



# การตรวจสอบเบื้องต้นของสารพิษในผลิตภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)

วันดี ลือสายวงศ์  
ดวงกมล เขวอนศรีหนู

**จากการที่** กลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป (EU) ได้กำหนดระเบียบว่าด้วยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิด (Restriction of the use of certain Hazardous Substances, RoHS) ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมปริมาณสารพิษต้องห้าม 6 ชนิด (ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม เฮกซะวาเลนท์ โพลีโบรมิเนท-ไบฟีนิล (PBB) และโพลีโบรมิเนท-ไดฟีนิล-อีเทอร์ (PBDE)) ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ระเบียบนี้บังคับให้ผู้ผลิตใช้สารอื่นที่ปลอดภัยเพื่อทดแทนการใช้สารพิษเหล่านี้ให้ได้ภายในวันที่ 1 กรกฎาคม 2549 ในปัจจุบันผู้ประกอบการไทยที่ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการส่งออก โดยเฉพาะผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็กได้ตระหนักถึงผลกระทบที่จะเกิดจากระเบียบนี้ซึ่งนับวันจะเริ่มมีบทบาทมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถส่งสินค้าออกไปขายได้ภายใต้เงื่อนไขของระเบียบที่ทางสหภาพยุโรปและประเทศคู่ค้าอื่นๆ กำหนดขึ้นผู้ประกอบการไทยจำเป็นต้องพึ่ง

ห้องปฏิบัติการที่มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบสารต้องห้ามดังกล่าวเพื่อควบคุมปริมาณสารพิษให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

การวิเคราะห์ทดสอบสารพิษดังกล่าวอาจทำได้โดยการตรวจสอบเบื้องต้นและทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ถ้าการตรวจสอบเบื้องต้นทำให้ทราบว่าปริมาณสารพิษในตัวอย่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อาจไม่มีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารพิษเหล่านี้ ทั้งนี้จะทำให้ผู้ประกอบการไทยสามารถได้รับผลการวิเคราะห์ทดสอบอย่างรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตไม่สูงขึ้นมากจนกระทั่งไม่สามารถแข่งขันกับประเทศคู่แข่งได้ เทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) เป็นเทคนิคหนึ่งสำหรับการตรวจสอบเบื้องต้นทั้งทางคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ของสารพิษในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว บทความนี้จะกล่าวถึงประเภทของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หลักการโดยย่อของเทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ และการใช้เทคนิคนี้เพื่อการตรวจสอบเบื้องต้น

วัสดุหลักที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งออกเป็นโลหะ พอลิเมอร์ และอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนที่เป็นโลหะรวมถึงอัลลอยด์ของโลหะ เช่น เหล็ก นิกเกิล ดีบุก อะลูมิเนียม ทองแดง สังกะสี ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ เช่น โพลีเอทิลีน (polyethylene) พอลิสไตรีน (polystyrene) พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) อีพอกซี เรซิน (epoxy resin) โพลีเอไมด์ (polyamide) พอลิคาร์บอนเตเอบีเอส เรซิน (polycarbonate ABS resin) และส่วนที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ เช่น แผงวงจร (printed wiring boards) และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัสดุที่เกี่ยวข้องกับสายไฟ (wiring materials) ตัวต้านทาน (resistors) ตัวเก็บประจุ (capacitors) โดยทั่วไปวัสดุส่วนที่เป็นโลหะและพอลิเมอร์จะมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ขณะที่ส่วนที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์อาจประกอบด้วยวัสดุหลายอย่างรวมทั้งเซรามิกจึงไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน

## เทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Technique)

หลักการของเทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์โดยย่อคือ รังสีเอกซ์ที่ได้จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ถูกส่งไปยังตัวอย่างเพื่อทำให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆ



## การตรวจสอบเบื้องต้นของสารพิษ โดยเทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์

ขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อหาสารพิษในตัวอย่างเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อาจทำได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณโดยเทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น หรือระบบที่วัดเป็นพลังงาน ในการตรวจสอบเบื้องต้นเชิงคุณภาพเพื่อดูว่ามีสารพิษที่ควบคุมอยู่ในตัวอย่างหรือไม่ การตรวจสอบอาจทำได้โดยการไม่ทำลายตัวอย่าง (กรณีตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น พอลิเมอร์) หรือทำลายตัวอย่าง (กรณีตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งการเตรียมตัวอย่างอาจรวมถึงการตัด การบดหยาบ การบดละเอียด และการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับการตรวจสอบเชิงปริมาณทำเพื่อแสดงผลในรูปของความเข้มข้นของสารพิษนั้นๆ ในตัวอย่าง การตรวจสอบเชิงปริมาณต้องทำโดยการทำลายตัวอย่าง ข้อควรสังเกตสำหรับผลที่ได้จากการตรวจสอบเบื้องต้นคือผลการวิเคราะห์ทดสอบจะอยู่ในรูปของธาตุ (elemental form) ถ้าผลการทดสอบเบื้องต้นทั้งเชิงคุณภาพ

