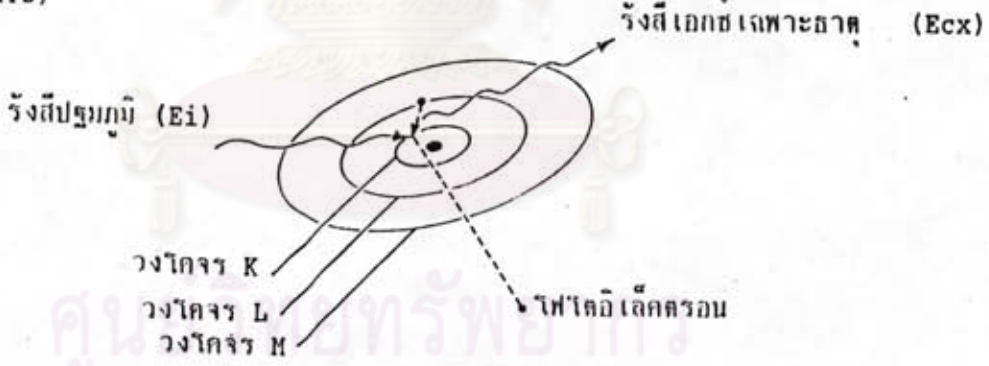
บทที่ 2

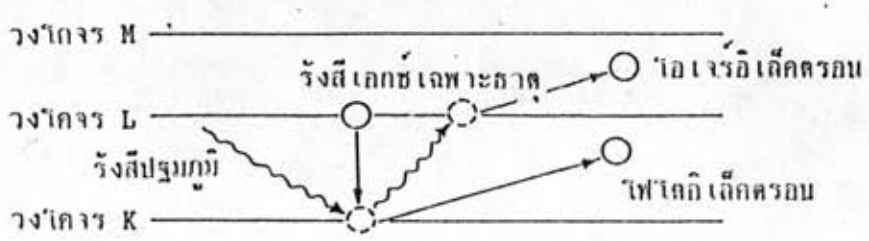
หลักการเรืองรังสีเอกซ์และระบบในการวิเคราะห์แบบเรืองรังสีเอกซ์(1)

2.1. หลักการเรืองรังสีเอกซ์

การทำให้อิเล็คตรอนในวงโคจรที่อยู่ใกล้นิวเคลียส เช่น วงโคจร K และวงโคจร L เกิดอิออนไนเซชั่น (IONIZATION) นั่นคือ หลุดออกจากอะตอมโดยการยิงรังสีปฐมภูมิ(PRIMARY RADIATION) เข้าไป อิเล็คตรอนที่หลุดออกมานี้ เรียกว่า โฟโตอิเล็คตรอน (PHOTOELECTRON : เรียกตามอันตรกิริยาโฟโตอิเล็คทริกที่รังสีเอกซ์ถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็คตรอน) การเกิดโฟโตอิเล็คตรอนทำให้เกิดที่ว่าง (VACANCY) ขึ้นในวงโคจรนั้นที่ว่างดังกล่าวจะมีอายุเพียงประมาณ 10^{-15} วินาที เพราะจะมีอิเล็คตรอนในวงโคจรถัดไป ซึ่งมีพลังงานสูงกว่ากระโดดเข้ามาแทนที่พร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า "รังสีเอกซ์เรือง (FLUORESCENT X-RAYS)" และเรียกกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์เรืองว่า "การเรืองรังสีเอกซ์" (X-RAY FLUORESCENCE) เนื่องจากพลังงานของรังสีเอกซ์เรืองนั้น มีค่าเฉพาะสำหรับธาตุแต่ละชนิด จึงเรียกว่ารังสีเอกซ์เรืองอีกชื่อหนึ่งว่า "รังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ (CHARACTERISTIC X-RAYS)"



รูปที่ 2.1.ก. แสดงการเกิดรังสีเอกซ์เรือง



รูปที่ 2.1.ข. แสดงการเกิดโอเจร์อิเล็คตรอน (1)

