงภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน การเผาไหม้ตัวอย่างบนกระดาษกรองจะเกิดขึ้นในขณะที่ให้ความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนจะซับซ้อนกว่า เนื่องจากจุดเปลี่ยนหรือช่วงต่อที่จะใช้ระบุความแตกต่างในช่วงของการวิเคราะห์ระหว่างสารคาร์บอนทั้งสองชนิดนี้ทำได้ยากและเป็นอุปสรรคมาก โดยเป็นปัญหาใหญ่สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุคาร์บอน เพราะเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยกว่าสารอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองที่พบในบรรยากาศ

การวิเคราะห์ด้วยความร้อนโดยการออกซิไดส์ด้วยแมงกานีส (Thermal manganese oxidation) เป็นการใช้อตัวอย่างในเตาที่บรรจุด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ที่ให้ความร้อนในช่วง 500 – 850 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุณหภูมิมากกว่า 525 องศาเซลเซียส จัดเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนและส่วนที่อยู่ในช่วง 525 – 850 องศาเซลเซียส จัดเป็นธาตุคาร์บอน ทั้งนี้ ก่อนการวิเคราะห์นิยมกำจัดคาร์บอนเนตคาร์บอนออกก่อนด้วยการหยดกรดและให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส

ปริมาณของกลุ่มคาร์บอนอินทรีย์ และกลุ่มธาตุคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นตามวิธีขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาและนักวิจัยในต่างประเทศ คือ วิธีการให้ความร้อนและ/หรือใช้การดูดซับแสงเป็นอุปกรณ์หลักร่วมกับ Flame Ionization Detector หรือ Non-dispersive Infrared (Watson *et al.*, 2001; U.S.EPA, 2004) การให้ความร้อนกับกระดาษกรองสามารถทำได้เป็นระดับด้วยการเพิ่มอุณหภูมิในระดับ 340 องศาเซลเซียส เพื่อไล่สารอินทรีย์คาร์บอนออกมา ก่อนเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 750 ถึง 1200 องศาเซลเซียส เพื่อเผาไหม้ธาตุคาร์บอนส่วนที่เหลือ (Aulagnier *et al.*, 2001; Matsumoto *et al.*, 2003) ส่วนเครื่องมือที่ใช้แสงได้แก่ เครื่อง Aethalometer ที่ใช้สำหรับตรวจวัดหาธาตุคาร์บอนบนกระดาษกรองประดิษฐ์โดย Hansen, A.D. ได้รับสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกาหมายเลข 4893934 เมื่อปี ค.ศ. 1990 ทำงานโดยใช้แสงส่องผ่านฝุ่นละอองบนกระดาษควอทซ์ซึ่งสามารถหาปริมาณธาตุคาร์บอนได้อย่างต่อเนื่อง

2.6 กระดาษกรองและการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบคัตขนาดในบรรยากาศ

ปกติกระดาษกรองที่ใช้เก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์หาสารคาร์บอนด้วยการให้ความร้อนจะใช้กระดาษควอทซ์บริสุทธิ์ (high-purity quartz) เนื่องจากสามารถทนความร้อนได้สูง และกระดาษกรองชนิดนี้ไม่ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวจับยึดเส้นใย (binder) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดักฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 30 นาโนเมตรได้สูงเกือบร้อยละ 100 (Gelencsér,

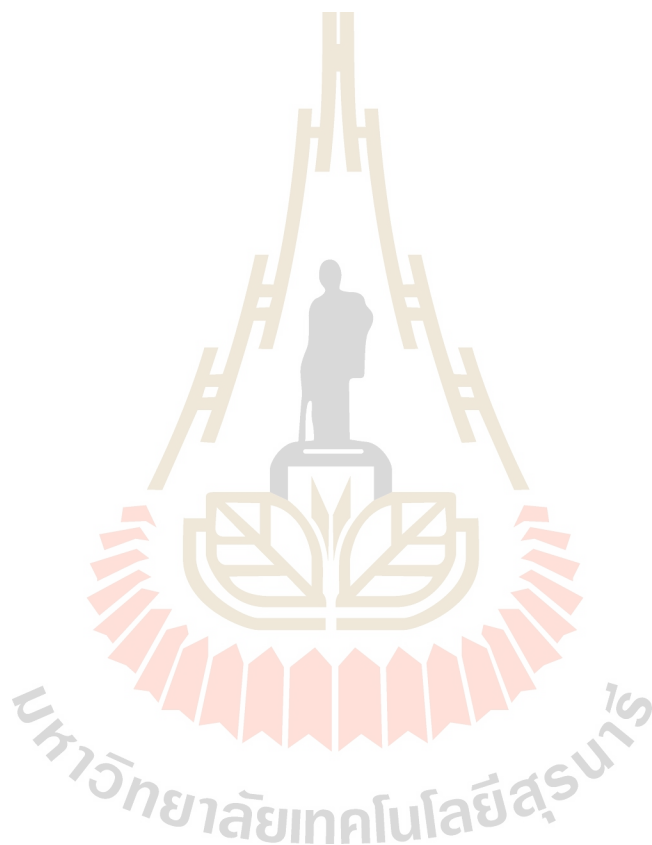
2004) และมีค่าความหนาแน่นของกระดาศกรองประมาณ 6.5 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่พื้นผิวของกระดาศกรองสามารถเป็นตัวดูดซับได้ดี (Turpin, *et al.*, 1994) การเตรียมกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่างด้วยการอบที่อุณหภูมิสูง ซึ่งปกติอยู่ในช่วงประมาณ 500 – 700 องศาเซลเซียส จะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับในกระดาศกรองได้ โดยเฉพาะกับน้ำและก๊าซในกลุ่มของสารอินทรีย์กึ่งระเหยง่าย (Semi-volatile organic species)

ฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศมีหน่วยวัด คือน้ำหนักของฝุ่นละอองต่อปริมาตรของอากาศที่เข้าสู่เครื่องมือตรวจวัด การใช้ระบบของน้ำหนักหรือกราวิเมตริก (Gravimetric) เป็นวิธีการดั้งเดิมมากกว่า 70 ปีในสหรัฐอเมริกา (Herrick and Smith, 2003) ตั้งแต่ในช่วงปี พ.ศ. 2463-2473 (ค.ศ.1920s) ที่ใช้ถ้วยวัดฝุ่นตก (Dust fall jar) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 19.05 ซม. สูง 20.32 ซม. ตั้งทิ้งไว้ในพื้นที่ตรวจวัดซึ่งจะให้ค่าในรูปของน้ำหนักฝุ่นที่ตกลงสู่พื้นต่อหน่วยพื้นที่ตามหน่วยเวลา เช่น ดันต่อตารางกิโลเมตรต่อเดือน เป็นต้น เครื่องมือได้รับการพัฒนาขึ้นให้มีกลไกที่เหมาะสมกับวัดฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศ เนื่องจากถ้วยวัดฝุ่นตกใช้ได้กับฝุ่นที่มีน้ำหนักและมีแนวโน้มตกลงสู่พื้นโลกได้ง่าย และใช้เวลาค่อนข้างนานทำให้ข้อมูลยังตอบสนองต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การบังคับใช้กฎหมาย การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพระยะสั้นทำได้ไม่ทันการณ์ เป็นต้น

การเก็บตัวอย่างอนุภาคสารแขวนลอยในบรรยากาศทำได้ด้วยเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านกระดาศกรอง ตัวอย่างจะถูกดักบนกระดาศกรองตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งปกติใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป เครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐานในปัจจุบันเป็นเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume air sampler) ทั้งนี้ การเก็บตัวอย่างอาจเป็นแบบแยกขนาดอนุภาคได้ด้วย (Size selection) เช่น ฝุ่นรวม (Total suspended particles – TSP) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) เป็นต้น

สำหรับเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศที่เป็นมาตรฐานตามกฎหมายของไทยกำหนดไว้โดยกรมควบคุมมลพิษ (2547) จะคล้ายกับเครื่องมือที่กำหนดไว้ของ US.EPA โดยส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศที่มีปั๊มดูดอากาศ ฝุ่นละอองแขวนลอยจะถูกดักจับบนกระดาศกรอง โดยปริมาตรอากาศถูกวัดกำหนดใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศ เช่น ช่องเปิดขนาดเล็ก (Orifice) อุปกรณ์ควบคุมชนิดอัตราการไหล (Flow controller) เป็นต้น หรือเครื่องวัดระบบเทียบเท่า (Equivalent) ได้แก่ ระบบเบต้าเร (Beta Ray) ระบบเทปเปอ อิลิเมนต์ ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance) และระบบไดโคโตมัส (Dichotomous) ฝุ่นละอองแขวนลอยขนาดเล็กหรือฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มีมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ (2547) และมาตรฐานของ U.S. EPA 450 (U.S. EPA, 1996) ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรสูง (High volume sampler) โดยมีหลักการทำงานคือ อากาศถูกดูดผ่านหัวคัดขนาดสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และผ่านแผ่นกรองหรือกระดาศกรองขนาด 8 นิ้ว x 10 นิ้ว ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละออง

ขนาด 0.3 ไมครอน ได้ร้อยละ 99 ก่อนการเก็บตัวอย่าง กระจกกรองจะต้องผ่านการซังน้ำหนัก ล้างน้ำและนำไปซังอีกครั้งเมื่อเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องซังในห้องปฏิบัติการ แล้วหา น้ำหนักฝุ่นละอองจากแผ่นกรอง และคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กเทียบกับ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ตรวจวัด ระยะเวลาเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศกำหนดไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานได้



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองด้านคุณภาพอากาศที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศและการวิเคราะห์ลักษณะของตัวอย่างด้านปริมาณคาร์บอนในห้องปฏิบัติการ วิธีการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง

พื้นที่เก็บตัวอย่างกำหนดจากการทบทวนข้อมูลคุณภาพอากาศในพื้นที่เมืองของกรมควบคุมมลพิษย้อนหลังปี พ.ศ.2546-2547 ที่มีระดับของฝุ่นละอองแตกต่างกันไปตามพื้นที่คือ พื้นที่กรุงเทพมหานคร มีระดับมลพิษอากาศในบางพื้นที่ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะฝุ่นละอองเกินค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป เช่น บริเวณริมถนน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ซึ่งเป็นปัญหามลพิษอากาศที่เกิดจากการจราจร พื้นที่ของจังหวัดในภูมิภาค คือ นครราชสีมา ที่พบว่ามีปัญหาฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศเกินค่ามาตรฐานฯ ในบางครั้ง พื้นที่เก็บตัวอย่างที่ต่างกันจะเอื้อให้ได้ตัวอย่างที่จะใช้ทำการทดลองมีระดับความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองที่ต่างกันด้วย ซึ่งเป็นผลดีกับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนที่หลากหลายมากขึ้น

พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณกรุงเทพมหานคร เลือกใช้สถานี 01C บริเวณถนนพระรามที่หก เขตราชเทวี มีตำแหน่งพิกัด UTM คือ X665311 Y1522144 ซึ่งเป็นบริเวณใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ (รูปที่ 3.1 และ 3.2) ส่วนสถานีในเทศบาลนครนครราชสีมา เป็นพื้นที่ห่างจากถนนมิตรภาพประมาณ 800 เมตร ตั้งอยู่ตำบลในเมือง อำเภอเมืองมีตำแหน่งพิกัด UTM คือ X 187896 Y1658233 (รูปที่ 3.3 และ 3.4)

