บทที่ 5

สรุป วิจารณ์ ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปและวิจารณ์

ตารางที่ 5.1 สรุปขีดจำกัดในการวิเคราะห์คะกั้ว ก้ามะถัน แมงกานีส และสารหนู ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

เครื่องวิเคราะห์	ธาตุและขีดจำกัดในการวิเคราะห์
ระบบ WDX	คะกั้ว = 0.59 ไมโครกรัม ก้ามะถัน = 1.33 " แมงกานีส = 0.38 " สารหนู = 0.41 "
ระบบ EDX - ใช้หัววัดรังสีเพรอพอร์ชันนัล แบบบรรจุก๊าซอินอนขนาด 1.9 ซม. × 1 ซม.ยาว 6.3 ซม. มีหน้าต่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 ซม.ค้นก๊าเนิดรังสีเหล็ก-55 ความแรง 5 มิลลิคูรี	ก้ามะถัน = 79.00 ไมโครกรัม
ระบบ EDX - ใช้หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง ขนาดผลึกเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.หนา 0.6 ซม.ค้นก๊าเนิดรังสีแคดเมียม-109 ความแรง 5 มิลลิคูรี	คะกั้ว = 43.80 ไมโครกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าวิธีการเรืองรังสีเอกซ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ธาตุในอากาศอย่างได้ผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX มีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ต่ำลงได้ถึงในช่วงราว 0.5 ไมโครกรัม และมีความสามารถในการแยกพลังงานที่อยู่ใกล้เคียงกันดีมาก ส่วนเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX ที่ใช้ในการวิจัยนั้น ขีดจำกัดในการวิเคราะห์สูงกว่าประมาณ 100 เท่า คืออยู่ในช่วงราว 50 ไมโครกรัม อย่างไรก็ตามเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX ก็ยังนับว่ามีประโยชน์ในการวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณไม่ต่ำมากนัก และยังสามารถที่จะปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ได้อีกมาก เช่น เพิ่มความแรงของต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ และเพิ่มขนาดของหัววัดรังสี เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX และ EDX มีข้อดี ข้อเสีย พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ในด้านความสามารถในการแยกพลังงานใกล้เคียงหรือที่เรียกว่า "รีโซลูชัน" เครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ดีกว่ามากในช่วงพลังงานประมาณ 10 keV ลงมา ในช่วง 10-30 keV ใกล้เคียงกัน และช่วงสูงกว่า 30 keV ขึ้นไประบบ EDX ดีกว่าระบบ WDX จึงเลือกวิเคราะห์ในช่วงพลังงานต่ำกว่า เช่น ในการวิเคราะห์ตะกั่ว ระบบ WDX วิเคราะห์ Pb L x-rays ซึ่งอยู่ในช่วงราว 10-15 keV ส่วนระบบ EDX เลือกวิเคราะห์ Pb K x-rays หรือ L x-rays ก็ได้ แต่ความสามารถในการแยกพลังงานของ Pb L x-rays ไม่ดีเท่าระบบ WDX ส่วนการเลือกวิเคราะห์ Pb K x-rays จะไม่มีปัญหาเรื่องการซ้อนกันของพีคเลย ในการวิเคราะห์รังสีเอกซ์พลังงานต่ำระบบ WDX จึงดีกว่ามาก

5.1.2 ในด้านขีดจำกัดในการวิเคราะห์ โดยทั่วไปแล้วเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX ที่ใช้ไอโซโทปรังสีเป็นต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิจะมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ต่ำสู้ระบบ WDX ไม่ได้ แต่ถ้าสามารถเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิเป็นหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์แล้ว จะทำให้ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ต่ำกว่าระบบ WDX

5.1.3 ในด้านระยะเวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ระบบ WDX เสียเวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หลายธาตุมาก เนื่องจากต้องมีการหมุนผลึกและหัววัดรังสีไปที่มุมต่าง ๆ ซึ่งแต่ละมุมจะวิเคราะห์รังสีเอกซ์ได้พลังงานเดียว ส่วนระบบ EDX สามารถดูสเปคตรัมของตัวอย่างได้พร้อมกันหมด โดยทั่วไปจะเสียเวลาในการวิเคราะห์เพียงไม่กี่นาที

ไม่ว่าจะเป็นเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX หรือ RDX นับว่าเป็นเครื่องมือวิจัยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการศึกษาหาปริมาณสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง ขั้นตอนในการวิเคราะห์ไม่ยุ่งยากเหมือนกับการวิเคราะห์วิธีอื่น ๆ คือ มีเพียง 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเก็บตัวอย่างและขั้นตอนที่สอง วิเคราะห์ตัวอย่างได้โดยตรง ไม่ต้องมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่าง

ผลการทดลองวัดธาตุต่าง ๆ ในอากาศ สรุปได้ว่า

ก. ไม่พบสารหนูในทุกตัวอย่าง

ข. พบสารตะกั่วในทุกตัวอย่างโดยมีความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศอยู่ในช่วง 0.0007-3.959 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ

ค. ผลการวิเคราะห์แมงกานีส 7 ตัวอย่าง พบว่ามีแมงกานีสอยู่ในช่วง 0.241-0.377 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ง. ผลการทดลองตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง ในกรุงเทพมหานคร พบเพียงตัวอย่างเดียว คือ ที่สถานีขนส่งสายเหนือ คือ วัดได้ 3.799 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สำหรับผลการทดลองตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง 2 ตัวอย่าง พบว่ามีก๊าซถันติดอยู่บนกระดาษกรอง 272.62 และ 245.31 ไมโครกรัมต่อพื้นที่กระดาษกรอง 1 ตารางเซนติเมตร เนื่องจากไม่ทราบปริมาตรอากาศจึงมิได้คำนวณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ แต่สามารถประมาณได้ว่ามีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ในอากาศอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