ในสารตัวอย่าง เมื่อธาตุถูกกระตุ้นรังสีจะทำให้อยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) ธาตุเหล่านี้จะกลับคืนสู่สถานะปกติ (ground state) โดยการเปล่งรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่มีลักษณะเฉพาะ (characteristic x-ray) สำหรับแต่ละธาตุ ปริมาณรังสีจะแปรตามค่าความเข้มข้นของแต่ละธาตุในตัวอย่างนั้น เทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้กันทั่วไปมีด้วยกัน 2 ระบบคือ ระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น (wavelength dispersive system) และระบบที่วัดเป็นพลังงาน (energy dispersive system) องค์ประกอบหลักของเครื่องรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ทั้งสองระบบประกอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ อุปกรณ์สำหรับแยกความยาวคลื่นของรังสี ช่องใส่ตัวอย่าง เครื่องตรวจวัดหรือทรานสดิวเซอร์ (transducer) และระบบรวบรวมข้อมูล ซึ่งบางส่วนของเครื่องอาจเหมือนกัน และบางส่วนอาจแตกต่างกัน

เครื่องรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์แบบระบบความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer) ประกอบด้วยหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ และคอลลิเมเตอร์ (collimator) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ลำรังสีเอกซ์ขนานและไปกระทบกับผลึก (analyzing crystal) ที่ทำหน้าที่แยกรังสีเอกซ์ให้มีความยาวคลื่นต่างๆ กัน รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างกันนี้จะถูกวัดความเข้มโดยเครื่องตรวจวัดที่อาจเป็นแบบ แก๊สไอออไนเซชัน (gas ionization) ซินทิลเลชัน (scintillation detectors) หรือ สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) สัญญาณที่รวบรวมได้ในรูปรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมซึ่งเป็นกราฟระหว่างปริมาณรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่น สามารถนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ

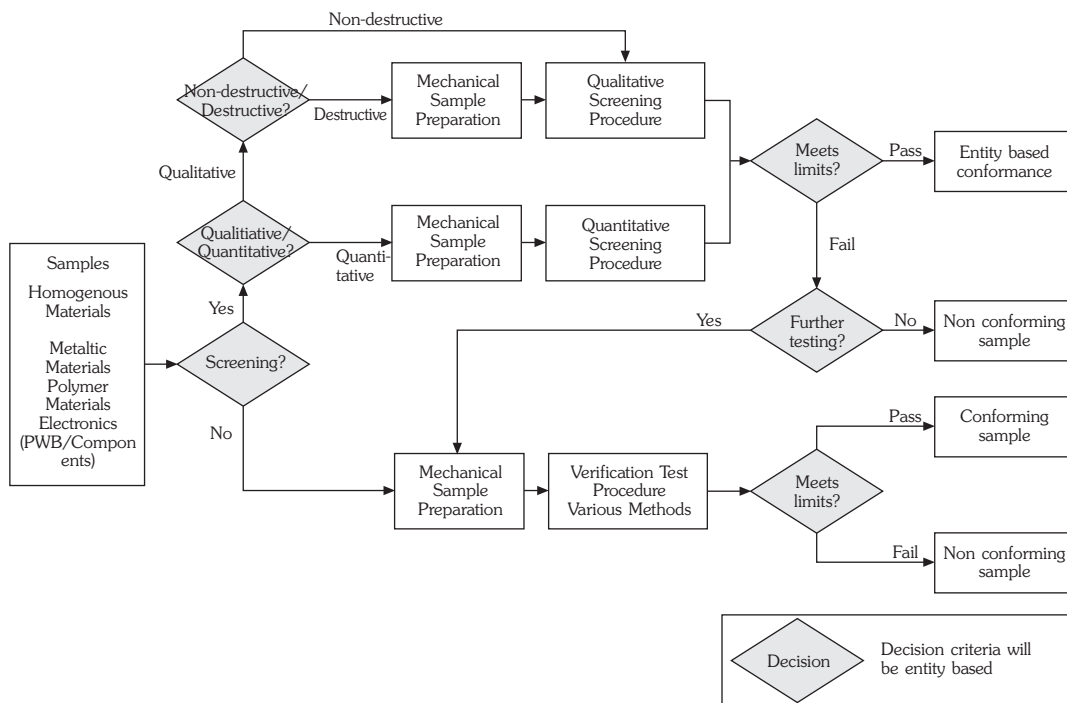
สำหรับเครื่องรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer) แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์คือหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) หรือธาตุกัมมันตรังสี (radioactive) เช่น พลูโทเนียม (Pu 238) และมีเครื่องตรวจวัดเป็นสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอนที่มีลิเทียมลอยเลื่อน [lithium-drifted silicon detector, Si(Li)] หรือเจอร์มาเนียมที่มีลิเทียมลอยเลื่อน [lithium-drifted germanium detector, Ge(Li)] ซึ่งมีระบบหล่อเย็น พลังงานที่ปล่อยออกมาจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าและถูกขยายด้วย preamplifier และ amplifier นอกจากนี้ยังมี multichannel analyzer (MCA) ทำหน้าที่รวบรวมสัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดและการแยกขนาดของพลังงาน สัญญาณที่รวบรวมได้ในรูปสเปกตรัมซึ่งเป็นกราฟระหว่างปริมาณรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับจำนวนช่องของเครื่อง MCA ระบบข้อมูลของเครื่องมือจะทำการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อช่วยทำให้การวิเคราะห์ผลทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณสำเร็จได้ เทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์แบบระบบที่วัดเป็นพลังงานมีข้อดีคือการใช้งานง่าย รวดเร็ว และราคาถูกกว่าระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น อย่างไรก็ตามถ้าการวัดที่ความยาวคลื่นมากกว่า 1 อังสตรอม พบว่าระบบที่วัดเป็นพลังงานจะมีความสามารถในการแยก (resolution) ต่ำกว่า