3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ในบรรยากาศ

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแขวนลอยด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรสูงมีการควบคุมคุณภาพที่สำคัญ (QC) คือ การสอบเทียบอัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศชนิดอัตราการดูดอากาศสูง การปรับสภาพกระดาศกรองรวมทั้งการซังกระดาศกรอง และการเก็บรักษากระดาศกรอง ซึ่งดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ U.S. EPA ที่มีการสอบเทียบอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องมือปรับเทียบที่เรียกว่า Reference flow device (ReF) ดังรูปที่ 3.5



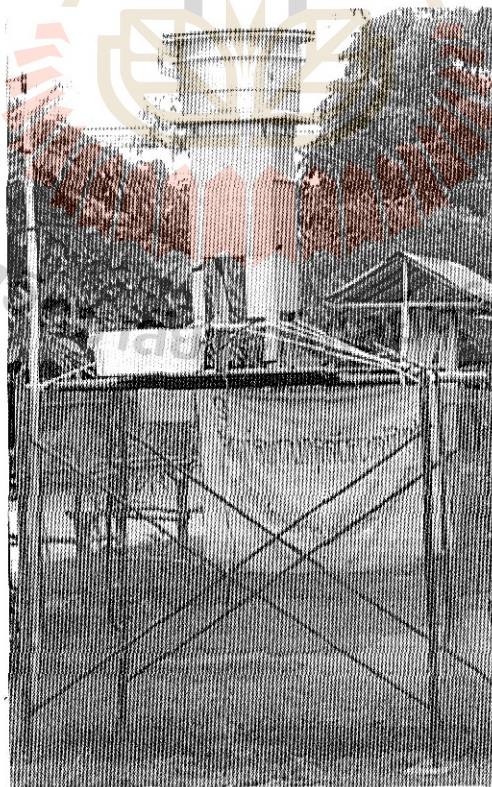
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณเขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร (วงกลมดำ)



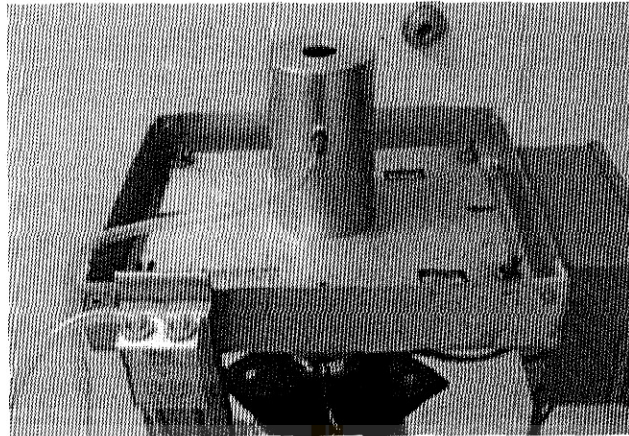
รูปที่ 3.2 การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณเขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณเทศบาลนครนครราชสีมา (วงกลมดำ)



รูปที่ 3.4 การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณเทศบาลนครนครราชสีมา

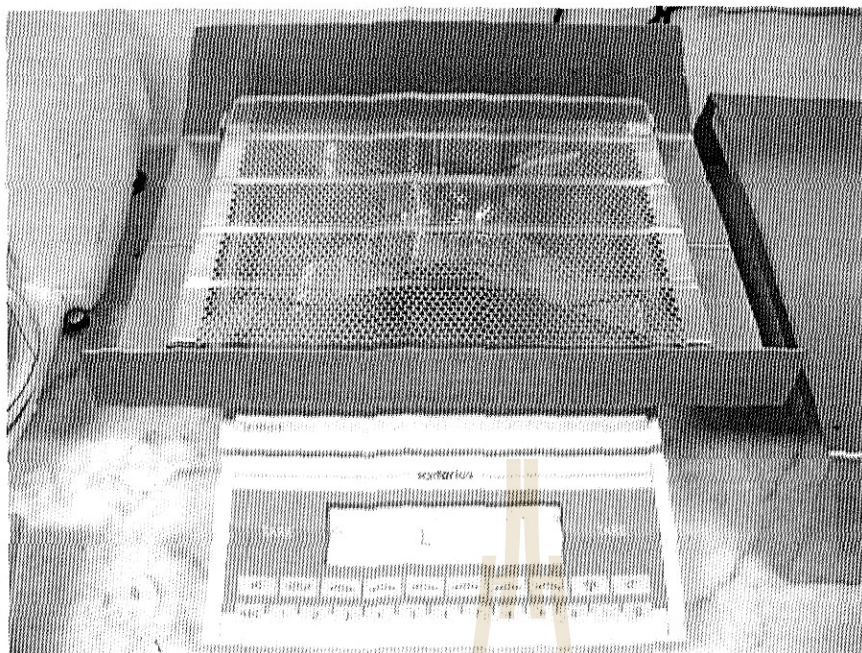


รูปที่ 3.5 เครื่องมือปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ Reference flow device

กระตาศกรองควอซมีมีการปรับสภาพ (Equilibration) ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นชนิด Pallflex Tissuequartz 2500QAT-UP ขนาด 8"X10" ทั้งนี้ ก่อนการใช้งาน กระตาศกรองจะนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 650°C เพื่อกำจัดสารตกค้างซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพการทำงาน ก่อนนำไปปรับสภาพในตู้ควบคุมความชื้นภายในห้องซึ่งเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชม. ก่อนทำการชั่งน้ำหนักกระตาศกรองเปล่าด้วยเครื่องชั่ง Sartorius รุ่น LA130S-F มีค่าการอ่านน้ำหนักละเอียดได้ในระดับ 0.1 มก. (รูปที่ 3.6) การชั่งทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยกำหนดให้มีค่าความแตกต่างไม่เกิน 1 มก. กระตาศกรองที่ผ่านการชั่งแล้วนำไปใช้เก็บตัวอย่างต่อไป และกระตาศกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้วจะนำกลับมาเข้าตู้ควบคุมความชื้นภายในห้องซึ่งเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชม. ก่อนทำการชั่งน้ำหนัก ภายใต้งี้อื่นๆเกี่ยวกับการชั่งน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่าง ค่าความแตกต่างของกระตาศกรองจะเป็นข้อมูลน้ำหนักของฝุ่นที่เก็บตัวอย่างได้ (มก) กระตาศกรองที่ผ่านการชั่งน้ำหนักจะเก็บในตู้แช่ที่อุณหภูมิไม่เกิน 4°C ระหว่างรอการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอน เพื่อป้องกันการสูญเสียองค์ประกอบของตัวอย่างในรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่อุณหภูมิห้อง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ ใช้เครื่องมือมาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมควบคุมมลพิษและ U.S. EPA ที่เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรสูง (High volume air sampler) โดยทำการเก็บตัวอย่างครั้งละ 24 ชั่วโมง อัตราการดูดอากาศอยู่ในช่วง 1.1 – 1.7 ลบ.ม.ต่อนาที ปริมาตรอากาศจะถูกบันทึกในช่วงที่ทำการตรวจวัดเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ ในบรรยากาศ คือ

(น้ำหนักหลัง - น้ำหนักก่อน)/ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน

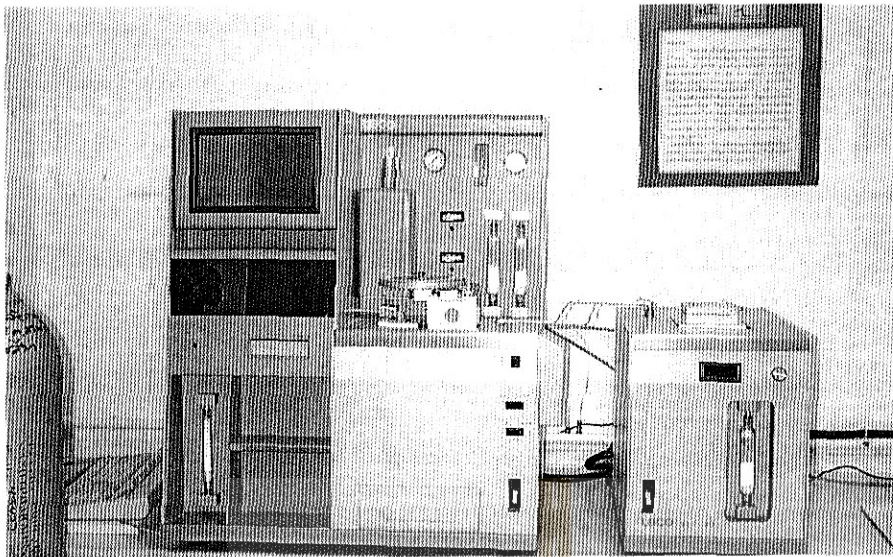


รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งกระดาษกรอง Sartorius รุ่น LA130S-F

3.3 การวิเคราะห์สารคาร์บอนด้วยเครื่องอิลิเมนต์อล อนุไลเซอร์

เครื่องอิลิเมนต์อล อนุไลเซอร์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (รูปที่ 3.7) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นเครื่องที่ผลิตโดยบริษัท Leco Corporation (USA) หลักการทำงานเป็นการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงตามที่กำหนดทำให้ตัวอย่างเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซขึ้น เช่น CO_2 SO_2 เป็นต้น ซึ่งก๊าซจะผ่านไปสู่อุปกรณ์ตรวจวัดแบบใช้แสงอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งจะผ่านอุปกรณ์แปลงสัญญาณไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ของสารมาตรฐานทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ทั้งนี้ เครื่องอิลิเมนต์อล อนุไลเซอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องรุ่น CS-444 ที่ต้องการปริมาณของตัวอย่างไม่สูงมากที่ระดับประมาณ 2 มิลลิกรัม

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่องอิลิเมนต์อล อนุไลเซอร์ อาศัยน้ำหนักของตัวอย่างเป็นพื้นฐานเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนในสารมาตรฐาน (Reference material) ซึ่งงานวิจัยนี้พัฒนาวิธีวิเคราะห์เพิ่มเติมให้สอดคล้องกับลักษณะตัวอย่างที่เป็นฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศที่เก็บอยู่บนกระดาษกรองควอทซ์ ด้วยการใช้พื้นที่กำหนดขนาดของตัวอย่างเปรียบเทียบกับการใช้น้ำหนัก เนื่องจากการจำกัดพื้นที่คาดว่าจะทำให้การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทำได้สะดวกมากขึ้น และจะทำให้ได้ตัวอย่างที่ไม่อิงกับน้ำหนักของกระดาษกรองที่อาจหนาหรือบางไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่น รวมทั้งเลือกใช้สารคาร์บอนมาตรฐานที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (0.7%) ซึ่งจะช่วยให้สามารถได้ผลการวิเคราะห์ในระดับต่ำลงได้ นอกจากนี้ การวิเคราะห์จะทำการจำแนกปริมาณธาตุคาร์บอนและสารอินทรีย์คาร์บอนออกจากกันด้วยการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนออกด้วยความร้อน



