

**ชุดวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์**  
**แขนงฟิสิกส์มหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ชุด**

**คุณลักษณะทั่วไป**

เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วิเคราะห์ทางองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในสารทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และปริมาณ (Quantitative) ของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) แบบตั้งพื้น ซึ่งจะถูกวัดความเข้มกำลัง (Power) ด้วยการสแกน (Scan) ของตัวรับสัญญาณ (Detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมแล้วถูกประมวลผลออกมาทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องเอกซ์เรย์

**คุณลักษณะเฉพาะ**

1. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction)

1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงสำหรับจ่ายให้หลอดรังสีเอกซ์ (X-Ray generator) ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.1.1 มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายได้ไม่น้อยกว่า 3.0 กิโลวัตต์

1.1.2 สามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดไม่น้อยกว่า 45 กิโลโวลต์

1.1.3 สามารถปรับค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิแอมป์

1.2 หลอดรังสีเอกซ์ ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 หลอดรังสีเอกซ์ทำจากวัสดุฉนวนเซรามิก (Ceramic insulation) หรือดีกว่า

1.2.2 มีแอโนดเป็นโลหะชนิดทองแดง (Cu tube)

1.2.3 กำลังหลอดขณะทำงานสูงสุดไม่น้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์

1.2.4 มีระบบโฟกัสอัตโนมัติที่ช่วยในการวิเคราะห์ตัวอย่างชนิดผง ผงอัด ฟิล์มบาง และของเหลว

ได้อย่างแม่นยำ

1.2.5 มีระบบที่ช่วยในการจัดลำรังสีเอกซ์อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์หรือระบบที่เทียบเคียง เมื่อมีการเปลี่ยนเทคนิคการวัดหรือมีการสลับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบต่างๆ

1.3 ชุดเปลี่ยนมุมในการวิเคราะห์ (Goniometer) ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 เป็นระบบการทำงานในแนวตั้ง (Vertical Goniometer) แบบ theta-theta โดยวางตัวอย่างในแนวนอน

1.3.2 สามารถกำหนดมุม  $2\theta$  ได้ในช่วง  $-10^\circ$  ถึง  $+160^\circ$  หรือกว้างกว่า (ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ประกอบ)

1.3.3 ค่าความแม่นยำของการวัดมุม 2 Theta (Accuracy/ linearity) แม่นยำได้ถึงไม่เกิน 0.01 องศา

องศา

1.3.4 ค่าความละเอียดของการเคลื่อนที่ (Smallest addressable increment หรือ Minimum step size) ละเอียดได้ไม่เกิน 0.0001 องศา

1.3.5 มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่สูงสุดไม่น้อยกว่า 15 องศาต่อวินาที

1.4 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (Detector) สำหรับตรวจจับสัญญาณเอกซเรย์ หรือระบบอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่า ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 หัววัดเป็นชนิด Solid state ทำจาก Silicon array หรือวัสดุอื่นๆ ที่เทียบเท่าหรือดีกว่า

1.4.2 มีจำนวนช่องรับสัญญาณไม่น้อยกว่า 256 ช่อง (Pixels)

1.4.3 มีพื้นที่ในการรับสัญญาณทั้งหมดไม่น้อยกว่า 195 ตารางมิลลิเมตร

1.4.4 มีความเร็วในการนับสัญญาณสูงสุดไม่น้อยกว่า  $1.5 \times 10^8$  cps

1.4.5 สามารถทำงานในรูปแบบ OD 1D และ 2D หรือดีกว่า

1.4.6 สามารถควบคุมการปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือหมุนตัวรับสัญญาณ

1.5 ระบบการจัดการลำแสง (Optic) โดยมีระบบการจัดการลำแสงทั้งในส่วนของลำแสงตกกระทบ (Incident beam) และลำแสงสะท้อน (Diffracted beam) ที่สามารถควบคุมการปรับเปลี่ยนด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เมื่อต้องการเปลี่ยนเทคนิค โดยไม่มีการสัมผัสกับชิ้นส่วนใดๆ ของระบบการจัดการลำแสง (Optic) ทั้งหมด และ Detector โดยต้องสามารถรองรับเทคนิคการวิเคราะห์ดังนี้

1.5.1 สามารถวิเคราะห์ผลได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

1.5.2 สามารถวิเคราะห์ Phase identification (Phase ID)

