บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาหาชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์แบบกระจายพลังงาน ของบริษัท Oxford รุ่น ED2000 ซึ่งสามารถทำงานในระบบอากาศ สุญญากาศ และ ก๊าซฮีเลียม พลังงานที่ใช้กระตุ้นมีแหล่งกำเนิดมาจากหลอดเรืองรังสีเอกซ์ ช่วงพลังงาน 4-50 keV และใช้หัววัด Si(Li) ที่มีระบบขยายสัญญาณแบบเพนตาเฟต

การทดลองได้ทำการปรับเทียบเครื่องมือด้วยชุดสารมาตรฐานดิน 8 ชนิด คือ GBW07401, GBW07402, GBW07403, GBW07404, GBW07405, GBW07406, GBW07406, GBW07407 และ GBW07408 โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพเพื่อหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบในการปรับเทียบนี้ได้ใช้สภาพแวดล้อมใน Chamber เป็นสูญญากาศ เนื่องจากระบบอากาศ ภายในอากาศจะมีธาตุที่ปนอยู่ในอากาศ เช่น อาร์กอน ซึ่งจะมีผลต่อการดูดกลืนรังสีเอกซ์และเกิดพีกที่รบกวนธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ สำหรับสภาวะต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆเป็นดังนี้

สภาวะ Very light element	วิเคราะห์ธาตุ Al, Si, K และ Ca
สภาวะ Medium	วิเคราะห์ธาตุ Ni, Cu, Zn, As, P, S, Cl และ Br
สภาวะ Steel	วิเคราะห์ธาตุ Sc, Ti, V, Cr, Mn และ Fe
สภาวะ Heavy Trace element	วิเคระห์ธาตุ Pb
สภาวะ V.heavy element	วิเคราะห์ธาตุ Sb, Cs และ Ba

ในการเลือกใช้ชุดสารมาตรฐานดินในการปรับเทียบเครื่องมือเนื่องมาจากสารมาตรฐานเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของธาตุแต่ละธาตุที่ครอบคลุมทำให้การปรับเทียบมีความถูกต้องมากขึ้นและดินนั้นก็เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นในบรรยากาศอีกด้วย

จากการวิเคราะห์คุณภาพสารมาตรฐานดินดังภาพที่ 20-23 จะเห็นได้ว่าธาตุแต่ละธาตุจะปรากฏพีกที่เด่นชัดในแต่ละสภาวะที่แตกต่างกันเนื่องจากรังสีเอกซ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิดจะมีพลังงานไม่เท่ากันดังนั้นการกระตุ้นให้ธาตุปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาจึงต้องกำหนดสภาวะที่เหมาะสมจึงจะได้พีกที่ชัดเจนและถูกต้องง่ายแก่การวิเคราะห์

จากผลการทดลองเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในสารมาตรฐานดินจะเห็นได้ว่า ค่า Lower Limit of Detection ของธาตุ P S Cl และ Cs สูงมากซึ่งเป็นที่ยอมรับไม่ได้ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกิดการซ้อนทับระหว่างสเปคตรัมของธาตุที่มีพลังงานใกล้เคียงจึงทำให้ค่า L.L.D สูง

สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นจากการคำนวณกับความเข้มที่ระบุในสารมาตรฐานดิน ธาตุโดยส่วนใหญ่มีกราฟที่ดี เช่น K Ti และ Fe เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้จากค่า Standard Error ที่ ต่ำ แต่มีบางธาตุ เช่น P S Cl และ Cs ซึ่งกราฟมาตรฐานไม่ดีคือ ค่า Standard Error สูงดังนั้นจึงส่งผลต่อค่า L.L.D ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การแก้ไขนั้นสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนสภาวะในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งลักษณะของสารมาตรฐานและตัวอย่างฝุ่นละอองเป็น Thin film ดังนั้นในการวิเคราะห์จะไม่มีผลรบกวนอันเนื่องมาจาก Metrix effect (สัมพันธ์ วงศ์นาวา, 2541)ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สภาพแวดล้อมใน Chamber เป็น ก๊าซฮีเลียมซึ่งจำทำให้ค่า L.L.D ดีขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น (Samek, Injuk, Espenand, Grieken, 2002) และเนื่องจากถ้าใช้เป็นระบบสูญญากาศจะทำเกิดความเสียหายต่อแผ่นกรอง ถ้าใช้เป็นอากาศจะเกิดการรบกวนเนื่องจากในอากาศมีธาตุอื่นปะปนอยู่ สภาวะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ พิจารณาจากค่า L.L.D เป็นดังนี้