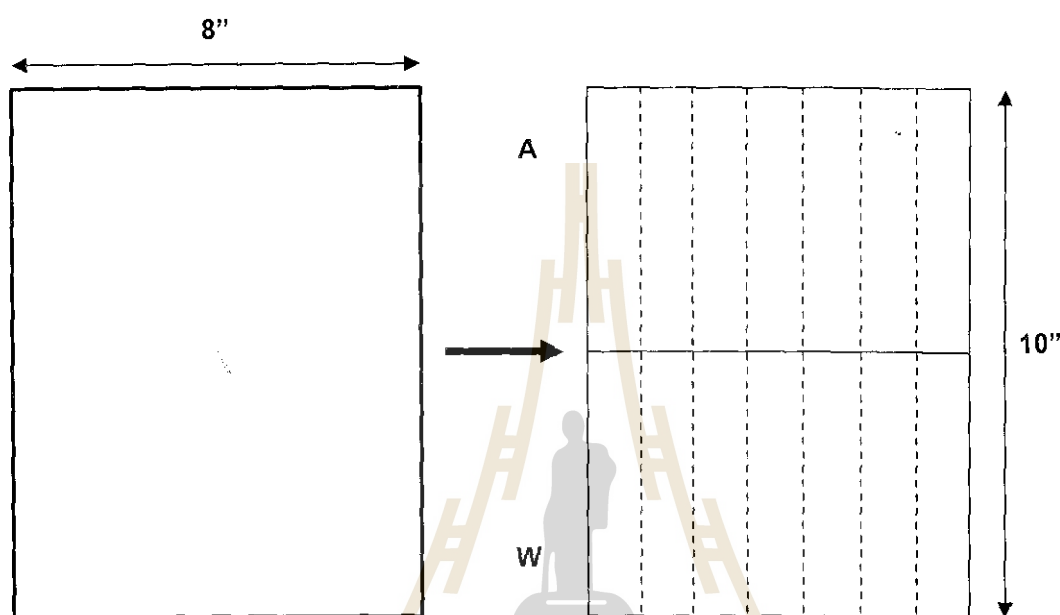
รูปที่ 3.7 เครื่องอิลิเมทอลอนาไลเซอร์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ

ปกติการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่องอิลิเมทอลอนาไลเซอร์จะเป็นการหาคาร์บอนทั้งหมด การประยุกต์ใช้เครื่องมือในงานวิจัยนี้อาศัยการเตรียมตัวอย่างด้วยการกำจัดอินทรีย์คาร์บอนออกด้วยความร้อน (หัวข้อ 3.3.1) และทำการวิเคราะห์ตามข้อกำหนดของเครื่องมือ ซึ่งการวิเคราะห์ในลักษณะนี้จะทำให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์แบบทั่วไปที่ได้เพียงค่าปริมาณคาร์บอนเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อยืนยันผลที่ได้ รายละเอียดของการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

กระดาษกรองควอทซ์ที่ผ่านการซังน้ำหนักและเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 4°C ถูกนำมาแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วน A สำหรับการวิเคราะห์แบบพื้นที่ และส่วน W สำหรับการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก แต่ละส่วนถูกแบ่งเป็น 7 ส่วนย่อย (รูปที่ 3.8) การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในตัวอย่างจะแต่ละส่วนจะวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอน ส่วนที่แบ่งของกระดาษกรองควอทซ์นำไปเข้าเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิประมาณ 350°C จะไล่สารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนให้ออกไป ก่อนนำตัวอย่างที่อบแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่คงค้างอยู่ (ธาตุคาร์บอน) กระดาษกรองส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์โดยไม่มีการอบตัวอย่างเพื่อหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์จะเผาตัวอย่างจนถึงอุณหภูมิประมาณ 900°C ผลต่างที่ได้จากการวิเคราะห์กระดาษกรองส่วนที่หนึ่งและสอง คือ ปริมาณสารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอน

การวิเคราะห์ด้วยการใช้น้ำหนักของตัวอย่างเป็นเกณฑ์ เป็นการชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่ระดับประมาณ 2 มิลลิกรัมด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า ส่วนการวิเคราะห์ด้วยพื้นที่เป็นเกณฑ์ เป็นการใส่แท่งเจาะตัวอย่างกระดาษกรองให้มีพื้นที่ประมาณ 1 ตร.ซม. และการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละส่วนย่อยทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง (Triplicate) และวิเคราะห์ด้วยการหักลบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกระดาษกรองเปล่า (Blank)



รูปที่ 3.8 ลักษณะการแบ่งกระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยความร้อน

3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน มีขั้นตอนดังนี้

- นำตัวอย่างมาทำการบดและคัดแยกขนาดอนุภาคด้วย Sieve No. 200 mesh
- เปิดบ่มอากาศ ถังก๊าซออกซิเจน และก๊าซฮีเลียม แล้วตรวจสอบระบบก๊าซทั้งหมด
- ทำการเปิดเครื่อง แล้วตรวจสอบระบบต่าง ๆ ภายในเครื่อง จากนั้นก็ทำการอุ่นเครื่อง
- นำแคปซูลเปล่า แล้วปิดปากแคปซูลให้เรียบร้อย จากนั้นนำไปใส่ใน Loading Chamber
- ทำการวิเคราะห์ Blank โดยต้องทำอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วทำการปรับเทียบมาตรฐาน Blank (QC)
- ชั่งสารมาตรฐานอ้างอิงประมาณ 2 มิลลิกรัมใส่ลงในแคปซูล ปิดปากแคปซูลให้เรียบร้อย แล้วนำไปใส่ใน Loading Chamber
- ทำการวิเคราะห์สารมาตรฐานอ้างอิง โดยต้องทำอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วทำการปรับเทียบมาตรฐาน Calibration Standard (QC)

- ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 2 มิลลิกรัมใส่ลงในแคปซูล ปิดปากแคปซูลให้เรียบร้อย แล้วนำไปใส่ใน Loading Chamber
- ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยต้องทำอย่างละ 3 ซ้ำ
- ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ เครื่องจะคำนวณปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้ เปรียบเทียบกับค่าปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในสารมาตรฐาน และลบด้วยค่า Blank ออก

3.3.3 การควบคุมคุณภาพและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือจะรายงานผ่านเครื่องพิมพ์ (Printer) ในรูปของ ร้อยละคาร์บอนที่มีอยู่ในตัวอย่าง ค่าปริมาณคาร์บอนในสารมาตรฐาน ($0.7 \pm 0.05\%$) และค่า Capsule เปล่าจะเป็นตัวบ่งชี้ความคงตัวของเครื่องมือ (Stability) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ ค่า Blank ของกระดาษกรองควอทซ์จะนำไปหักออกจากผลที่ได้ด้วย

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณธาตุคาร์บอน อินทรีย์คาร์บอน จะนำมาคำนวณเปรียบเทียบผลที่ได้จากแต่ละตัวอย่าง ค่า Coefficient of variation (C.V.) จะใช้เปรียบเทียบให้เห็นลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบใช้น้ำหนัก และใช้พื้นที่เป็นเกณฑ์ รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของทั้งสองวิธีด้วยการหา Coefficient of determination โดยใช้ระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศดำเนินการตามขั้นตอนตามที่ระบุไว้ในบทที่ 3 โดยตัวอย่างฝุ่นที่ละอองที่เก็บได้จากพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา มีจำนวนตัวอย่างพื้นที่ละ 7 ตัวอย่าง สำหรับใช้วิเคราะห์สารคาร์บอนด้วยเครื่องอิลิเมนทอลอนาไลเซอร์ ซึ่งการวิเคราะห์แบ่งเป็นการใช้พื้นที่ของตัวอย่างและการใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์

ปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก PM_{10} ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่กรุงเทพฯ มีค่าอยู่ในช่วง 0.048 – 0.088 มก.ต่อลบ.ม. ส่วนบริเวณเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่าอยู่ในช่วง 0.032 – 0.055 มก.ต่อลบ.ม. ส่วนปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้รายงานในรูปร้อยละของธาตุคาร์บอนต่อน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับสารคาร์บอนมาตรฐาน (Reference material) ตัวอย่างพื้นที่กรุงเทพฯ มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงพื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 1.63 - 3.77 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.13 – 0.39 (ตารางที่ 4.1) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 1.85 – 3.51 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.08 – 0.33 (ตารางที่ 4.2)

ตาราง 4.1 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.

ตัวอย่าง	%TC1	%TC2	%TC3	%TC4	%TC5	%TC6	%TC7	Avg.	SD
กทม.1	1.407	1.636	1.768	1.678	1.91	1.634	1.886	1.89	0.17
	1.793	2.585	2.715	2.826	2.155	2.301	1.941	1.94	0.39
	1.838	2.657	2.804	2.374	2.263	2.129	2.163	2.16	0.33
กทม.2	1.410	1.682	1.761	2.256	2.309	2.022	1.997	2.00	0.32
	1.290	1.842	1.794	2.215	1.591	2.018	2.057	2.06	0.31
	1.284	1.817	1.83	2.173	1.617	1.994	2.063	2.06	0.30
กทม.3	2.214	2.186	2.356	2.213	2.513	2.740	2.650	2.65	0.23
	2.25	2.168	2.190	2.119	2.727	2.717	2.515	2.52	0.26
	2.283	2.248	2.185	2.176	2.724	2.706	2.705	2.71	0.26
กทม.4	3.618	3.731	3.523	3.428	3.870	3.600	3.769	3.77	0.15
	3.563	3.676	3.496	3.399	3.789	3.573	3.714	3.71	0.13
	3.607	3.720	3.535	3.418	3.869	3.620	3.758	3.76	0.15
กทม.5	1.964	1.970	1.539	1.630	1.625	1.915	1.626	1.63	0.19
	1.987	1.966	1.545	1.604	1.620	1.920	1.647	1.65	0.19
	1.969	1.978	1.541	1.616	1.589	1.931	1.656	1.66	0.20

ตาราง 4.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	%TC1	%TC2	%TC3	%TC4	%TC5	%TC6	%TC7	Avg.	SD
กทม.6	3.246	3.237	3.241	3.220	3.899	3.199	3.094	3.09	0.27
	3.227	3.209	3.256	3.189	3.953	3.185	3.119	3.12	0.29
	3.256	3.220	3.190	3.178	3.940	3.257	3.078	3.08	0.29
กทม.7	1.821	1.886	2.375	2.267	2.097	2.309	2.367	2.37	0.23
	1.819	1.914	2.383	2.297	2.081	2.325	2.456	2.46	0.25
	1.796	1.904	2.389	2.291	2.104	2.383	2.408	2.41	0.25

ตาราง 4.2 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.

ตัวอย่าง	%TC1	%TC2	%TC3	%TC4	%TC5	%TC6	%TC7	Avg.	SD
กทม.1	1.7851	1.8931	2.1061	1.8061	2.2221	1.8541	1.8791	1.94	0.16
	1.6921	1.8471	1.9391	1.8381	1.9221	1.8741	1.8881	1.86	0.08
	1.6091	1.8141	1.8181	1.9131	1.9531	1.9391	1.9151	1.85	0.12
กทม.2	1.9891	1.9821	1.9331	1.9251	1.7891	1.8401	1.8361	1.90	0.08
	2.0271	1.9981	1.8821	1.8751	1.7871	1.9401	1.7661	1.90	0.10
	1.9861	2.0431	1.9491	1.9471	1.8461	1.9551	1.8251	1.94	0.08
กทม.3	2.4301	2.2331	2.0871	2.2001	2.4801	3.5301	3.4221	2.63	0.60
	2.4241	2.2251	2.1531	2.3271	2.5471	3.4691	3.3701	2.65	0.55
	2.4331	2.2551	2.1561	2.2291	2.4801	3.5251	3.3651	2.63	0.57
กทม.4	3.2441	3.6941	3.4251	3.6121	3.5091	3.7041	3.3541	3.51	0.18
	3.2461	3.6801	3.4301	3.6341	3.5451	3.7101	3.3471	3.51	0.18
	3.2041	3.6881	3.4041	3.5971	3.5431	3.7121	3.3191	3.50	0.19
กทม.5	1.8681	2.0741	1.9871	1.8981	2.0631	2.1031	1.6541	1.95	0.16
	1.8791	2.0871	2.0121	1.8821	2.0701	2.0931	1.5921	1.95	0.18
	1.8661	2.0841	2.0271	1.8741	2.0851	2.1001	1.6041	1.95	0.18
กทม.6	3.3791	3.5331	2.7371	3.6221	3.5271	3.4481	3.6741	3.42	0.32
	3.3901	3.5351	2.7101	3.5951	3.5031	3.4071	3.7021	3.41	0.33
	3.3951	3.5071	2.7121	3.6301	3.5221	3.3981	3.7491	3.42	0.33
กทม.7	2.6431	2.4991	2.5451	2.3471	2.4991	2.4661	2.5781	2.51	0.09
	2.6391	2.5071	2.5131	2.2791	2.5561	2.4741	2.5891	2.51	0.12
	2.6501	2.5321	2.5431	2.2741	2.5231	2.4561	2.5871	2.51	0.12

ตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงพื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.19 – 1.37 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.04 - 0.21 (ตารางที่ 4.3) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงน้ำหนักร้อยละอยู่ในช่วงร้อยละ 0.43 – 1.46 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.02 – 0.12 (ตารางที่ 4.4)

ตาราง 4.3 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวอย่าง	%TC1	%TC2	%TC3	%TC4	%TC5	%TC6	%TC7	Avg.	SD
นม.1	0.628	0.685	0.726	0.872	0.809	0.634	0.669	0.72	0.09
	0.6346	0.737	0.847	0.931	0.827	0.743	0.79	0.79	0.09
	0.625	0.686	0.813	0.8154	0.853	0.796	0.776	0.77	0.08
นม.2	1.236	1.432	1.198	1.291	1.251	1.258	1.291	1.28	0.07
	1.358	1.324	1.321	1.348	1.265	1.28	1.264	1.31	0.04
	1.284	1.272	1.106	1.28	1.334	1.283	1.383	1.28	0.09
นม.3	1.219	1.214	1.335	1.248	1.441	1.453	1.703	1.37	0.18
	1.208	1.257	1.315	1.291	1.416	1.456	1.586	1.36	0.13
	1.119	1.224	1.29	1.208	1.486	1.384	1.744	1.35	0.21
นม.4	0.869	0.866	0.856	0.982	0.866	0.902	0.898	0.89	0.04
	0.951	0.947	0.801	0.935	0.893	0.926	0.918	0.91	0.05
	0.845	0.804	0.845	0.959	0.839	0.92	0.841	0.86	0.05
นม.5	0.23	0.193	0.176	0.215	0.108	0.25	0.131	0.19	0.05
	0.293	0.22	0.219	0.186	0.134	0.211	0.088	0.19	0.07
	0.238	0.173	0.218	0.2454	0.155	0.164	0.113	0.19	0.05
นม.6	0.804	0.773	0.928	0.886	0.893	0.839	0.864	0.86	0.05
	0.823	0.805	0.909	0.905	0.915	0.858	0.883	0.87	0.04
	0.819	0.796	0.88	0.941	0.97	0.783	0.894	0.87	0.07
นม.7	1.365	1.316	1.349	1.191	1.263	1.261	1.285	1.29	0.06
	1.375	1.31	1.323	1.185	1.284	1.246	1.313	1.29	0.06
	1.389	1.3	1.291	1.197	1.297	1.255	1.307	1.29	0.06

ตาราง 4.4 ร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่าง จากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวอย่าง	%TC1	%TC2	%TC3	%TC4	%TC5	%TC6	%TC7	Avg.	SD
นม.1	0.9321	0.8831	0.8851	0.8431	0.8571	0.8551	0.8571	0.87	0.03
	0.8721	0.8501	0.8421	0.9421	0.8231	0.8731	0.8951	0.87	0.04
	0.9201	0.8351	0.9291	0.8451	0.8391	0.9301	0.8801	0.88	0.04
นม.2	0.7691	1.0991	0.8721	0.8681	0.9661	1.0431	0.9851	0.94	0.11
	0.8221	1.0671	0.9391	0.9191	0.9451	1.0881	1.0361	0.97	0.09
	0.8371	1.1501	0.8691	0.9081	0.9401	0.9931	0.9731	0.95	0.10
นม.3	1.1301	1.2641	1.2011	0.9188	0.8961	0.8822	0.8841	1.03	0.17
	1.1221	1.2741	1.1201	1.0401	0.9401	0.9301	0.8741	1.04	0.14
	1.1291	1.2771	1.1091	1.0341	0.8721	0.8931	0.9431	1.04	0.15
นม.4	1.0871	1.2731	1.1501	1.3051	1.1561	1.1981	1.0661	1.18	0.09
	1.1001	1.2801	1.1521	1.2821	1.0951	1.1991	1.1061	1.17	0.08
	1.0961	1.2931	1.1531	1.3191	1.1061	1.1901	1.1241	1.18	0.09
นม.5	0.4181	0.4421	0.4171	0.4271	0.4701	0.4141	0.4221	0.43	0.02
	0.4021	0.4441	0.4571	0.4191	0.4681	0.4101	0.4101	0.43	0.03
	0.4361	0.3891	0.4581	0.4261	0.4831	0.4291	0.4381	0.44	0.03
นม.6	1.2541	1.2431	1.3071	1.2581	1.0931	1.1761	0.9731	1.19	0.12
	1.2531	1.1771	1.3241	1.2101	1.1471	1.2051	0.9991	1.19	0.10
	1.1931	1.1801	1.3121	1.2331	1.1131	1.2031	0.9951	1.18	0.10
นม.7	1.3721	1.4771	1.5751	1.4751	1.3631	1.3881	1.5251	1.45	0.08
	1.3891	1.4861	1.6081	1.4661	1.3831	1.3751	1.5061	1.46	0.08
	1.3851	1.4741	1.5901	1.4961	1.3861	1.4061	1.4871	1.46	0.07

การวิเคราะห์หาธาตุคาร์บอนจากตัวอย่างพื้นที่กรุงเทพฯ มีปริมาณธาตุคาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงพื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.26 – 1.79 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 – 0.08 (ตารางที่ 4.5) ปริมาณธาตุคาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 0.26 – 1.88 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 – 0.01 (ตารางที่ 4.6)

ตาราง 4.5 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.

ตัวอย่าง	%EC1	%EC2	%EC3	%EC4	%EC5	%EC6	%EC7	Avg.	SD
กทม.1	0.617	0.614	0.616	0.612	0.617	0.612	0.617	0.62	0.00
	0.637	0.775	0.795	0.856	0.797	0.795	0.615	0.62	0.09
	0.699	0.775	0.797	0.785	0.765	0.616	0.616	0.62	0.08
กทม.1	0.617	0.614	0.616	0.612	0.617	0.612	0.617	0.62	0.00
	0.637	0.775	0.795	0.856	0.797	0.795	0.615	0.62	0.09
	0.699	0.775	0.797	0.785	0.765	0.616	0.616	0.62	0.08
กทม.2	1.009	1.008	1.009	1.009	1.007	1.008	1.013	1.01	0.00
	1.008	1.011	1.005	1.008	1.009	1.011	1.015	1.02	0.00
	1.012	1.005	1.008	1.012	1.005	1.005	1.011	1.01	0.00
กทม.3	1.398	1.396	1.391	1.396	1.391	1.398	1.395	1.40	0.00
	1.392	1.398	1.396	1.391	1.395	1.392	1.389	1.39	0.00
	1.398	1.392	1.398	1.395	1.389	1.398	1.396	1.40	0.00
กทม.4	1.045	1.047	1.051	1.047	1.045	1.047	1.039	1.04	0.00
	1.037	1.045	1.047	1.045	1.047	1.045	1.047	1.05	0.00
	1.047	1.048	1.045	1.056	1.048	1.048	1.045	1.05	0.00
กทม.5	0.378	0.373	0.375	0.378	0.375	0.372	0.375	0.38	0.00
	0.372	0.375	0.378	0.372	0.378	0.375	0.378	0.38	0.00
	0.375	0.378	0.379	0.375	0.372	0.378	0.372	0.37	0.00
กทม.6	1.186	1.187	1.186	1.184	1.189	1.186	1.184	1.18	0.00
	1.187	1.184	1.189	1.189	1.186	1.189	1.186	1.19	0.00
	1.189	1.183	1.184	1.186	1.184	1.187	1.189	1.19	0.00
กทม.7	0.635	0.632	0.635	0.633	0.639	0.635	0.632	0.63	0.00
	0.639	0.635	0.633	0.639	0.633	0.639	0.633	0.63	0.00
	0.633	0.634	0.639	0.635	0.635	0.633	0.639	0.64	0.00

ตาราง 4.6 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการใช้วิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.

ตัวอย่าง	%EC1	%EC2	%EC3	%EC4	%EC5	%EC6	%EC7	Avg.	SD
กทม.1	0.624	0.632	0.645	0.625	0.621	0.623	0.628	0.63	0.01
	0.632	0.618	0.624	0.623	0.631	0.628	0.623	0.63	0.00
	0.628	0.623	0.627	0.622	0.622	0.628	0.624	0.62	0.00
กทม.2	1.016	1.021	1.027	1.019	1.021	1.019	1.017	1.02	0.00
	1.013	1.037	1.021	1.014	1.026	1.017	1.015	1.02	0.01
	1.025	1.028	1.018	1.016	1.019	1.015	1.016	1.02	0.00
กทม.3	1.483	1.487	1.482	1.483	1.481	1.486	1.487	1.48	0.00
	1.486	1.486	1.489	1.486	1.485	1.485	1.489	1.49	0.00
	1.489	1.489	1.489	1.482	1.482	1.487	1.494	1.49	0.00
กทม.4	1.055	1.053	1.054	1.051	1.054	1.053	1.053	1.05	0.00
	1.052	1.051	1.049	1.047	1.048	1.049	1.048	1.05	0.00
	1.045	1.047	1.047	1.049	1.052	1.051	1.053	1.05	0.00
กทม.5	0.389	0.383	0.386	0.391	0.383	0.392	0.396	0.39	0.00
	0.391	0.386	0.381	0.392	0.386	0.391	0.393	0.39	0.00
	0.395	0.385	0.388	0.395	0.385	0.389	0.397	0.39	0.01
กทม.6	1.197	1.192	1.197	1.196	1.195	1.197	1.195	1.20	0.00
	1.192	1.194	1.192	1.193	1.197	1.192	1.194	1.19	0.00
	1.194	1.197	1.191	1.195	1.192	1.194	1.197	1.19	0.00
กทม.7	0.645	0.648	0.649	0.645	0.644	0.645	0.647	0.65	0.00
	0.648	0.646	0.645	0.638	0.645	0.643	0.649	0.64	0.00
	0.649	0.647	0.648	0.649	0.642	0.645	0.636	0.65	0.00

การวิเคราะห์หาธาตุคาร์บอนจากตัวอย่างพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีปริมาณธาตุคาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงพื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 – 0.84 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 – 0.01 (ตารางที่ 4.7) ปริมาณธาตุคาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 0.14 – 0.82 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 – 0.01 (ตารางที่ 4.8)