จ. ได้ตรวจพบโบรมีนในตัวอย่างจากกรมไปรษณีย์โทรเลขลาดพร้าว ซึ่งตรวจพบตะกั่วด้วย (แสดงสเปคตรัมไว้ในรูปที่ 4.28) คาดว่า เนื่องจากในบริเวณนั้นมียวดยานหนาแน่น ตะกั่วและโบรมีน จึงน่าจะเกิดจากไอเสียของรถยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิง โดยทั่วไปนั้นจะเติมตะกั่วเตตรา-เมทธิลหรือตะกั่วเอทธิลลงไป เพื่อไม่ให้เครื่องยนต์สะดุด และจะเติมเอทธิลีน ไดโบรไมด์ (ethylene dibromide) หรือเอทธีลีน คลอไรด์ (ethylene dichloride) ลงไปเพื่อไม่ให้สารประกอบของตะกั่วไปเกาะอยู่ภายในเครื่องยนต์ ดังนั้นเมื่อมีการสันดาปเกิดขึ้น ไอเสียที่ปลดปล่อยออกมาจึงมีทั้งตะกั่วและโบรมีน

อนึ่ง การตรวจวัดตะกั่วในการวิจัยนี้ได้ใช้การวัดรังสี Pb L_α ซึ่งซ้อนกับ As K_α จึงทำให้ต้องตรวจสอบ As K_β ก่อนเมื่อไม่พบว่ามี As K_β จึงใช้ Pb L_α และโดยบังเอิญในทุกตัวอย่างไม่พบสารหนู

5.2 อุปสรรคในการวิจัย

การวิจัยนี้ได้พบอุปสรรคบางอย่างที่ควรได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ เพราะอาจเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่จะทำการศึกษาวิจัยต่อไป

5.2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างบนกระดาษกรองด้วยเครื่องวิเคราะห์ WDX ควรทำการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากความร้อนกันเกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ สามารถทำให้กระดาษกรองชำรุดได้ โดยเฉพาะกระดาษกรอง membrane จึงควรใช้กระดาษกรองใยแก้วหรือกระดาษกรองเซลลูโลส

5.2.2 การวิเคราะห์ธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ควรดูลักษณะของพีคก่อนการนับรังสี เพราะเครื่องวิเคราะห์ระบบนี้วัดความเข้มรังสีโดยการวัดความสูงของพีค (peak height) กล่าวคือ ที่ความเข้มรังสีที่จุดสูงสุดเพียงจุดเดียว เมื่อความเข้มรังสีต่ำ การวัดรังสีจึงมีความแปรปรวนมาก จึงตรวจดูตำแหน่งที่จะนับรังสีก่อนจากลักษณะของพีค

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ของเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX สามารถใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว แต่มีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ไม่ต่ำ การเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดรังสีเอกซ์เรือง และในการกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองจะทำให้ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ต่ำลงไปได้อีก โดยมีแนวทางดังนี้คือ

- เพิ่มความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ
- เพิ่มขนาดของหัววัดรังสี หรือใช้หัววัดรังสีมากกว่า 1 หัว
- ในการวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ เช่น รังสีเอกซ์เรืองของกำมะถัน ควรทำการวัดในสุญญากาศ เพื่อลดการดูดกลืนรังสี
- เพิ่มเวลาในการนับรังสี

5.3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ของเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX

การใช้งานปกติของเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX นั้น การวัดความเข้มรังสีเป็นการวัดความสูงของพีคเท่านั้น ในกรณีที่ความเข้มข้นของธาตุที่วิเคราะห์ต่ำมาก ความเข้มที่จุดยอดของพีคจะต่ำและมีความแปรปรวนสูง การนับรังสีที่จุดเดียวอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้ ดังนี้

- นับรังสีตลอดช่วงของพีค ซึ่งจะทำให้จำนวนนับสูงขึ้น และจะทำให้ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ต่ำลงไปอีก

- ควรดูลักษณะของพีคก่อนการนับรังสี

5.3.3 ศึกษาการใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ ในอากาศ และในสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ในน้ำ

5.3.4 ตรวจวัดธาตุต่าง ๆ ในอากาศ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ลม ความชื้น ฯลฯ ในระดับความสูงต่าง ๆ

5.3.5 ควรใช้ Pb L_β ในการวิเคราะห์ตะกั่ว เนื่องจากมีความเข้มสูงกว่า Pb L_α และไม่มีปัญหาพีคซ้อน

5.3.6 ศึกษาการวิเคราะห์สารหนูโดยใช้ As K_α ซึ่งซ้อนกับ Pb L_α โดยวิธีแก้การรบกวนโดยอัตราส่วนพีค (peak ratio) ในกรณีที่มีตะกั่วและสารหนูปนกัน เพราะ As K_α มีความเข้มรังสีสูงกว่า As K_β ที่ใช้ในการวิจัยนี้ประมาณ 5 เท่า

5.3.7 การหาประสิทธิภาพในการตรวจจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ควรทำการทดลองหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอน เพราะเป็นค่าที่จะต้องนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป นอกจากนี้ควรทำการศึกษาวิจัยถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ อัตราการดูดอากาศ ฯลฯ เพื่อความถูกต้อง แม่นยำในการคำนวณ

5.3.8 ศึกษาเปรียบเทียบการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ โดยวิธี para-soniline กับวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

5.3.9 ศึกษาเปรียบเทียบการตรวจวัดธาตุอื่น ๆ ในอากาศโดยใช้เทคนิคที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น อะตอมมิก แอบซอพชัน กับวิธีการเรืองรังสีเอกซ์