สภาวะ	Very light liquid	วิเคราะห์ธาตุ	Mg, Al, Si, P, S, Cl และ K
สภาวะ	Liquid A	วิเคราะห์ธาตุ	Ca
สภาวะ	Liquid B	วิเคราะห์ธาตุ	Sc, Ti, V, Cr, Ni และ Cu
สภาวะ	General liquid	วิเคราะห์ธาตุ	Mn, Fe, Zn, As, Br, Sb, Cs, Ba และPb

ในการวิเคราะห์คุณภาพสารมาตรฐานฝุ่นละอองต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 28-35 จะเห็นได้ว่า พีกของสารมาตรฐานเห็นได้เด่นชัดทุกสารมาตรฐานทั้งนี้เนื่องมาจากในสารมาตรฐานนั้นโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุเดียวและความเข้มข้นเดียวอยู่บนแผ่นกรอง ซึ่งมีลักษณะเป็น Thin film

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารมาาตรฐานฝุ่นละอองในการศึกษาครั้งนี้ต้องทำการจำลองกราฟเพื่อการวิเคราะห์ฝุ่นละอองโดยใช้โปรแกรมของเครื่องมือ กล่าวคือ ในการสร้างกราฟมาตรฐานโดยทั่วไป สารมาตรฐานจะต้องประกอบด้วย ความเข้มข้นมากกว่า 1 ค่า แต่ในสารมาตรฐานฝุ่นละอองนี้มีความเข้มข้นเพียงค่าเดียวในแต่ละธาตุบนแผ่นกรอง ซึ่งในทางทฤษฎี แล้ว การวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีลักษณะเป็น Thin film สามารถทำได้โดยนำสารตัวอย่างมาทำการวัดและบันทึกค่า cps ที่ได้ และนำค่า cps ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า cps ของสารมาตรฐานก็จะทราบค่าความเข้มข้นของธาตุนั้น ๆ ได้ แต่ในการทดลองนี้ใช้เครื่อง EDXRF ED 2000 จำเป็นต้องสร้าง

กราฟมาตรฐานจำลองขึ้นมาโดยเป็นกราฟเส้นตรง ผ่านจุด 2 จุดคือ จุดที่ 1 เป็นจุดบริเวณความเข้มข้นของสารมาตรฐานนั้น และจุดที่ 2 คือจุด ศูนย์ จุดศูนย์นี้เกิดจากการกำหนดค่าความเข้มข้นของ Blank standard เป็นศูนย์ ดังนั้นจะทำให้ได้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรงเพื่อเครื่องจะนำไปประมวลผลต่อไป

จากการตรวจสอบความถูกต้องของกราฟมาตรฐานจำลองที่สร้างขึ้นโดยนำสารมาตรฐานนั้นมาทำการวัดโดยวิธีการที่สร้างขึ้นนั้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ ความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ ธาตุ Sb มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.51 % และค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ ธาตุ Zn มีค่า 0.17 %

สถิติที่ใช้ในการทดลองนั้น ใช้สถิติจากการคำนวณจากเครื่องมือ ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่อง EDXRF ED 2000 ที่สามารถนำข้อมูลต่าง ๆมาประมวลผลทางสถิติได้อย่างถูกต้อง ซึ่งผลทางสถิติที่ได้เช่น Standard error , ค่า L.L.D เป็นต้น ซึ่งสถิติเหล่านี้สามารถตรวจสอบได้เช่น ค่า Standard error สามารถคำนวณได้จาก สูตร

$$\text{Standard error} = \sqrt{\sum((\text{Xi}- \text{Xav})^2/(n-1))}$$

ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาคำนวณและได้ผลตรงตามที่เครื่องแสดงซึ่งจะเป็นการลดเวลาในการคำนวณได้เป็นอย่างดี