และปริมาณพบว่าไม่มีสารพิษ หรือมีอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ให้ถือว่าตัวอย่างนั้นผ่านเกณฑ์ ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบต่อไป ในขณะที่ยังไม่มี การกำหนด เกณฑ์ที่แน่นอนสำหรับสารพิษ แต่ละประเภทในวัสดุชนิดต่างๆ แต่ถ้าผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า มีสารพิษในระดับความเข้มข้นที่น่าสงสัย ให้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลโดยวิธีวิเคราะห์ต่างๆ ตามชนิดของสารอันตรายและตามประเภทของวัสดุต้องถูกนำมาใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจว่า ตัวอย่างนั้นผ่านเกณฑ์การยอมรับหรือไม่ การตรวจสอบสารพิษโดยเทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ เช่น โครเมียม และโบรมีน สามารถใช้ข้อมูลของโครเมียมทั้งหมด (total chromium) และโบรมีนทั้งหมด (total bromine) คาคคเน

ได้ว่ามีเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม และสาร PBB หรือสาร PBDE ในตัวอย่าง อาจต้องตรวจสอบเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม PBB หรือ PBDE ด้วยการวิเคราะห์ทดสอบอย่างละเอียดเพื่อหาความเข้มข้นโดยเทคนิคอื่นที่เหมาะสมต่อไป

จากที่กล่าวมา เทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ทั้งสองระบบสามารถช่วยทำให้การวิเคราะห์ผลทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สำเร็จได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องเตรียมตัวอย่างหรือมีขั้นตอนการเตรียมที่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตามการตรวจสอบต้องกระทำภายใต้สภาวะที่ควบคุมอย่างดีเพราะเทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ทั้งสองระบบยังมีข้อจำกัดในเรื่องผลของเมตริกซ์ (matrix effect) ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบจึงจำเป็นต้องคำนึงผลของเมตริกซ์เป็นอย่างมาก ปัจจุบันยังมีข้อจำกัดอยู่มากสำหรับวัสดุอ้างอิงบางประเภท โดยเฉพาะวัสดุอ้างอิงจำพวกพลาสติก

**โครงการเคมี** กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้ตระหนักถึงความต้องการของห้องปฏิบัติการในการให้ความช่วยเหลือสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสารพิษต้องห้ามในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แก่ผู้ประกอบการไทยที่ส่งสินค้ากลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ โครงการเคมีจึงได้จัดหาเครื่องรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงานมาไว้เพื่อศึกษาทดลองวิธีการทดสอบหาสารพิษต้องห้ามในวัสดุประเภทต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จากการศึกษาดังกล่าวทำให้สามารถให้บริการการตรวจสอบเบื้องต้นแก่ภาคอุตสาหกรรมในอนาคตอันใกล้



ภาพที่ 1 กระบวนการวิเคราะห์ทดสอบ (ที่มา : Procedure for the Determination of Levels of Regulated Substances in Electrotechnical Products, IEC ACEA ad hoc Working Group, page 9)



## เอกสารอ้างอิง

Directive 2002/ 95 / EC of the European parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. 2004. **[online]** [cited 12 December 2004.] Available from [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l\\_037/l\\_03720030213en00190023.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l_037/l_03720030213en00190023.pdf).

IEC ACEA ad hoc Working Group. Procedure for the determination of levels of regulated substances in electrotechnical products. **[online]** [cited 4 May 2005.] Available from <http://www.tintechnology.biz/.../IEC%20WG%20Procedures%20Determination%20Regulated%20Substances%20Ver%201.0.pdf>

Skoog, DA., Holler, FJ.; and Nieman, TA. 5<sup>th</sup> ed. **Principle of instrumental analysis**. Philadelphia : Harcourt Brace College Publishers, 1998, p 272-293.

แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพมหานคร : ชวนพิมพ์, 2534, หน้า 424-484.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์**. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547. 100 หน้า.