1.5.3 สามารถวิเคราะห์ Transmission XRD

1.5.4 Grazing incidence XRD (GIXRD) เพื่อสำหรับการวิเคราะห์ ชั้นเคลือบ

1.5.5 สามารถวิเคราะห์ X-ray reflectometry (XRR) เพื่อสำหรับการวิเคราะห์ความหนาชั้นเคลือบ

1.5.6 สามารถวิเคราะห์ Small - Angle X-Ray scattering (SAXS) เพื่อสำหรับการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างที่เป็น ผง ฟิล์ม และของเหลวที่มีขนาดนาโนเมตร

1.5.7 สามารถวิเคราะห์ความเค้นคงค้าง (Residual Stress)

1.5.8 สามารถวิเคราะห์ Texture เช่น การทำ Pole Figure Analysis

1.5.9 สามารถวิเคราะห์แบบ 2D

1.5.10 สามารถวิเคราะห์ Micro XRD หรือ Small Spot measurement ที่ขนาด Spot Size เท่ากับ 300 ไมครอน หรือละเอียดกว่า

1.6 ฐานวางตัวอย่าง (Sample stage) ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.6.1 ฐานวางตัวอย่างชนิด Flat Sample Stage จำนวน 1 ชุด สำหรับใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นผง โดยมีที่ใส่ตัวอย่างทำจากอลูมิเนียมหรือเทียบเท่าสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบผง ไม่น้อยกว่า 25 ชิ้น

1.6.2 มีฐานวางตัวอย่างรองรับการวิเคราะห์ในรูปแบบ Reflection และ Transmission ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 มิติ หรือหมุนตัวอย่างในแนวระนาบ (Spinning) สามารถกำหนดมุม สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่าง เฉพาะ เช่น พลาสติกและเส้นใย และสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างในรูปแบบ Transmission โดย Detector ใต้ฐานวางตัวอย่างเป็นมุม 90 องศาได้ ขณะทำการวิเคราะห์และมีอุปกรณ์ประกอบดังนี้

1.6.2.1 ที่ใส่ตัวอย่างทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมหรือวัสดุเทียบเท่า สำหรับตัวอย่างที่เป็นผง ปริมาณน้อย หรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 16 mm จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ชิ้น

1.6.2.2 ที่ใส่ตัวอย่างทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมหรือวัสดุเทียบเท่า สำหรับตัวอย่างที่เป็นผง ปริมาณมาก หรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 27 mm จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ชิ้น

1.6.2.3 ที่ใส่ตัวอย่างทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมหรือวัสดุเทียบเท่า สำหรับตัวอย่างที่เป็นแผ่น โดยสามารถรองรับตัวอย่างแผ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 44 mm และความสูงสูงสุดไม่น้อยกว่า 6.5 mm จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ชิ้น

1.6.2.4 ที่ใส่ตัวอย่างทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมหรือวัสดุเทียบเท่า สำหรับการวิเคราะห์ Transmission จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ชิ้น

1.6.2.5 ที่ใส่ตัวอย่างทำจากซิลิกอน หรือเทียบเท่า สำหรับตัวอย่างที่เป็นผงปริมาณน้อย มากๆ หรือแบบไม่มีสัญญาณ (Zero background) จำนวนไม่น้อยกว่า 2 ชิ้น

1.6.3 มีชุดอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนตัวอย่างอัตโนมัติต้องรองรับการป้อนตัวอย่างต่อเนื่องได้โดยไม่มี การเปิดประตู/ฝาเครื่อง สำหรับใส่ตัวอย่างในการวัดต่อเนื่องได้ไม่น้อยกว่า 9 ตัวอย่าง โดยสามารถเปลี่ยนเทคนิค การวิเคราะห์ได้ตามข้อ 1.5

1.6.4 มีฐานวางตัวอย่างหรือฟังก์ชันการใช้งานที่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของเหลวจำนวน 1 ชุด

1.7 อะไหล่ชุดจัดการลำแสงแบบ Fix Divergent Slit และ Beam Mask หรือเทียบเท่า

1.8 โปรแกรมสำหรับควบคุมและวิเคราะห์ผล

1.8.1 โปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องมือ ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.8.1.1 สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องมือ

1.8.1.2 สามารถควบคุมการทำงานของฐานวางตัวอย่าง



1.8.1.3 สามารถบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (ในกรณีที่มีอุปกรณ์เสริมสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้ฐานวางตัวอย่างที่มีการควบคุมอุณหภูมิ)

1.8.2 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณที่ถูกต้องตามลิขสิทธิ์ จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ลิขสิทธิ์ ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.8.2.1 โปรแกรมรองรับการเปิดไฟล์นามสกุล XRDML, UXD, RAS ได้เป็นอย่างดีน้อย

1.8.2.2 สามารถวิเคราะห์ Phase identification โดยทำการ Search – Match กับฐานข้อมูลได้

1.8.2.3 สามารถวิเคราะห์หาขนาดผลึกและปริมาณของผลึก

1.8.2.4 สามารถวิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธีแบบ Reference Intensity Ratio (RIR) ได้

1.8.2.5 สามารถวิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธีแบบ Rietveld analysis ได้

1.8.2.6 สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างแบบ Partial least squares regression method (PLSR) ได้

1.8.2.7 สามารถวิเคราะห์ผลแบบกลุ่มตัวอย่างได้ (Cluster analysis) ได้

1.8.3 โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ Small – Angle X-Ray scattering สำหรับการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

1.8.4 โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ X-ray reflectometry สำหรับการวิเคราะห์ความหนาชั้นเคลือบ

1.9 มีชุดฐานข้อมูล Crystallography Open Database (COD) ไม่มี license หรือฐานข้อมูล ICDD PDF2 มี license อย่างน้อย 5 ปี ประกอบการใช้งานเครื่อง XRD

1.10 ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับงานวิเคราะห์ จำนวน 1 ชุด ที่มีรายละเอียดดังนี้

1.10.1 มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Processor ไม่น้อยกว่า 6 Core โดยมีความเร็วสัญญาณนาฬิกาพื้นฐานไม่น้อยกว่า 3.0 GHz

1.10.2 มีหน่วยความจำหลัก (RAM) DDR4 มีขนาดไม่น้อยกว่า 8 GB

1.10.3 มีหน่วยจัดเก็บข้อมูล (Hard disk) ขนาดความจุไม่ต่ำกว่า 2 TB หรือ Solid state drive ไม่น้อยกว่า 480 GB

1.10.4 มีระบบปฏิบัติการ Windows 10 พร้อมลิขสิทธิ์ หรือดีกว่า

1.10.5 มีหน่วยแสดงผลภาพที่มีหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 2GB

1.10.6 มีจอภาพขนาดไม่น้อยกว่า 21" แบบ LED Monitor ชนิด Port HDMI

1.10.7 มีแป้นพิมพ์และเมาส์

1.10.8 มีช่องเชื่อมต่อระบบเครือข่าย 10/100/1000



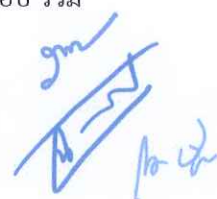
- 1.10.9 มี DVD-RW 1 หน่วย
- 1.10.10 มีช่อง USB 2.0 ไม่น้อยกว่า 4 ช่อง
- 1.10.11 เครื่องพิมพ์สีแบบ Laser Printer ที่ใช้กับกระดาษขนาด A4 ความละเอียดในการพิมพ์ 1200x600 dpi หรือดีกว่า จำนวน 1 ชุด
- 1.11 ติดตั้งระบบความปลอดภัยของการทำงานของเครื่อง XRD จำนวน 1 งาน
  - 1.11.1 มีระบบป้องกันการรั่วไหลของรังสีเอกซ์ โดยวัดระดับการแผ่รังสีรอบตัวเครื่องต่ำกว่า 1.0  $\mu\text{Sv/h}$  ตามมาตรฐานความปลอดภัย
  - 1.11.2 มีสัญญาณไฟแสดงสถานะการทำงานของรังสีเอกซ์ที่เครื่องในตำแหน่งที่มองเห็นได้ชัดเจน
  - 1.11.3 มีปุ่มหยุดการทำงานของเครื่องในกรณีฉุกเฉิน
- 1.12 ติดตั้งระบบหล่อเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20 °C ถึง อุณหภูมิห้อง หรือในช่วงอุณหภูมิที่ครอบคลุมเหมาะสมต่อการทำงานของหลอดรังสีเอกซ์ และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน  $\pm 1$  °C เพื่อยืดอายุการใช้งานของหลอดให้นานขึ้น จำนวน 1 งาน
- 1.13 โต๊ะคอมพิวเตอร์ จำนวนอย่างน้อย 1 ตัว
- 1.14 เก้าอี้สำนักงาน จำนวนอย่างน้อย 2 ตัว
- 1.15 คู่มือการใช้งานรวมถึงคู่มือการเตรียมตัวอย่างและดำเนินการทดสอบ คู่มือการวิเคราะห์ผลการทดสอบ และคู่มือบำรุงรักษา ทั้งฉบับภาษาไทยอย่างน้อย 4 ชุด และภาษาอังกฤษ จำนวนอย่างน้อย 2 ชุด

2. เครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS) ขนาด 10 KVA จำนวน 1 เครื่อง ที่มีคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

- 2.1 เป็น UPS ชนิด True On-line double conversion ให้กระแสไฟฟ้าที่คงที่และต่อเนื่องตลอดเวลา
- 2.2 ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานทั้งหมด เพื่อความเที่ยงตรงของไฟฟ้าขาออก
- 2.3 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 220 Vac +/- 20% (Full load)
- 2.4 แรงดันไฟฟ้าขาออก 208, 220, 230 & 240 Vac และ Voltage regulation +/-1%
- 2.5 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเป็น Pure sine wave
- 2.6 สำรองไฟฟ้าได้ประมาณไม่น้อยกว่า 15 นาที (ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์)

3. เงื่อนไขประกอบ

- 3.1 ชุดวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไฟฟ้า 1 เฟส 220 Volt และ 50/60 Hz
- 3.2 รับประกันคุณภาพตัวเครื่องและระบบเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 ปี
- 3.3 บริการตรวจเช็คเครื่องและระบบ (Preventive Maintenance) จำนวนอย่างน้อย 1 ครั้งต่อปี รวมจำนวนอย่างน้อย 4 ครั้ง โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ เพิ่มเติม



3.4 ผู้ผลิตต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน ระบบ ISO 9001

3.5 บริษัทฯ แสดงหนังสือแต่งตั้งการเป็นตัวแทนจำหน่ายโดยตรงจากบริษัทผู้ผลิตหรือบริษัทที่ได้รับการแต่งตั้งจากตัวแทนจำหน่ายโดยตรง

3.6 บริษัทฯ ต้องจัดอบรมการใช้งานเครื่องและโปรแกรม โดยวิทยากรอบรมต้องเป็นผู้ที่ได้รับ training certification โดยตรงจากผู้ผลิตจนกว่าผู้ปฏิบัติการสามารถใช้เครื่องมือหรือมีความชำนาญในการใช้เครื่องและโปรแกรมในปีแรกและจัดการอบรมเพื่อทบทวนหรือเสริมความรู้ ไม่น้อยกว่า 1 ครั้งต่อปี ในปีถัดไปตลอดช่วงการรับประกัน โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

3.7 บริษัทฯ ต้องดำเนินการติดตั้งมาปรับแสงแบบตั้ง สำหรับหน้าต่างทุกบาน และใส่กรอบหน้าต่างอลูมิเนียมบานที่ชำรุด 1 บาน และติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Inverter) ที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 30,000 บีทียู จำนวนไม่น้อยกว่า 1 เครื่อง สำหรับติดตั้งชุดวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ให้พร้อมใช้งานที่ห้อง 105 ชั้น 1 อาคาร 16/3

3.8 บริษัทตัวแทนจำหน่ายได้การรับรองมาตรฐาน ISO 9001:2015 ทั้งระบบเพื่อให้บริการด้านอะไหล่และการดูแลรักษาเครื่อง

3.9 ทางบริษัทผู้ขายต้องแยกราคาต่อหน่วยครุภัณฑ์แบบมาพร้อมกับใบส่งสินค้า เพื่อแสดงต่อคณะกรรมการตรวจรับ

3.10 กำหนดส่งมอบงาน 90 วัน สถานที่ส่งมอบ ห้อง 105 ชั้น 1 อาคาร 16/3 สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

หลักเกณฑ์การพิจารณาข้อเสนอ โดยใช้เกณฑ์ราคา

คณะกรรมการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะ

ลงชื่อ.....  ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ฉันทมณี พูลเจริญศิลป์)

ลงชื่อ.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์กนกวรรณ จ้าวสุวรรณ)

ลงชื่อ.....  ..... กรรมการและเลขานุการ  
(นางสาวรัตนกร ยวงสวัสดิ์)