จากผลการหาค่า Lower Limit of Detection (L.L.D) จากการวัดสารมาตรฐานฝุ่นละออง พบว่าค่า L.L.D ของธาตุทั้งหมดอยู่ในระดับ ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร โดยค่าต่ำสุดได้แก่ธาตุ S, Ca, Cr, Mn และ Ni มีค่า 0.01ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร และค่าสูงสุดได้แก่ธาตุ Pb มีค่า 8.11 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร

เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บมาจากหมู่บ้านหัวฝาย จังหวัด ลำปาง ซึ่งตัวอย่างฝุ่นมี 2 ชนิด คือฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (fine) และฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมโครเมตร โดยทำการเก็บตั้งแต่เดือน มกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2543 ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12-17 และภาพที่ 40-52

จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศสำหรับปัญหาฝุ่นละอองในพื้นที่แม่เมาะจังหวัดลำปางในปี พ.ศ. 2543 พบว่าสถานการณ์ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) อยู่ในสถานการณ์ที่น่าเป็นห่วง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) เนื่องจากปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเกินค่ามาตรฐานมากโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ปี 2543 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่งโมงสูงสุดเกินมาตรฐาน 4.3 เท่าและมีจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานในเดือนมีนาคม ถึงร้อยละ 65 จะเห็นได้ว่ากรมควบคุมมลพิษทำการตรวจวิเคราะห์เฉพาะฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรแต่การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร และ ขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นฝุ่นที่จะทำอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ได้มากกว่าเนื่องจากฝุ่นที่มีขนาด 5-30 ไมโครเมตรจะตกค้างอยู่บริเวณจมูกและคอหอย ฝุ่นที่มีขนาด 1-10 ไมโครเมตรจะตกค้างบริเวณคอหอยและหลอดลมและฝุ่นที่มีขนาด 1 ไมโครเมตรและเล็กกว่าจะตกค้างบริเวณถุงลมปอด (มาริษา เพ็ญสุต ภู่ภิญโญ, 2542 อ้างอิงจาก Casarett, 1974)

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า จากภาพที่ 41 ซึ่งเป็นกราฟแสดงปริมาณของธาตุเบาในฝุ่นละอองทั้งขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (fine) และขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร (coarse)พบว่าปริมาณธาตุ Si และ S จะพบในทุกเดือนทั้งนี้เนื่องจากธาตุทั้ง 2 ธาตุนี้เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองทั่วไป จากภาพที่ 43 เป็นการแสดงผลปริมาณธาตุโลหะทั่วไป เช่น Ti, Cr ,Mn และ Fe เป็นต้น จะพบองค์ประกอบคือธาตุ Fe เด่นชัดที่สุด และพบ ในฝุ่นชนิด Coarse สูงกว่าในฝุ่นชนิด Fine และมีปริมาณสูงสุดในเดือนมีนาคมซึ่งมีค่าความเข้มข้น 3.97 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร จากภาพที่ 45 แสดงผลของปริมาณธาตุโลหะหนักเช่น As และ Pb ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ค่า L.L.D ของธาตุโลหะหนักโดยส่วนใหญ่มีค่าสูงเช่น ตะกั่วมีค่า 8.11 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร แต่ค่าที่นำมาแสดงเป็นค่าที่เครื่องมือคำนวณได้และเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่า L.L.D ซึ่งผลการทดลองจะพบปริมาณโลหะหนักในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร (coarse) สูงกว่า ฝุ่นขนาด เล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (fine)

จากข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองในรอบ 1 ปี นี้สามารถพิจารณาเป็นฤดูกาลได้ โดยฤดูร้อนเริ่มจากเดือน กุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ฤดูฝนเริ่มจากเดือน มิถุนายน-กันยายน และฤดูหนาวเริ่มจากเดือน ตุลาคม-มกราคม เมื่อพิจารณาในช่วงฤดูร้อนในกราฟที่ 47 จะพบปริมาณธาตุ Si ในปริมาณที่สูง คือ 22.76 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร (coarse) และ 2.99 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (fine) ส่วนองค์ประกอบที่เป็นโลหะทั่วไปพบในปริมาณที่ไม่สูงนักและองค์ประกอบที่เป็นโลหะหนักจะพบเฉพาะธาตุตะกั่ว ส่วนธาตุ อาร์เซนิคจะพบน้อยมากและปริมาณของธาตุทุกชนิดจะพบในปริมาณที่สูงในช่วงเดือนมีนาคม