ตาราง 4.7 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวอย่าง	%EC1	%EC2	%EC3	%EC4	%EC5	%EC6	%EC7	Avg.	SD
นม.1	0.187	0.182	0.186	0.187	0.194	0.197	0.187	0.19	0.01
	0.177	0.187	0.185	0.177	0.196	0.188	0.192	0.19	0.01
	0.189	0.184	0.179	0.189	0.191	0.193	0.194	0.19	0.01
นม.2	0.595	0.596	0.594	0.586	0.595	0.593	0.586	0.59	0.00
	0.596	0.594	0.586	0.595	0.597	0.596	0.594	0.59	0.00
	0.594	0.586	0.595	0.593	0.596	0.594	0.596	0.59	0.00
นม.3	0.838	0.839	0.837	0.834	0.838	0.841	0.837	0.84	0.00
	0.834	0.836	0.839	0.841	0.834	0.837	0.834	0.84	0.00
	0.835	0.838	0.835	0.836	0.835	0.839	0.838	0.84	0.00
นม.4	0.683	0.694	0.685	0.692	0.683	0.685	0.692	0.69	0.01
	0.689	0.685	0.692	0.683	0.692	0.683	0.685	0.67	0.00
	0.684	0.692	0.683	0.685	0.689	0.692	0.683	0.69	0.00
นม.5	0.065	0.061	0.067	0.061	0.065	0.067	0.058	0.06	0.00
	0.067	0.058	0.058	0.067	0.067	0.061	0.061	0.06	0.00
	0.073	0.063	0.061	0.058	0.073	0.058	0.067	0.07	0.01
นม.6	0.177	0.175	0.166	0.175	0.177	0.169	0.169	0.17	0.00
	0.169	0.177	0.174	0.177	0.175	0.177	0.175	0.18	0.00
	0.175	0.169	0.168	0.169	0.168	0.171	0.177	0.17	0.00
นม.7	0.322	0.324	0.327	0.327	0.322	0.324	0.329	0.33	0.00
	0.325	0.322	0.324	0.322	0.324	0.322	0.324	0.32	0.00
	0.324	0.323	0.322	0.324	0.327	0.329	0.325	0.33	0.00

ตาราง 4.8 ร้อยละของปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวอย่าง	%EC1	%EC2	%EC3	%EC4	%EC5	%EC6	%EC7	Avg.	SD
นม.1	0.191	0.192	0.194	0.187	0.196	0.189	0.189	0.19	0.00
	0.187	0.195	0.188	0.198	0.186	0.191	0.193	0.19	0.00
	0.192	0.194	0.196	0.188	0.187	0.196	0.191	0.19	0.00
นม.2	0.608	0.605	0.611	0.607	0.615	0.613	0.606	0.61	0.00
	0.611	0.606	0.609	0.609	0.607	0.608	0.603	0.61	0.00
	0.606	0.608	0.608	0.611	0.613	0.615	0.604	0.61	0.00

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ตัวอย่าง	%EC1	%EC2	%EC3	%EC4	%EC5	%EC6	%EC7	Avg.	SD
นม.3	0.822	0.823	0.824	0.825	0.819	0.824	0.823	0.82	0.00
	0.816	0.813	0.819	0.817	0.827	0.819	0.813	0.82	0.00
	0.819	0.822	0.824	0.823	0.822	0.823	0.821	0.82	0.00
นม.4	0.687	0.682	0.689	0.684	0.685	0.686	0.687	0.69	0.00
	0.689	0.684	0.981	0.681	0.684	0.688	0.685	0.73	0.11
	0.685	0.683	0.687	0.688	0.683	0.689	0.683	0.69	0.00
นม.5	0.144	0.148	0.154	0.146	0.149	0.143	0.141	0.15	0.00
	0.141	0.138	0.146	0.148	0.147	0.149	0.144	0.14	0.00
	0.145	0.142	0.151	0.154	0.142	0.148	0.147	0.15	0.00
นม.6	0.174	0.175	0.176	0.183	0.182	0.185	0.173	0.18	0.00
	0.172	0.176	0.183	0.179	0.176	0.184	0.174	0.18	0.00
	0.175	0.179	0.181	0.183	0.181	0.186	0.177	0.18	0.00
นม.7	0.323	0.316	0.324	0.324	0.323	0.327	0.314	0.32	0.00
	0.324	0.325	0.327	0.313	0.324	0.324	0.325	0.32	0.00
	0.322	0.313	0.329	0.325	0.322	0.321	0.316	0.32	0.01

การวิเคราะห์หาอินทรีย์คาร์บอนจากตัวอย่างพื้นที่กรุงเทพฯ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงพื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.98 – 2.73 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.13 – 0.87 (ตารางที่ 4.9) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงพื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.20 – 2.46 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.07 – 0.60 (ตารางที่ 4.10)

ตาราง 4.9 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
กทม.1	0.790	1.022	1.152	1.066	1.293	1.022	1.269	1.27	0.17
	1.156	1.810	1.920	1.970	1.358	1.506	1.326	1.33	0.32
	1.139	1.882	2.007	1.589	1.498	1.513	1.547	1.55	0.28
กทม.2	0.401	0.674	0.752	1.247	1.302	1.014	0.984	0.98	0.32
	0.282	0.831	0.789	1.207	0.582	1.007	1.042	1.04	0.31
	0.272	0.812	0.822	1.161	0.612	0.989	1.052	1.05	0.30

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
กทม.3	0.768	0.723	0.728	0.835	1.119	1.241	1.100	1.10	0.22
	0.822	0.788	0.96	0.822	1.118	1.348	1.261	1.26	0.23
	0.852	0.776	0.792	0.724	1.338	1.319	1.119	1.12	0.26
กทม.4	2.573	2.684	2.472	2.381	2.825	2.553	2.730	2.73	0.15
	2.526	2.631	2.449	2.354	2.742	2.528	2.667	2.67	0.13
	2.560	2.672	2.49	2.362	2.821	2.572	2.713	2.71	0.15
กทม.5	1.586	1.597	1.164	1.252	1.25	1.543	1.251	1.25	0.19
	1.615	1.591	1.167	1.232	1.242	1.545	1.269	1.27	0.19
	1.594	1.600	1.162	1.241	1.217	1.553	1.284	1.28	0.19
กทม.6	2.060	2.05	2.055	2.036	2.710	2.013	1.910	1.91	0.27
	2.040	2.025	2.067	2.000	2.767	1.996	1.933	1.93	0.29
	2.067	2.037	2.006	1.992	2.756	2.07	1.889	1.89	0.29
กทม.7	1.186	1.254	1.740	1.634	1.458	1.674	1.735	1.74	0.23
	1.180	1.279	1.750	1.658	1.448	1.686	1.823	1.82	0.25
	1.163	1.270	1.750	1.656	1.469	1.75	1.769	1.77	0.25

ตาราง 4.10 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่ กทม.

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
กทม.1	1.1611	1.2611	1.4611	1.1811	1.6011	1.2311	1.2511	1.31	0.16
	0.9611	1.3211	1.1911	1.3011	1.1741	1.2011	1.2211	1.20	0.12
	0.9811	1.1911	1.1911	1.2911	1.3311	1.3111	1.2911	1.23	0.12
กทม.2	0.9731	0.9611	0.9061	0.9061	0.7681	0.8211	0.8191	0.88	0.08
	1.0141	0.9611	0.8611	0.8611	0.7611	0.9231	0.7511	0.88	0.10
	0.9611	1.0151	0.9311	0.9311	0.8271	0.9401	0.8091	0.92	0.07
กทม.3	0.9471	0.7461	0.6051	0.7171	0.9991	2.0441	1.9351	1.14	0.60
	0.9381	0.7391	0.6641	0.8411	1.0621	1.9841	1.8811	1.16	0.55
	0.9441	0.7661	0.6671	0.7471	0.9981	2.0381	1.8711	1.15	0.57

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
กทม.4	2.1891	2.6411	2.3711	2.5611	2.4551	2.6511	2.3011	2.45	0.18
	2.1941	2.6291	2.3811	2.5871	2.4971	2.6611	2.2991	2.46	0.18
	2.1591	2.6411	2.3571	2.5481	2.4911	2.6611	2.2661	2.45	0.19
กทม.5	1.4791	1.6911	1.6011	1.5071	1.6801	1.7111	1.2581	1.56	0.16
	1.4881	1.7011	1.6311	1.4901	1.6841	1.7021	1.1991	1.56	0.18
	1.4711	1.6991	1.6391	1.4791	1.7001	1.7111	1.2071	1.56	0.19
กทม.6	2.1821	2.3411	1.5401	2.4261	2.3321	2.2511	2.4791	2.22	0.32
	2.1981	2.3411	1.5181	2.4021	2.3061	2.2151	2.5081	2.21	0.32
	2.2011	2.3101	1.5211	2.4351	2.3301	2.2041	2.5521	2.22	0.33
กทม.7	1.9981	1.8511	1.8961	1.7021	1.8551	1.8211	1.9311	1.86	0.09
	1.9911	1.8611	1.8681	1.6411	1.9111	1.8311	1.9401	1.86	0.11
	2.0011	1.8851	1.8951	1.6251	1.8811	1.8111	1.9511	1.86	0.12

การวิเคราะห์หาอินทรีย์คาร์บอนจากตัวอย่างพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงพื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.28 – 1.14 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.04 – 0.21 (ตารางที่ 4.11) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยที่วิเคราะห์เชิงน้ำหนักร้อยละ 0.20 – 0.97 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.03 – 0.17 (ตารางที่ 4.12)

ตาราง 4.11 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
นม.1	0.441	0.503	0.540	0.685	0.615	0.437	0.482	0.53	0.09
	0.458	0.550	0.662	0.754	0.631	0.555	0.598	0.60	0.09
	0.436	0.502	0.634	0.626	0.662	0.603	0.582	0.58	0.08
นม.2	0.641	0.836	0.604	0.705	0.656	0.665	0.705	0.69	0.07
	0.762	0.730	0.735	0.753	0.668	0.684	0.670	0.71	0.04
	0.690	0.686	0.511	0.687	0.738	0.689	0.787	0.68	0.09
นม.3	0.381	0.375	0.498	0.414	0.603	0.612	0.866	0.54	0.18
	0.374	0.421	0.476	0.450	0.582	0.619	0.752	0.52	0.13
	0.284	0.386	0.455	0.372	0.651	0.545	0.906	0.51	0.21

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
นม.4	0.186	0.172	0.171	0.290	0.183	0.217	0.206	0.20	0.04
	0.262	0.262	0.109	0.252	0.201	0.243	0.233	0.22	0.05
	0.161	0.112	0.162	0.274	0.150	0.228	0.158	0.18	0.05
นม.5	0.165	0.132	0.109	0.154	0.043	0.183	0.073	0.12	0.05
	0.226	0.162	0.161	0.119	0.067	0.150	0.027	0.13	0.07
	0.165	0.110	0.157	0.187	0.082	0.106	0.046	0.12	0.05
นม.6	0.627	0.598	0.762	0.711	0.716	0.670	0.695	0.68	0.06
	0.654	0.628	0.735	0.728	0.740	0.681	0.708	0.70	0.04
	0.644	0.627	0.712	0.772	0.802	0.612	0.717	0.70	0.07
นม.7	1.043	0.992	1.022	0.864	0.941	0.937	0.956	0.97	0.06
	1.050	0.988	0.999	0.863	0.960	0.924	0.989	0.97	0.06
	1.065	0.977	0.969	0.873	0.970	0.926	0.982	0.97	0.06

ตาราง 4.12 ร้อยละของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ด้วยการวิเคราะห์เชิงน้ำหนักของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
นม.1	0.741	0.691	0.691	0.656	0.661	0.666	0.668	0.68	0.03
	0.685	0.655	0.654	0.744	0.637	0.682	0.702	0.68	0.04
	0.728	0.641	0.733	0.657	0.652	0.734	0.689	0.69	0.04
นม.2	0.231	0.542	0.261	0.297	0.327	0.378	0.369	0.34	0.10
	0.171	0.486	0.294	0.311	0.314	0.401	0.472	0.35	0.11
	0.231	0.511	0.261	0.281	0.271	0.369	0.451	0.34	0.11
นม.3	0.308	0.441	0.377	0.094	0.077	0.058	0.061	0.20	0.17
	0.306	0.461	0.301	0.223	0.113	0.111	0.061	0.23	0.14
	0.310	0.455	0.285	0.211	0.050	0.070	0.122	0.21	0.15
นม.4	0.400	0.591	0.461	0.621	0.471	0.512	0.379	0.49	0.09
	0.411	0.596	0.171	0.601	0.411	0.511	0.421	0.45	0.15
	0.411	0.610	0.466	0.631	0.423	0.501	0.441	0.50	0.09