จากรูปที่ 2 ก ถ้า Ei = พลังงานของรังสีปฐมภูมิ

Ek = พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็คตรอนในวงโคจร k

และ Ep = พลังงานของโฟโตอิเล็คตรอน

โดยที่ Ei>Ek, จะได้ Ep = Ei-Ek

ถ้า El = พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็คตรอนในวงโคจร L

Ecx = พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ

จะได้ Ecx = El-Ek

ถ้าพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าพลังงานของอิเล็คตรอนในวงโคจรรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุจะไปชนกับอิเล็คตรอนในวงโคจรให้หลุดออกไปทำให้เกิดที่ว่างขึ้นอีก เราเรียกอิเล็คตรอนที่หลุดออกไปว่า โอเจร์อิเล็คตรอน (AUGER ELECTRON) ดังรูปที่ 2.1 ข

2.1.1 ฟลูออเรสเซนซ์ยีลด์ (FLUORESCENCE YIELD)

คืออัตราการเกิดของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวต่ออัตราการเกิดที่ว่างในวงโคจรของอิเลคตรอนนั้น

ฟลูออเรสเซนซ์ยีลด์ของวงโคจร K (Wk)= $\frac{\text{อัตราการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ}}{\text{อัตราการเกิดที่ว่างในวงโคจร K}}$

2.2 ระบบในการวิเคราะห์แบบเรืองรังสีเอกซ์

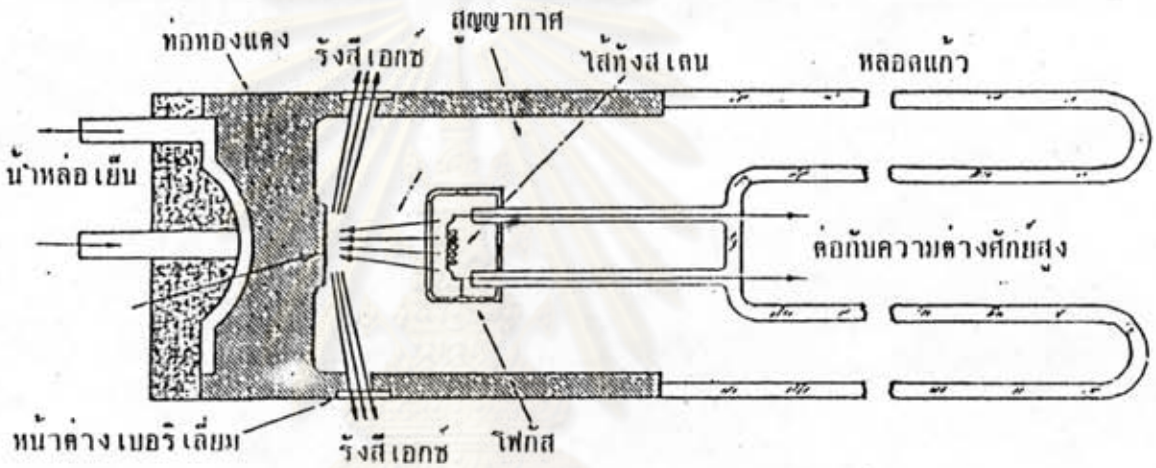
2.2.1 ระบบเวฟเลงท์ดีสเพอร์สีฟ (WAVELENGHT DISPERSIVE SYSTEM) เป็นระบบที่มีการจำแนกพลังงานของรังสีเอกซ์ธาตุในผลึกเดี่ยว (SINGLE CRYSTAL) เช่น ลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF : LITHIUM FLUORIDE) หรือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl;SODIUM CHLORIDE) ทำหน้าที่สะท้อนแยกพลังงานของรังสีเอกซ์เรืองที่ตกกระทบผลึกตามหลักการของคลื่นสร้างเสริมและคลื่นหักล้าง (CONSTRUCTIVE AND DESTRUCTIVE INTERFERANCE) คลื่นที่สะท้อนออกจากผลึกจะเสริมกันเมื่อค่าความยาวคลื่น (λ) ของรังสีเอกซ์มีความสัมพันธ์กับมุมตกกระทบหรือมุมสะท้อนตามสมการ $2dSIN\ \theta = n\lambda$ โดยที่ d คือระยะห่างระหว่างอะตอมของผลึก, θ คือมุมตกกระทบของรังสีเอกซ์และ n คือค่าตัวเลขจำนวนเต็มบวกใด ๆ เช่น 1,2,3.....