เมื่อพิจารณาในช่วงฤดูฝนจากภาพที่ 49 จะพบธาตุเบาเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่คือ ธาตุ S และ Si องค์ประกอบที่เป็นโลหะและโลหะหนักจะพบในปริมาณที่ไม่มากนักและธาตุทุกชนิดจะพบในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร (coarse) ในปริมาณที่สูงกว่าในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (fine) ยกเว้นธาตุ S ในเดือนสิงหาคมและกันยายนปริมาณธาตุ S ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตรจะสูงกว่า ในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร อย่างเห็นได้เด่นชัด และเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีปริมาณธาตุเกือบทุกชนิดสูงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นช่วงปลายฤดูฝน และใกล้เข้าสู่ฤดูหนาวทำให้อากาศแห้งปริมาณฝุ่นจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 50 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว ในเดือนพฤศจิกายน จะพบปริมาณธาตุทุกชนิดในฝุ่นทั้งขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (fine) และขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร (coarse) ในปริมาณที่สูงกว่าเดือนอื่นอย่างชัดเจนอาจเนื่องมาจากเป็นเดือนที่อากาศหนาว ฝนไม่ตกปริมาณฝุ่นจึงฟุ้งกระจายได้ง่าย ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นสูงสุดคือธาตุ Si มีค่า 18.67 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร รองลงมาคือธาตุ S มีค่า 11.58 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ซึ่งทั้งสองธาตุเป็นธาตุเบา ส่วนปริมาณธาตุที่เป็นโลหะและโลหะหนักพบในปริมาณที่ไม่สูง

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (fine) และขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร (coarse) พบว่า ปริมาณธาตุโดยส่วนใหญ่จะพบธาตุองค์ประกอบอยู่ในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร สูงกว่าในฝุ่น ขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร เป็นฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ดังนั้นปริมาณธาตุต่าง ๆ จึงมีอยู่เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่มากกว่า

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในฝุ่นละอองในอากาศด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์แบบกระจายพลังงานนั้น จากการศึกษาพบว่าต้องเลือกสภาวะของเครื่องที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์ธาตุแต่ละกลุ่ม เนื่องจากรังสีเอกซ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิดมีระดับพลังงานไม่เท่ากัน การกระตุ้นให้ธาตุแต่ละชนิดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาและสามารถวัดค่าพลังงานได้ดีที่สุดต้องใช้พลังงานในการกระตุ้นที่ไม่เท่ากัน เช่น กลุ่มธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ เช่น Mg, Al, Si, P, S, Cl และK จะใช้พลังงานในการกระตุ้น คือ 5 kV ซึ่งเป็นค่าความต่างศักย์ที่กำหนดให้แก่หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

ในการพิจารณาเลือกพีกที่ใช้ในการศึกษาโดยส่วนใหญ่จะเลือกพีกที่เกิดจากเส้น K เนื่องจากเป็นพีกที่เห็นได้ชัดเจน แต่บางครั้งธาตุบางธาตุก็จำเป็นต้องพิจารณาที่เส้น L เนื่องจากเส้น K นั้นมีพีกของธาตุอื่นเกิดการซ้อนทับกันทำให้ยากแก่การวิเคราะห์

จากการศึกษาที่ผ่านมาทั้งหมดสรุปได้ว่าเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์แบบกระจายพลังงานของบริษัท Oxford รุ่น ED 2000 สามารถวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร และ ขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร ได้ดี และให้ค่าความถูกต้องสูงซึ่งจะเห็นได้จากค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 % ทั้งยังสามารถวิเคราะห์คุณภาพสารตัวอย่างได้สะดวกรวดเร็ว และสามารถพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์สารตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่นได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของบริษัท Kevex (KevexSpectra,1999) ซึ่งทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฝุ่นละอองในอากาศได้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 % และค่า L.L.D อยู่ในช่วง นาโนกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำผลการทดลองที่ได้จากการวัดตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตรและ ขนาด 2.5-10 ไมโครเมตรไปเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องมือชนิดอื่นในการวิเคราะห์เช่น เครื่อง Atomic absorption spectrophotometry เป็นต้น