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

ตัวอย่าง	%OC1	%OC2	%OC3	%OC4	%OC5	%OC6	%OC7	Avg.	SD
นม.5	0.274	0.294	0.263	0.281	0.321	0.271	0.281	0.28	0.02
	0.261	0.306	0.311	0.271	0.321	0.261	0.266	0.29	0.03
	0.291	0.247	0.307	0.272	0.341	0.281	0.291	0.29	0.03
นม.6	1.080	1.068	1.131	1.075	0.911	0.991	0.800	1.01	0.12
	1.081	1.001	1.141	1.031	0.971	1.021	0.825	1.01	0.10
	1.018	1.001	1.131	1.050	0.932	1.017	0.818	1.00	0.10
นม.7	1.049	1.161	1.251	1.151	1.040	1.061	1.211	1.13	0.08
	1.065	1.161	1.281	1.153	1.059	1.051	1.181	1.14	0.08
	1.063	1.161	1.261	1.171	1.064	1.085	1.171	1.14	0.07

ปริมาณคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ในสองลักษณะเปรียบเทียบให้เห็นได้ว่า ปริมาณธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 35.6 และ 36.2 ของตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่กรุงเทพฯ เมื่อวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ซึ่งลักษณะของค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าไม่ต่างกันมากนัก สำหรับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ร้อยละ 64.4 และ 63.7 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ในภาพรวมการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอนให้ค่า Coefficient of variation ต่ำกว่าที่ร้อยละ 18.5 ถึง 21.4 (ตารางที่ 4.13) อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ มีลักษณะที่ไม่คงตัวตามพื้นที่และเวลา (Spatial and temporal variation) (U.S.EPA, 1996) การใช้ค่า Coefficient of variation จึงเป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ทำให้เห็นการกระจายของข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนเท่านั้น

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในสองลักษณะของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาพบว่า ปริมาณธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันสูงกว่าตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่กรุงเทพฯ โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 41.2 และ 42.2 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ซึ่งคล้ายกับลักษณะของค่าเฉลี่ยที่ได้ของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ร้อยละ 58.8 และ 57.8 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ แต่ในภาพรวมของทั้งสองวิธีค่า Coefficient of variation ของการวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนต่ำกว่าของธาตุคาร์บอนที่สูงประมาณร้อยละ 52.5 ถึง 59.3 (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบสัดส่วนของธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวอย่าง	%ECarea	%ECweight	%OCarea	%OCweight
กทม.1	30.9	33.5	69.1	66.5
กทม.2	49.7	53.4	50.3	46.6
กทม.3	53.1	56.1	46.7	43.8
กทม.4	27.9	30.0	72.1	70.0
กทม.5	22.8	20.0	77.2	80.0
กทม.6	38.3	35.0	61.7	65.0
กทม.7	26.3	25.7	73.7	74.3
ค่าเฉลี่ย	35.6	36.2	64.4	63.7
S.D.	11.9	13.6	11.9	13.6
C.V.	33.2	37.6	18.5	21.4

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบสัดส่วนของธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวอย่าง	%ECarea	%ECweight	%OCarea	%OCweight
นม.1	24.8	21.9	75.2	78.1
นม.2	45.7	63.8	54.3	36.2
นม.3	61.5	79.3	38.5	20.7
นม.4	77.3	59.4	22.7	40.6
นม.5	33.7	33.8	66.3	66.2
นม.6	20.0	15.1	80.0	84.9
นม.7	25.1	22.1	74.9	77.9
ค่าเฉลี่ย	41.2	42.2	58.8	57.8
S.D.	21.5	25.0	21.5	25.0
C.V.	52.2	59.3	36.5	43.3

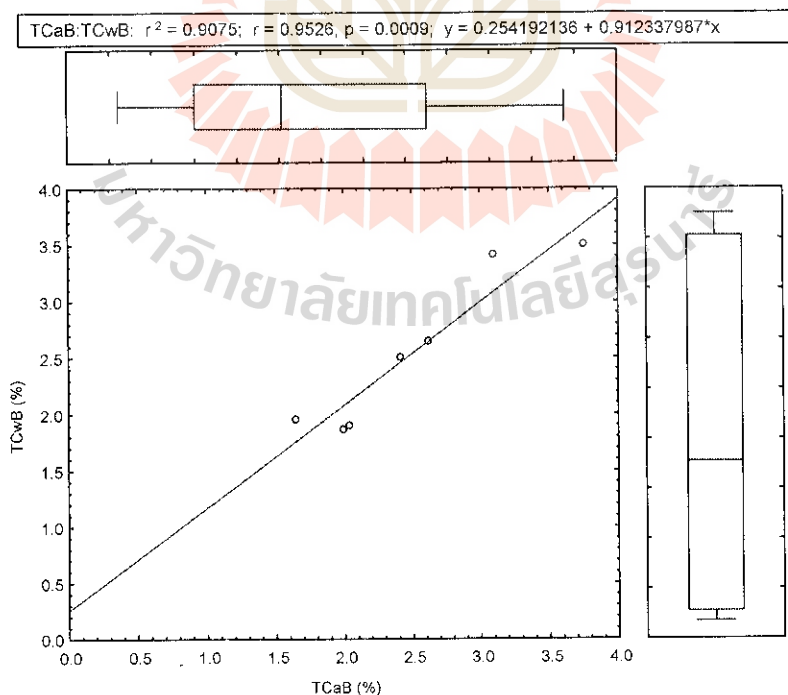
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่เป็นเกณฑ์จะมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์สำหรับตัวอย่างจากกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา โดยค่าความแตกต่างสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอนของทั้งสองพื้นที่

มีค่าอยู่ในช่วง 1.7 – 2.4% และค่าความแตกต่างสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของทั้งสองพื้นที่ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.7 - 2.3% ตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ มีค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

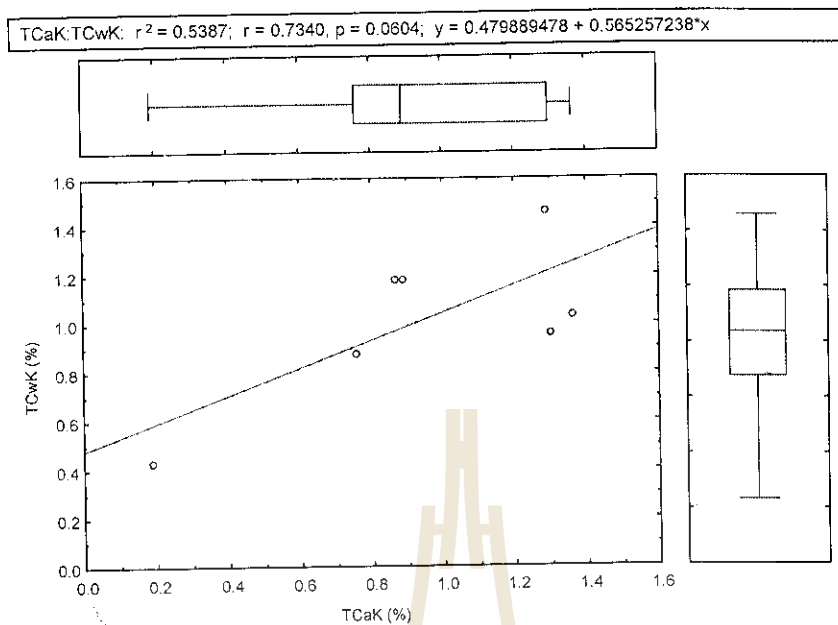
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) จากการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักและพื้นที่เป็นเกณฑ์พบว่า ตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่กรุงเทพมหานคร เมื่อวิเคราะห์ด้วยสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ($r^2 = 0.91$, $p < 0.05$) (รูปที่ 4.1) แต่ตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาวิธีเมื่อวิเคราะห์ด้วยสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง ($r^2 = 0.54$, $p > 0.05$) (รูปที่ 4.2)

สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) จากการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักและพื้นที่เป็นเกณฑ์พบว่า ตัวอย่างจากสองพื้นที่ คือ กรุงเทพมหานคร และเทศบาลนครนครราชสีมาที่วิเคราะห์ด้วยสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ($r^2 = 0.99$, $p < 0.05$) (รูปที่ 4.3 และ 4.4)

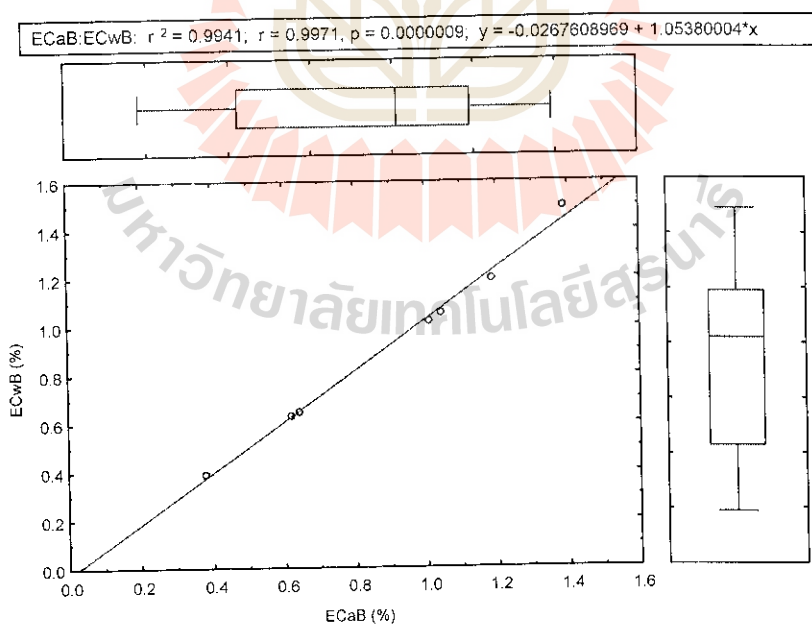
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) จากการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักและพื้นที่เป็นเกณฑ์พบว่า ตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่กรุงเทพมหานคร เมื่อวิเคราะห์ด้วยสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ($r^2 = 0.86$, $p < 0.05$) (รูปที่ 4.5) แต่ตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาวิธีเมื่อวิเคราะห์ด้วยสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ ($r^2 = 0.45$, $p > 0.05$) (รูปที่ 4.6)



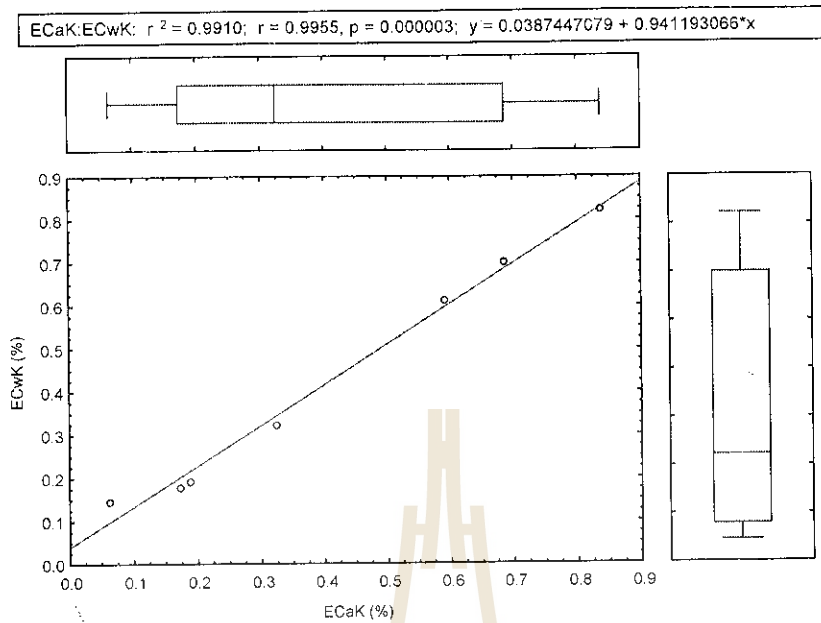
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ของตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพมหานคร



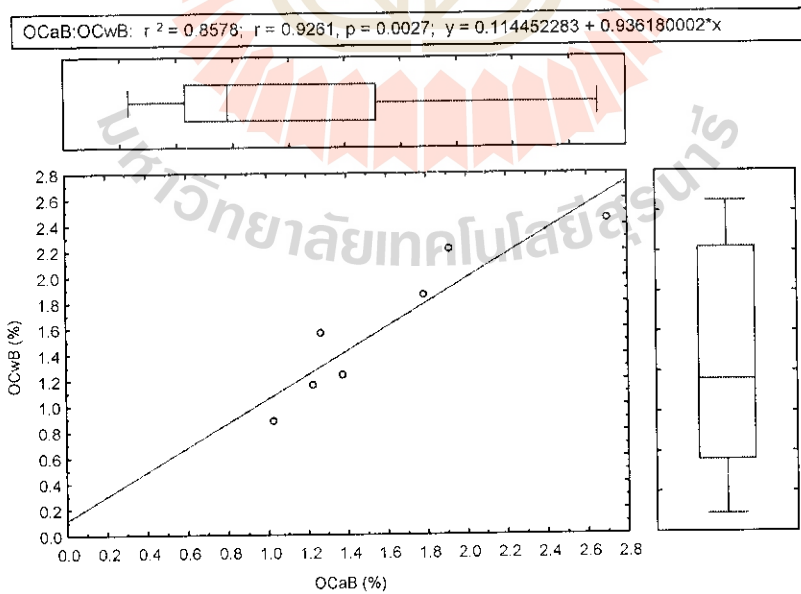
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนคร นครราชสีมา



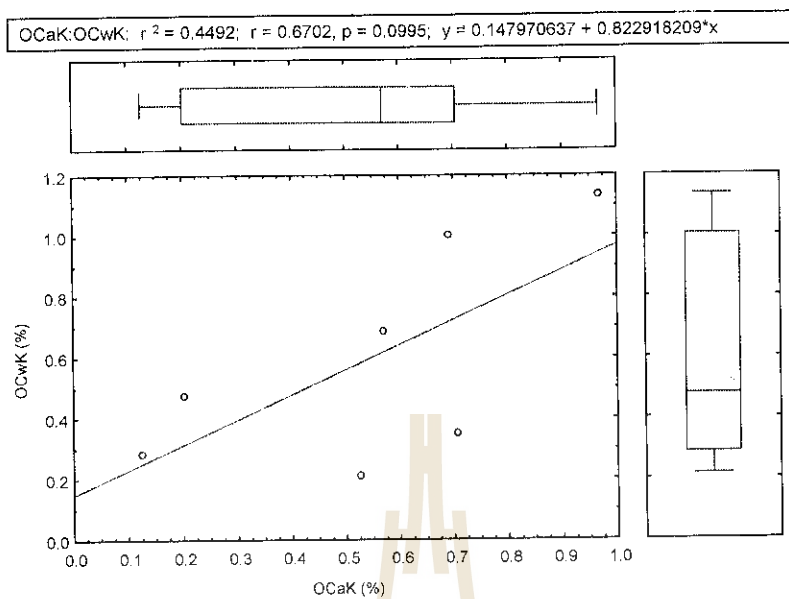
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ของตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนคร นครราชสีมา



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ของตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนคร นครราชสีมา

บทที่ 5

การวิเคราะห์และสรุปผล

การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและกลุ่มธาตุคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ในบรรยากาศมีความเป็นไปได้ด้วยการใช้เครื่องอิลิเมนทอล อนุไลเซอร์ (Elemental analyzer) ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยหลักการทำงานที่ใช้ความร้อนในการทำให้สารคาร์บอนในตัวอย่างถูกออกซิไดซ์กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณคาร์บอนจะถูกตรวจวัดด้วยอุปกรณ์อินฟราเรดเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนในสารมาตรฐานคาร์บอน (Reference material) ที่ทำการวิเคราะห์ในช่วงเริ่มต้นการทดสอบเป็นสิ่งอ้างอิงด้านปริมาณ ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องมือวิเคราะห์ทั่วไป ทั้งนี้ เทคนิคที่เพิ่มเติมของการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เป็นการเลือกใช้สารมาตรฐานคาร์บอนที่มีปริมาณค่อนข้างต่ำกว่าที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาธาตุทั่วไป ด้วยเหตุนี้ การประยุกต์ใช้เครื่องอิลิเมนทอล อนุไลเซอร์ จึงเป็นทางเลือกที่ทำให้เห็นว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนและกลุ่มธาตุคาร์บอนสามารถทำได้

ประสิทธิภาพของวิธีการและเครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบด้วยการเลือกใช้ตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} จากพื้นที่ที่มีระดับของการปนเปื้อนในบรรยากาศในระดับสูงและปานกลาง คือพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งการทดสอบความสามารถของวิธีการและเครื่องมือวิเคราะห์แบ่งเป็นการจำแนกหาปริมาณธาตุคาร์บอน (EC) อินทรีย์คาร์บอน (OC) และทำให้สามารถหาคาร์บอนทั้งหมด (TC) ได้ด้วย ซึ่งการวิเคราะห์ได้ดำเนินการในสองลักษณะคือ การวิเคราะห์โดยอาศัยน้ำหนักตัวอย่างเป็นเกณฑ์ และใช้พื้นที่ตัวอย่างเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้ การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการและเครื่องมือวิเคราะห์สรุปได้ว่า

เครื่องอิลิเมนทอล อนุไลเซอร์มีขีดความสามารถในการประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ที่เก็บบนกระดาษกรองชนิดควอทซ์ได้ แต่ตัวอย่างที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือนี้ควรเป็นตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างสูง เช่น พื้นที่บริเวณริมถนนของกรุงเทพฯ เป็นต้น ซึ่งมีระดับมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่ค่อนข้างหลากหลายโดยเฉพาะมลพิษจากการจราจรหนาแน่น เนื่องจากลักษณะของเครื่องมือที่นิยมใช้กับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นในระดับที่สูงกว่าการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น ตัวอย่างถ่าน ดิน เป็นต้น การวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนแบบใช้น้ำหนักและพื้นที่เป็นเกณฑ์มีค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันมากนัก โดยความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุคาร์บอนของทั้งสองพื้นที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.7 - 2.4% และค่าความแตกต่างสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ

อินทรีย์คาร์บอนของทั้งสองพื้นที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.7 - 2.3% การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในสองลักษณะของตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาพบว่า ปริมาณธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันสูงกว่าตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่กรุงเทพฯ โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 41.2 และ 42.2 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ซึ่งคล้ายกับลักษณะของค่าเฉลี่ยที่ได้ของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ร้อยละ 58.8 และ 57.8 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ

ในภาพรวมพบว่าระดับคาร์บอนในฝุ่นละออง PM₁₀ โดยเฉลี่ยที่ทำการวิเคราะห์ได้มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 4 ของตัวอย่างเท่านั้น (ตารางที่ 5.1) และมีค่าเฉลี่ยประมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 2.508 ± 0.056 และ 2.543 ± 0.016 เมื่อวิเคราะห์แบบใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยประมาณธาตุคาร์บอนเท่ากับ 0.894 ± 0.003 และ 0.916 ± 0.001 เมื่อวิเคราะห์แบบใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยประมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 1.613 ± 0.059 และ 1.627 ± 0.016 เมื่อวิเคราะห์แบบใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ โดยตัวอย่างจากพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 1.5 ของตัวอย่าง (ตารางที่ 5.2) และมีค่าเฉลี่ยประมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 0.950 ± 0.010 และ 1.017 ± 0.007 เมื่อวิเคราะห์แบบใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยประมาณธาตุคาร์บอนเท่ากับ 0.409 ± 0.001 และ 0.424 ± 0.005 เมื่อวิเคราะห์แบบใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยประมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 0.541 ± 0.010 และ 0.593 ± 0.011 เมื่อวิเคราะห์แบบใช้พื้นที่และน้ำหนักเป็นเกณฑ์ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณคาร์บอนแต่ละกลุ่มจากตัวอย่างพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวอย่าง	AvgTCaB ±SD	AvgTCwB ±SD	AvgECaB ±SD	AvgECwB ±SD	AvgOCaB ±SD	AvgOCwB ±SD
กทม.1	1.997 ±0.147	1.869 ±0.059	0.616 ±0.001	0.626 ±0.002	1.381 ±0.147	1.243 ±0.057
กทม.2	2.039 ±0.036	1.911 ±0.022	1.013 ±0.002	1.020 ±0.000	1.026 ±0.037	0.891 ±0.022
กทม.3	2.623 ±0.098	2.648 ±0.015	1.392 ±0.003	1.486 ±0.002	1.225 ±0.111	1.159 ±0.017
กทม.4	3.747 ±0.029	3.505 ±0.009	1.044 ±0.004	1.051 ±0.002	2.703 ±0.033	2.454 ±0.009
กทม.5	1.643 ±0.015	1.948 ±0.002	0.375 ±0.003	0.389 ±0.001	1.268 ±0.017	1.559 ±0.002
กทม.6	3.097 ±0.021	3.413 ±0.006	1.186 ±0.003	1.194 ±0.001	1.911 ±0.022	2.219 ±0.005
กทม.7	2.410 ±0.045	2.510 ±0.001	0.635 ±0.004	0.645 ±0.001	1.776 ±0.044	1.864 ±0.001
ค่าเฉลี่ย	2.508 ±0.056	2.543 ±0.016	0.894 ±0.003	0.916 ±0.001	1.613 ±0.059	1.627 ±0.016

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณคาร์บอนแต่ละกลุ่มจากตัวอย่างพื้นที่เทศบาลนคร นครราชสีมา

ตัวอย่าง	AvgTCaK ±SD	AvgTCwK ±SD	AvgECaK ±SD	AvgECwK ±SD	AvgOCaK ±SD	AvgOCwK ±SD
นม.1	0.757 ±0.007	0.876 ±0.007	0.188 ±0.001	0.191 ±0.000	0.569 ±0.007	0.684 ±0.006
นม.2	1.298 ±0.016	0.956 ±0.016	0.593 ±0.001	0.609 ±0.002	0.705 ±0.015	0.347 ±0.017
นม.3	1.362 ±0.011	1.035 ±0.009	0.837 ±0.000	0.821 ±0.003	0.525 ±0.011	0.214 ±0.011
นม.4	0.889 ±0.023	1.178 ±0.005	0.687 ±0.000	0.700 ±0.024	0.202 ±0.023	0.478 ±0.028
นม.5	0.189 ±0.004	0.432 ±0.004	0.064 ±0.001	0.146 ±0.001	0.125 ±0.005	0.286 ±0.003
นม.6	0.865 ±0.009	1.183 ±0.007	0.173 ±0.002	0.179 ±0.001	0.692 ±0.008	1.005 ±0.008
นม.7	1.291 ±0.000	1.458 ±0.004	0.324 ±0.000	0.322 ±0.001	0.966 ±0.001	1.136 ±0.004
ค่าเฉลี่ย	0.950 ±0.010	1.017 ±0.007	0.409 ±0.001	0.424 ±0.005	0.541 ±0.010	0.593 ±0.011

ความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักเปรียบเทียบกับการใช้พื้นที่เป็นเกณฑ์ มีความสอดคล้องกันสำหรับตัวอย่างจากพื้นที่กรุงเทพฯ เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of determination - r^2) ที่มีค่าประมาณ 0.91, 0.99 และ 0.86 สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ชาติคาร์บอน และอินทรีย์คาร์บอน ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา โดยความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักเปรียบเทียบกับการใช้พื้นที่เป็นเกณฑ์ของตัวอย่างจากพื้นที่นี้มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางสำหรับคาร์บอนทั้งหมด ($r^2 = 0.54$, $p > 0.05$) และระดับต่ำสำหรับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ($r^2 = 0.45$, $p > 0.05$) แต่ความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์ทั้งสองกลับสูงสำหรับการหาปริมาณชาติคาร์บอน ($r^2 = 0.99$, $p < 0.05$) ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์สำหรับหาปริมาณชาติคาร์บอนอยู่ในระดับดีมากสำหรับตัวอย่างจากทั้งสองพื้นที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคาร์บอนที่มีความคงตัว (ชาติคาร์บอน) จะเหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอิลิเมนทอล อนุไลเซอร์มากกว่ากลุ่มอินทรีย์คาร์บอนที่กระบวนการวิเคราะห์ต้องผ่านการให้ความร้อนกับตัวอย่างในระดับประมาณ 350 องศาเซลเซียสในตู้ให้ความร้อนก่อนที่จะนำเข้าเครื่องวิเคราะห์ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกกำจัดออกก่อนได้ง่าย ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นอุปสรรคที่ทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนยังคงเป็นปัญหาเช่นเดียวกับผลการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ที่รายงานโดย Gelencsér (2004) ซึ่งเครื่องมือเฉพาะที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่นิยมในปัจจุบัน คือ เครื่อง Thermal-optical carbon analyzer ที่มีการใช้แสงมาช่วยในช่วงของการจำแนกระยะที่อินทรีย์คาร์บอนถูกกำจัดออกไปด้วยความร้อน ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ลดลง อย่างไรก็ตาม เครื่องมือดังกล่าวไม่มีใช้ในประเทศ ดังนั้น การวิเคราะห์ในลักษณะนี้จำเป็นต้องหาแนวทางเพิ่มเติม เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นหากต้องการใช้เครื่องอิลิเมนทอล อนุไลเซอร์สำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ (2547). *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2546*. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ (2548). *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2547*. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
- Abu-Allaban, M., Gertler, A.W., and Lowenthal, D.H. (2002). A preliminary apportionment of the sources of ambient PM₁₀, PM_{2.5}, and VOCs in Cairo, *Atmospheric Environment*, 36: 5549-5557.
- Aulgnier, F., Sarde-Esteve, R., Cachier, H., and Chazette, P. (2001). Comparison of different analyzers for carbonaceous aerosols and application to field experiments. *J. of Aerosol Science*. 32(Supl. 1): 1007-1016.
- Benner, W. H.; Hansen, A. D. A.; and Novakov, T. (1989); A concurrent-flow colud chanber study of incorporation of black carbon into droplets. *Aerosol Science and Technology*, 10: 84-92.
- Bond, T., Venkataraman, C., and Masera, O. (2004). Global atmospheric impacts of residential fuels. *Energy for Sustainable Development*, 8(3): 20-32.
- Borja-Aburto, V., Loomis, D., Bangdiwala, S., Shy, C., and Rascon-Pacheco, R. (1997). Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City. *American Journal of Epidemiology*, 145: 258-268.
- Castro, L. M., Pio, C. A., Harrison, R. M. *et al.* (1999). Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations, *Atmospheric Environment*, 33: 2771–2781.
- Chen, W., and Wang, C. (1997). An assessment of source contributions to ambient aerosols in Central Taiwan. *J. of Air and Waste Management Association*, 47:501-509
- Chow, J.C., Watson, J.G., Pritchett, L.C., Pierson, W.R., Frazier, C.A., and Purcell, R.G. (1993). The DRI thermal-optical reflectance carbon analysis system—Description, evaluation and applications in United States air quality studies, *Atmospheric Environment*, 27A: 1185-1201.

- Chuersuwan, N. (1996). *The Rutgers/OGI in situ carbon analyzer for the measurement of carbonaceous aerosol in Ambient Air*. M.S. Thesis. Rutgers, The State University of New Jersey, 129 pp.
- Delfino, R. J., Becklake, M.R., Hanley, J.A. (1994). The relationship of urgent hospital admissions for respiratory illnesses to photochemical air pollution levels in Montreal. *Environmental Research*: 67(1): 1-19.
- Gelencsér, A. (2004). *Carbonaceous aerosol*. 350 pp., Springer, MA., USA.
- Grosjean, D. (1992). In situ organic aerosol formation during a smog episode: Estimated production and chemical functionality', *Atmos. Environ.* 26A: 953–963.
- Herrick, R.A., and Smith, R.G. (2003). *Instrument Engineers' Handbook, Volume 1, Process Measurement and Analysis*, 4th Edition, Liptak, B.G. Editor, CRC Press. LLC, Boca Raton, Florida.
- Hildemann, L. M. Rogge, W. F., Cass, G. R. *et al.* (1996). Contribution of primary aerosol emissions from vegetation-derived sources to fine particle concentrations in Los Angeles, *J. Geophys. Res.* 101: 19541–19549.
- IPCC, 2001. *Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001*. Cambridge University Press. New York.
- Jacobson, M Z. (2001). Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, 409: 695–697.
- Janssen, N. A. H.; Hoek, G.; Harssema, H.; Brunekreef, B. (1997) Childhood exposure to PM₁₀: relation between personal, classroom, and outdoor concentrations. *Occup. Environ. Med.* 54: 888-894.
- Lena, T.S., Ochieng, V., Carter, M., Holguin-Veras, J., Kinney, P.L. (2002). Elemental carbon and PM_{2.5} levels in an urban community heavily impacted by truck traffic. *Environmental Health Perspectives*, 110: 1009-1015.
- Maisonet., M., Carrera, A., Misra, D., Jaakkola, J.J.K. (2004). A review of the literature on the effects of ambient air pollution on fetal growth. *Environmental Research*, 69(1): 106-115.
- Matsumoto, K., Hayano, T., and Uematsu, M. (2003). Positive artifact in the measurement of particulate carbonaceous substances using an ambient carbon particulate monitor. *Atmospheric Environment*, 37(33): 4713-4717.

- Menon S, Hansen J, Nazarenko L *et al.*, (2002). Climate effects of black carbon aerosols in China and India. *Science*, 297: 2250–2253.
- Molnár A, Mészáros E, Hansson H C *et al.*, (1999). The importance of organic and elemental carbon in the fine atmospheric aerosol particles. *Atmospheric Environment*, 33: 2745–2750.
- Ostro, B.D., Sanchez, J.M., Aranda, C., and Eskeland, G. (1995). Air pollution and mortality: Results from a study in Santiago, Chile. *J. Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 6: 97-114.
- Ostro, B., Chestnut, L., Vichit-Vadakan, N., and Laixuthai, A. (1999). The impact of particulate matter on daily mortality in Bangkok, Thailand, *J. Air and Waste Management Association*, 49: PM-100-107.
- Penner, J.E., Andreae, M., Annegarn, H., Barrie, L, Feichter, J., Hegg, D., Jayaraman, A., Leaitch, R., Murphy, D., Nganga, J., and Pitari, G. (2001). *Aerosol, their direct and indirect effects*, in *Climate change 2001. The scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Pope, C.A. III, Bates, D.V., Raizenne, M.E. (1995). Health effects of particulate air pollution: Time for reassessment? *Environmental Health Perspective* 103: 472-479.
- Radiant International LLC. (1998). *PM abatement strategy for the Bangkok Metropolitan Area*, Final Report Volume I – Report.
- Reichhardt, T. (1995). Weighting the health risks of airborne particulates. *Environmental Sciences and Technology* 29: 360A-364A.
- Rogge, W. F.; Hildemann, L. M.; Mazurek, M. A.; Cass, G. R.; Simoneit, B. R. T. (1991); Sources of fine organic aerosol; 1. Charbroilers and meat cooking operations; *Environmental Science and Technology*, 25: 1112-1125.
- Rogge, W. F.; Mazurek, M. A.; Hildemann, L. M.; Cass, G. R.; and Simoneit, B. R. T. (1993); Quantification of urban organic aerosols at a molecular level; identification, abundance and seasonal variation; *Atmospheric Environment*; 27A:1309-1330.
- Schauer, J., Rogge, W., Hildemann, L. *et al.* (1996) Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers, *Atmospheric Environment*, 30: 3837–3855.

- Schnell, R.C., and Vali, G. (1972). Atmospheric ice nuclei from decomposing vegetation. *Nature*, 236: 163-165.
- Schwartz, J., and Dockery, D.W. (1992). Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Amer. Rev. Resp. Disease* 14: 600-604.
- Seemayer, N. H.; Hornburg, C.; Hadnagy, W. (1994); Comparison genotoxicity testing of airborne particulates using rodent tracheal epithelial cell and human lymphocytes in vitro; *Toxicology Letters*; 72:95-103.
- Stoffyn, E. P., Potter, T. M., Leonard, J. D. *et al.* (1997). The identification of black carbon particles with the analytical scanning electron microscope: methods and initial results, *Atmos. Environ.* 198: 211–223.
- Sue, W. H.; Zhang, Q. P.; Song, W. Z.; Luo, C.; and Siu, Y. F. (1989). Problems of soot pollution and environmental effects in Northern China; *Aerosol Science and Technology*; 10:231-235.
- Turpin, B.J., Huntzicker, J.J., Hering, S.V. (1994). Investigation of organic aerosol sampling artifacts in the Los-Angeles basin. *Atmospheric Environment*, 28 (19): 3061–3071.
- Turpin B J, Huntzicker J J, (1995). Identification of secondary aerosol episodes and quantification of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS[J]. *Atmospheric Environment*, 29: 3527–3544.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1996). *Air Quality Criteria For Particulate Matter*, Volume I; Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Criteria Document on Particulate Matter (PM_{2.5})*, Office of Research and Development, Washington, D.C., USA.
- Watson, J.G., Chow, J.C., and Houck, J.E. (2001). PM_{2.5} chemical source profiles for vehicle exhaust, vegetable burning, geological material, and coal burning in Northwestern Colorado during 1995. *Chemosphere* 43: 1141-1151.
- Williams, R.; Creason, J.; Zweidinger, R.; Watts, R.; Sheldon, L.; Shy, C. (2000) Indoor, outdoor, and personal exposure monitoring of particulate air pollution: the Baltimore elderly epidemiology-exposure pilot study. *Atmospheric Environment*. 34: 4193-4204.

Wilson, W.E., and Suh, H.H. (1997). Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiological studies. *J. Air and Waste Management Association* 47: 1238-1249.

Zhang M G. (2004). Modeling of organic carbon aerosol distributions over East Asia in the springtime. *China Particuology*, 2(5): 192–195.

Zhang M G, Xu Y Y, Zhang R J *et al.*, (2005). Emission and concentration distributions of black carbon aerosol in East Asia during the spring time, *Chinese Journal of Geophysics*, 48(1): 55–61.



ประวัติผู้วิจัย

นายนเรศ เชื้อสุวรรณ จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยมหิดล และเป็นนักเรียนทุนรัฐบาล (กพ.) ไปศึกษาจนจบระดับบัณฑิตศึกษาจาก Rutgers, The State University of New Jersey ณ Department of Environmental Sciences เคยรับราชการในสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม) และกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