2.2.2 ระบบเอนเนอร์ยีดีสเพอร์สีฟ (ENERGY DISPERSIVE SYSTEM) เป็นระบบที่มีการจำแนกพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุในหัววัดรังสีซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุให้เป็นความต่างศักย์ของพัลส์ (PULSES) ซึ่งมีขนาดเป็นปฏิภาคกับพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ

ส่วนประกอบหลักของระบบเอนเนอร์ยีดิสเพอร์สีพแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

2.2.2.1 ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.2.1.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ มีลักษณะเป็นหลอดแก้วสูญญากาศ ดังรูปที่ 2.2 เมื่อขั้วลบถูกต่อเข้ากับศักดาไฟฟ้าแรงสูง อิเล็คตรอนจากขั้วลบจะหลุดออกมาแล้วพุ่งไปชนกับขั้วบวกซึ่งทำเป็นแผ่นโลหะ เรียกว่า เป้า (TARGET) ก็จะเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง หรือ เบรมสตราลุง (BREMSSTRAHLUNG) และใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น



รูปที่ 2.2 แบบภาพตัดขวางหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (1)

2.2.2.1.2 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาชนิดไอโซโทปรังสี แบ่งออกเป็น 3 พวก คือ

2.2.2.1.2.1 ต้นกำเนิดรังสีที่ให้โฟตอนพลังงานต่ำ (LOW ENERGY PHOTON SOURCE)

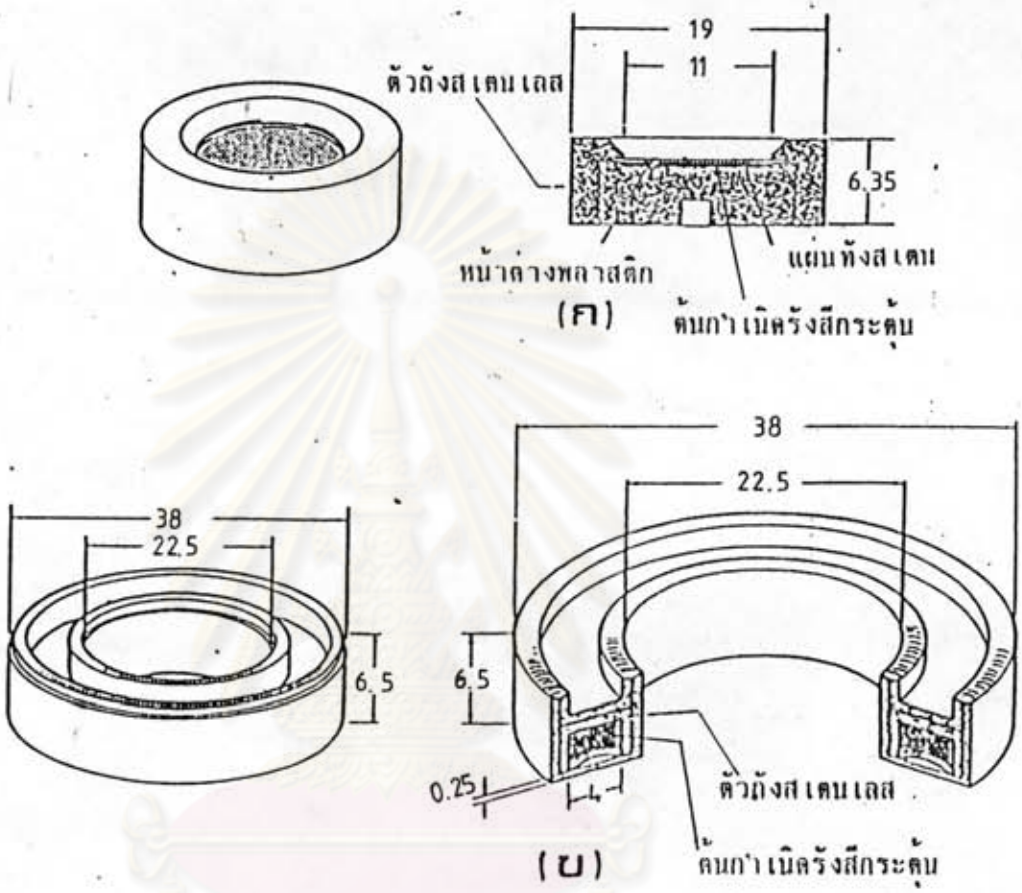
2.2.2.1.2.2 ต้นกำเนิดรังสีประเภทอิเล็คตรอนแคปเจอร์ (ELECTRON CAPTURE SOURCE) ดูตารางที่ 1. ในภาคผนวก

2.2.2.1.2.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา (CONTINUOUS X-RAY SOURCE หรือ BREMSSTRAHLUNG SOURCE) ดูตารางที่ 2. ในภาคผนวก

ลักษณะของต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปรังสี

-แบบจุดหรือแบบแผ่น (POINT SOURCE หรือ DISC SOURCE)

-แบบวงแหวน (ANNULAR SOURCE หรือ RING SOURCE)



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทป (ขนาดบอกเป็น มม.)
(ก) แบบแผ่น, (ข) แบบวงแหวน (1)

2.2.2.2 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น

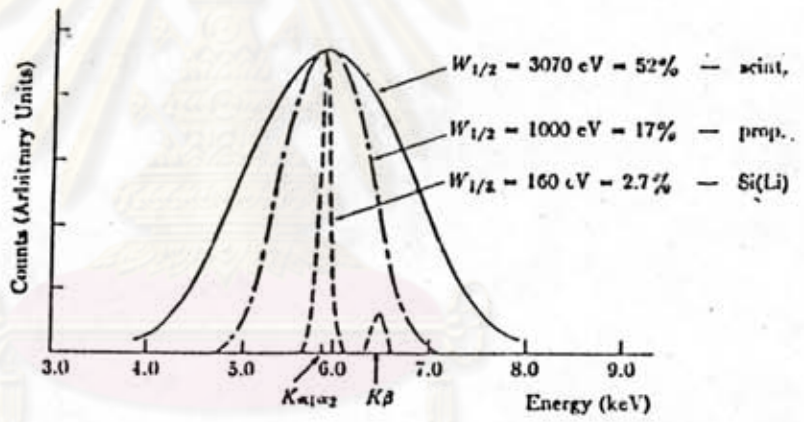
- ตัวอย่างบาง โดยมากจะใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลวที่มีปริมาณน้อย ๆ หรือพวกแก๊สต่าง ๆ

- ตัวอย่างหนา ซึ่งจะต้องมีความหนาของตัวอย่างมากกว่าความหนาวิกฤต (CRITICAL THICKNESS;ความหนาของตัวอย่างที่ทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองมีค่าเท่ากับ 95% ของความเข้มสูงสุด) โดยมากจะใช้กับตัวอย่างที่เป็นของแข็ง หรือ เป็นผง

2.2.2.3 ส่วนของระบบวัดและการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ ประกอบด้วย

- หัววัดรังสีเอกซ์ (X-RAY DETECTOR)
- ภาคขยายส่วนหน้า (PREAMPLIFIER)
- ภาคขยายหลัก (AMPLIFIER)
- เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (ANALYZER)

หัววัดรังสีเอกซ์ทำหน้าที่แจกแจงพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ ซึ่งความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (ENERGY RESOLUTION) และประสิทธิภาพของหัววัดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของหัววัดที่ใช้ หัววัดใดที่มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานดี ก็จะมีประสิทธิภาพไม่ดี ดังรูปที่ 2.4 สัญญาณจากหัววัดรังสีจะถูกปรุงแต่งรูปและขยายโดยภาคขยายส่วนหน้าและภาคขยายหลัก และถูกส่งไปยังเครื่องวิเคราะห์ ซึ่งอาจจะเป็นเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MULTI-CHANNEL ANALYZER,MCA) หรือเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (SINGLE CHANNEL ANALYZER,SCA)



รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการแจงแจกพลังงานของหัววัดรังสีทั้ง 3 ชนิด(1)

หัววัดรังสีเอกซ์ที่ใช้กันอยู่มี 3 ชนิด คือ

2.2.2.3.1 หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดเรืองแสง (SCINTILLATION DETECTOR) ได้แก่ หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ (NaI (Tl)) แบบบาง มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานไม่ดี โดยมีความสามารถในการแจกแจงประมาณ 52% ที่ 5.9 keV เหมาะสำหรับใช้วัดพลังงานต่ำ ๆ ตั้งแต่ 4.5 keV ขึ้นไป (Ti-$K\alpha$) และธาตุที่จะวิเคราะห์จะต้องมีความแตกต่างของเลขอะตอม (ATOMIC NUMBER))ประมาณ 7-10

2.2.2.3.2 หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดบรรจุก๊าซ เป็นหัววัดรังสีเอกซ์ที่เหมาะในการวัดพลังงานต่ำ ได้แก่ หัววัดรังสีเอกซ์แบบพรอพพอร์ชันแนล (PROPORTIONAL DETECTOR) ที่บรรจุก๊าซอาร์กอน (ARGON,Ar),ซีนอน (XENON,Xe),คริปทอน(KRYPTON,Kr) หรือมีเทน (METHANE,CH_4) เมื่อใช้หน้าต่างเบอริเลียม (Be-WINDOW) หนา 0.05 มม.จะสามารถวัดพลังงานตั้งแต่ 1.74 keV (Si-Kα) สำหรับพลังงานที่ต่ำกว่านี้จะใช้หัววัดรังสีเอกซ์แบบพรอพพอร์ชันแนลโฟลเค้าเตอร์ (PROPORTIONAL FLOW COUNTER) ซึ่งอาจจะบรรจุก๊าซดังกล่าวหรือก๊าซผสมของฮีเลียม-มีเทน (HELIUM-METHANE,He-CH_4), อาร์กอน-มีเทน (ARGON-METHANE,Ar-CH_4),ซีนอน-มีเทน (XENON-METHANE,Xe-CH_4) หรือ ฮีเลียม-ไอโซบิวเทน (HELIUM-ISOBUTHANE) โดยมีละลูมิเนียมเคลือบบนเทไรรีน (TERRYLENE) หนา 0.006 มม. เป็นหน้าต่างสามารถวัดพลังงานตั้งแต่ 1.25 keV ได้(Mg-Kα) ส่วนพลังงานที่ต่ำกว่านี้อาจใช้หน้าต่างโคลโลดัน (COLLODION WINDOW) หรือไม่ใช้หน้าต่างเลย (WINDOWLESS)

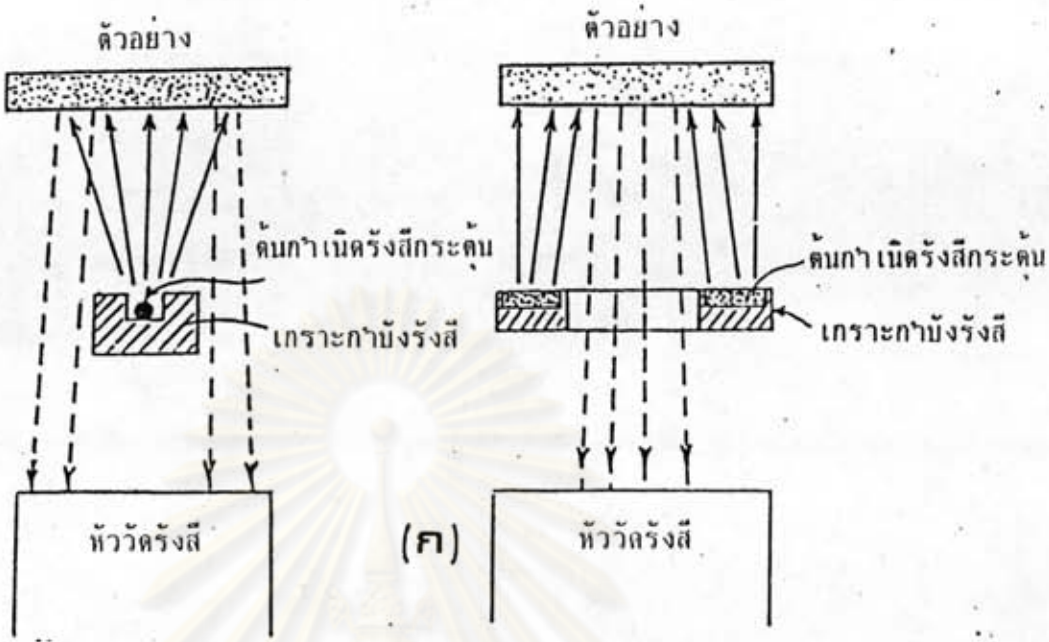
โดยทั่วไปหัววัดชนิดนี้มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานปานกลาง โดยมีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานประมาณ 16% ที่ 5.9 keV และธาตุที่จะวิเคราะห์จะต้องมีความแตกต่างของเลขอะตอมประมาณ 2-3

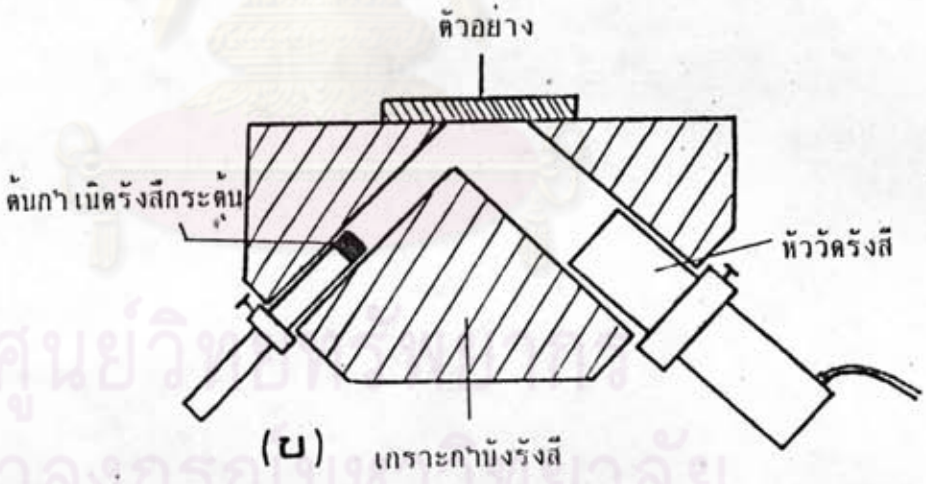
2.2.2.3.3 หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดกึ่งตัวนำ ซึ่งแบ่งเป็นลิเทียมดริฟต์ซิลิกอน (Si(Li):LITHIUM DRIFTED SILICON),ไฮเปอร์เพียวหรือ ไฮเพียวริตี้เจอร์เมเนียม (HPGe:HYPERPURE OR HIGH PURITY GERMANIUM) และลิเทียมดริฟต์เจอร์เมเนียม (Ge(Li):LITHIUM DRIFTED GERMANIUM) หัววัดแต่ละชนิดจะใช้ในการวัดพลังงานสูงขึ้นตามลำดับ หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดนี้มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานดีที่สุด โดยมีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานประมาณ 2.7% ที่ 5.9 keV จึงสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมติดกันได้

2.2.3 การจัดวางระบบวิเคราะห์ (GEOMETRY OF ARRANGEMENT)

2.2.3.1 โคแอกเซียลจีโอเมตรี (COAXIAL GEOMETRY) คือระบบที่ทั้งหัววัดรังสีเอกซ์ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่างอยู่ในแนวเดียวกัน

2.2.3.2 นอนโคแอกเซียลจีโอเมตรี (NONCOAXIAL GEOMETRY) คือระบบที่หัววัดรังสีเอกซ์และต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน





รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังการจัดระบบวิเคราะห์

(ก) การจัดแผนผังแบบโคแอกเชียลจีโอเมตริ

(ข) การจัดแผนผังแบบนอนโคแอกเชียลจีโอเมตริ (1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย