บทที่ 2

เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

2.1 รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

2.1.1 รังสีเอกซ์ (X-Rays) รังสีเอกซ์มีอยู่ 2 ประเภท คือรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) และรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (continuous x-ray) รังสีเอกซ์เฉพาะตัวเกิดจากการแทนที่อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นใน ๆ (คือ K, L หรือ M) ที่หลุดออกไปด้วยอันตรกิริยาใด ๆ กับอนุภาคนิวเคลียร์จากภายนอกหรือการจับอิเล็กตรอนโดยนิวเคลียส (electron capture) ทำให้เกิดที่ว่างในตำแหน่งนั้น อิเล็กตรอนอื่น ๆ ในวงนอกก็จะเข้ามาแทนที่ซึ่งจะต้องลดระดับพลังงาน ด้วยการคายพลังงานส่วนหนึ่งที่เกินออกมา ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิดในช่วงพลังงานตั้งแต่ 0.052 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ในธาตุเบาถึงราว 140 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ในธาตุหนัก ส่วนรังสีเอกซ์ต่อเนื่องเกิดจากการยิงธาตุหนักด้วยอนุภาคมีประจุพลังงานสูงเมื่อเข้าใกล้นิวเคลียสของเป้า(target) แล้วเกิดการดูดและผลักกับนิวเคลียสและอิเล็กตรอนของอะตอมเป็นผลให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและความหน่วง อนุภาคมีประจุจะสูญเสียพลังงานในรูปรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากการเข้าชนของอนุภาคมีประจุเป็นแบบสุ่ม (random) ทำให้ทิศทางที่เบนไปและการสูญเสียพลังงานไม่แน่นอน ค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ได้จะมีหลายค่าที่ต่อเนื่องกันตั้งแต่ศูนย์ จนถึงค่าสูงสุดของพลังงานของอนุภาคมีประจุที่ยิงมาเรียกรังสีเอกซ์แบบนี้อีกชื่อหนึ่งว่า"เบรมส์สตราห์ลุง (Bremsstrahlung)"

2.1.2 รังสีแกมมา (γ-Rays) รังสีแกมมาเกิดจากนิวเคลียสของไอโซโทปรังสีหรือปฏิกิริยานิวเคลียส์ เช่น ปฏิกิริยานิวตรอนแกมมา (n,γ) ทำให้นิวเคลียสมีพลังงานส่วนเกินซึ่งเรียกว่าสภาวะเอ็กไซเทดสเตท (exited state) จะต้องคายพลังงานส่วนหนึ่งออกมาเพื่อกลับสู่สภาวะปกติ (ground state) พลังงานที่ออกมานี้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่ารังสีแกมมา พลังงานรังสีแกมมาขึ้นอยู่กับชนิดของไอโซโทปกัมมันตรังสี และปฏิกริยานิวเคลียร์ที่ให้โฟตอน (photon) จะมีพลังงานเดียวหรือหลายค่าก็ได้ พลังงานรังสีแกมมามีค่าอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 3.5 เมกกะอิเล็กตรอนโวลท์ ปรากฏการณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดรังสีแกมมา คือเมื่ออิเล็กตรอนรวมตัวกับโปสิตรอน (positron) มวลของทั้งสองจะหายไป เรียกว่าเกิด แอนนิฮิเลชัน (annihilation) ได้รังสีแกมมาพลังงาน 0.511 เมกกะอิเล็กตรอนโวลท์ 2 ตัว

2.2 ทฤษฎีการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

เมื่อรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าวิ่งเข้าชนอะตอมของสารจะเกิดอันตรกิริยา(interaction)กับอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรพลังงานบางส่วนอาจสูญเสียให้กับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปจากอะตอมเป็นไปตามหลักการคงตัวของโมเมนตัมและพลังงาน พลังงานของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่กระเจิงกลับออกมา(9) เป็นตามสมการที่ 2.1

$$\text{เมื่อมุม } \theta = 180^{\circ} \quad E' \,]_{\theta=\pi} = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_o C^2}} \qquad \ldots\ldots\ldots (2.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบทำอัตรกริยากับอิเล็กตรอน

E' คือ พลังงานของรังสีเอกซ์ที่กระเจิงกลับ

C คือ ความเร็วแสง

m_o คือ มวลที่หยุดนิ่งของอิเล็กตรอน

$m_o C^2$ มีค่าเท่ากับ 0.511 MeV

ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า " การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering) " หรือ " การกระเจิงอินโคฮีเรนท์ (incoherent scattering) " โอกาสที่จะเกิดการกระเจิงแบบคอมพ์ตันเป็นไปตามสมการที่ 2.2

$$\sigma_c = Z \, e\sigma_c \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.2)$$

โดยที่ σ_c คือ ภาคตัดขวางของคอมพ์ตันต่ออะตอม

Z คือ จำนวนอิเล็กตรอนในอะตอม

$e\,\sigma_c$ คือ ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมพ์ตันต่ออิเล็กตรอน

จากสมการที่ 2.2 หมายความว่า ถ้าธาตุที่มีเลขอะตอมสูงโอกาสที่จะเกิดการกระเจิงแบบคอมพ์ตันจะมีมากกว่าธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ และถ้าพลังงานสูงขึ้นการกระเจิงแบบคอมพ์ตันจะลดลงที่พลังงาน $E = 0$ ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน ($e\,\sigma_c$) มีค่าเท่ากับ 0.665 บาร์น ซึ่งจะเป็นค่าสูงสุดและถ้า E เพิ่มขึ้น ค่า ($e\,\sigma_c$) จะลดลงต่ำกว่านี้อีก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน ยังขึ้นอยู่กับมุมการกระเจิงอีกด้วย รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับประมาณ 256 กิโลอิเล็คตรอนโวลท์ และมุมการกระเจิงตั้งแต่ 12ø-18ø การกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์จะมีพลังงานใกล้เคียงกับรังสีเอกซ์ก่อนทำอันตรกิริยา (คือน้อยกว่าเล็กน้อย) ถ้า E อยู่ในช่วงอิเล็กตรอนโวลท์ถึงกิโลอิเล็กตรอนโวลท์ แล้ว $E' \simeq E$ และถ้า $E >> m_oC^2/_2$ (ø.256 ล้านอิเลคตรอนโวลท์) ในกรณีที่ E มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 2øø กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ลงมาความเข้มของรังสีที่กระเจิงเข้าหัววัดจะมากที่สุดที่มุม 18ø จะน้อยที่สุดที่มุม 9ø

การกระเจิงของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาอีกแบบหนึ่ง เรียกว่า " การกระเจิงโคฮีเรนท์ (coherent scattering)" เป็นปรากฏการณ์ที่รังสีเอกซ์ชนกับอิเล็กตรอนของอะตอมแล้วกระเจิงออกมาโดยไม่สูญเสียพลังงาน ผลก็คือได้รังสีที่กระเจิงมีพลังงานเท่ากับพลังงานของรังสีที่ตกกระทบ

ในเนื้อถ่านหินจะมีธาตุเบาเป็นองค์ประกอบได้แก่ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอน ซึ่งมีเลขอะตอมเฉลี่ยประมาณ 6 ส่วนเถ้ามีองค์ประกอบเป็นธาตุหนักที่มีเลขอะตอมสูงกว่า เช่น ซิลิกอน อะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แบเรียม สตรอนเตียมซึ่งมีเลขอะตอมเฉลี่ยประมาณ 12 ธาตุหนักจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนรังสีเอกซ์สูงกว่าธาตุเบา ถ้าถ่านหินมีปริมาณเถ้ามาก แสดงว่ามีส่วนประกอบของธาตุหนักอยู่มาก การดูดกลืนรังสีเอกซ์จะมีมากด้วย การกระเจิงกลับของรังสีจะน้อยแต่ในทางกลับกันถ้ามีปริมาณเถ้าในถ่านหินน้อยก็จะมีส่วนประกอบของธาตุหนักน้อย การกระเจิงกลับของรังสีก็จะมีมากโดยอาศัยหลักการนี้ การหาปริมาณเถ้าในถ่านหินจึงสามารถกระทำได้ แต่จำเป็นต้องมีการศึกษารายละเอียดของเทคนิคในแง่มุมต่าง ๆ อย่างดี เพื่อจะทราบถึงความสามารถและขีดจำกัด ได้แก่ ความเหมาะสมของพลังงานรังสี ขนาดตัวอย่าง และการจัดระบบวัดรังสีกับหัววัดรังสี ตลอดจนอิทธิพลของธาตุที่มีปริมาณสูงและมีความแปรปรวนสูงต่อผลการวัด (โดยทั่วไป ได้แก่ เหล็ก ฯลฯ) เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการออกแบบและสร้างเพื่อให้ได้อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณเถ้าในถ่านหินที่มีความแม่นยำ สามารถใช้งานในภาคสนามได้

2.3 เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์กับการหาปริมาณเถ้าในถ่านหิน

การเลือกใช้พลังงานของรังสีเอกซ์ที่เหมาะสมมาใช้งาน จะต้องพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีและความไว (sensitivity,S) ในการวิเคราะห์ปริมาณ

เถ้า ซึ่งความไวมีความสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนนับรังสีและปริมาณเถ้าดังนี้

$$S = \frac{\delta n/n}{\delta r/r} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2.3$$

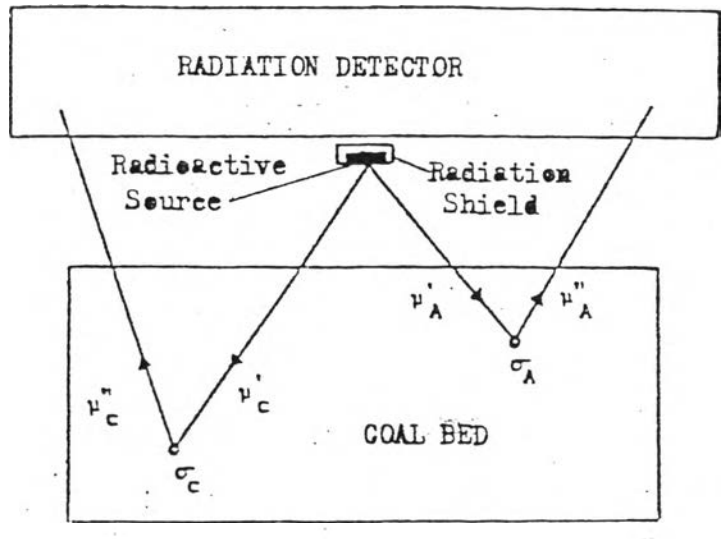
โดยที่ n คือ จำนวนนับต่อวินาที (counts/sec)

r คือ ปริมาณเถ้าในถ่านหิน (ash content)

δn คือ 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

δr คือ ปริมาณเถ้าที่เปลี่ยนไปเมื่อจำนวนนับเพิ่มขึ้น δn

ถ้าจะให้การวัดมีความถูกต้องมากที่สุดค่า S จะต้องมีค่ามากที่สุดเท่าที่จะมากได้



รูปที่ 2.1 แผนผังระบบวัดปริมาณเถ้าในถ่านหินด้วยเทคนิคการกระเจิงกลับรังสีเอกซ์

เมื่อพิจารณาระบบตามรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ หัววัดรังสีเอกซ์ และตัวอย่างถ่านหิน (4)

โดยที่ μ' คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของรังสีตกกระทบ

μ'' คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของรังสีกระเจิงกลับ

σ คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงแบบคอมพ์ตันและโคฮีเรนท์

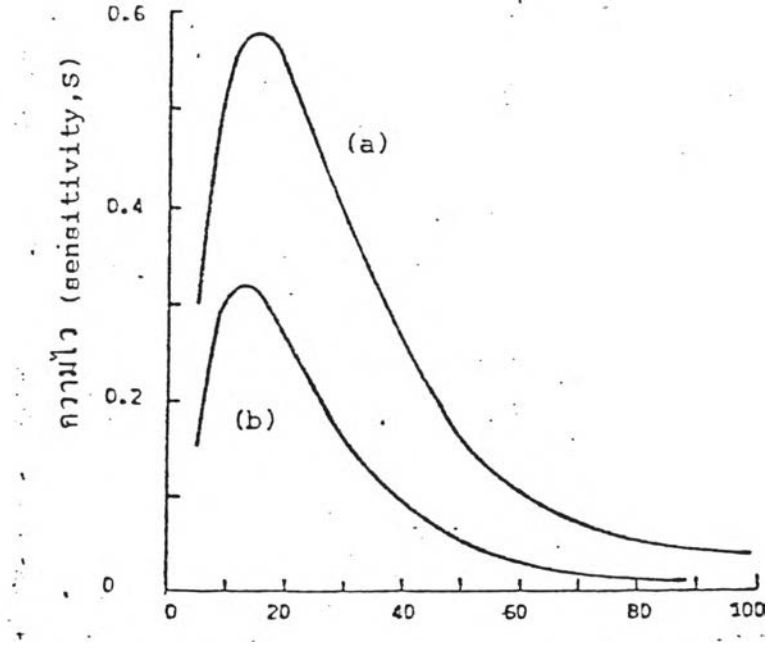
C และ A เป็นสัญญลักษณ์บ่งบอกว่าเป็นเนื้อถ่านหิน (coal matter) และเถ้า (ash) ในถ่านหินตามลำดับ จากรูปที่ 2.1

$$n \propto \frac{\sigma_c(1-r) + \sigma_A r}{\mu_c(1-r) + \mu_A r} \qquad \text{.....} \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.3) และ (2.4)

$$S = \frac{r(\sigma_A\mu_c - \sigma_c\mu_A)}{[\mu_c + r(\mu_A - \mu_c)]\,[\sigma_c + r(\sigma_A - \sigma_c)]} \qquad \text{.....} \quad (2.5)$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า S กับค่าพลังงานของรังสีที่ตกกระทบจากสมการที่ 2.5 โดยใช้ถ่านหินที่มีปริมาณเถ้า 5 เปอร์เซ็นต์และ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าที่พลังงานรังสีเอกซ์ตกกระทบประมาณ 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์จะให้ค่า S สูงที่สุดและเมื่อพลังงานยิ่งสูงขึ้นค่า S จะลดต่ำลง

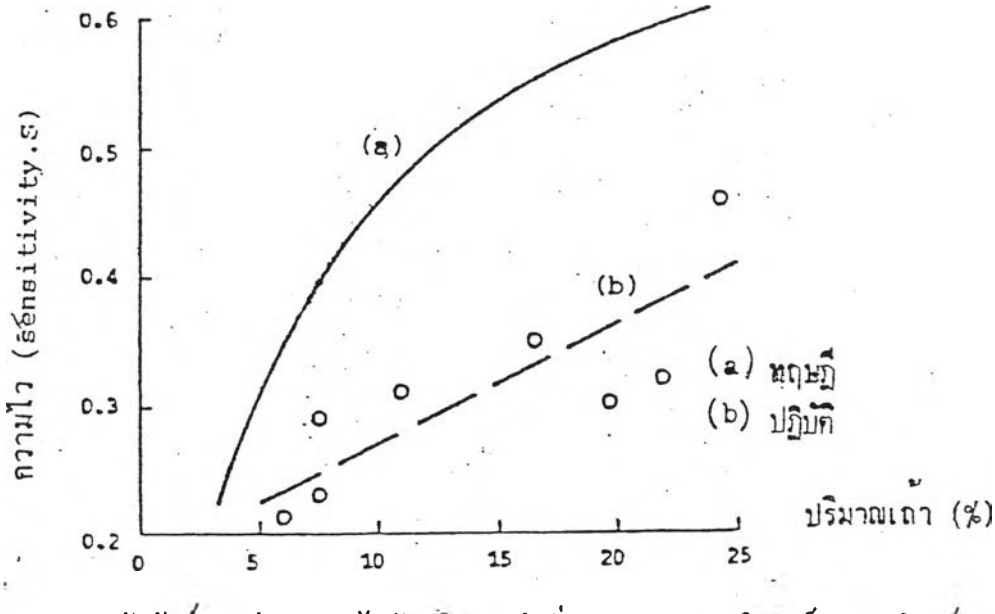


(a) ปริมาณเถ้า 20 เปอร์เซ็นต์

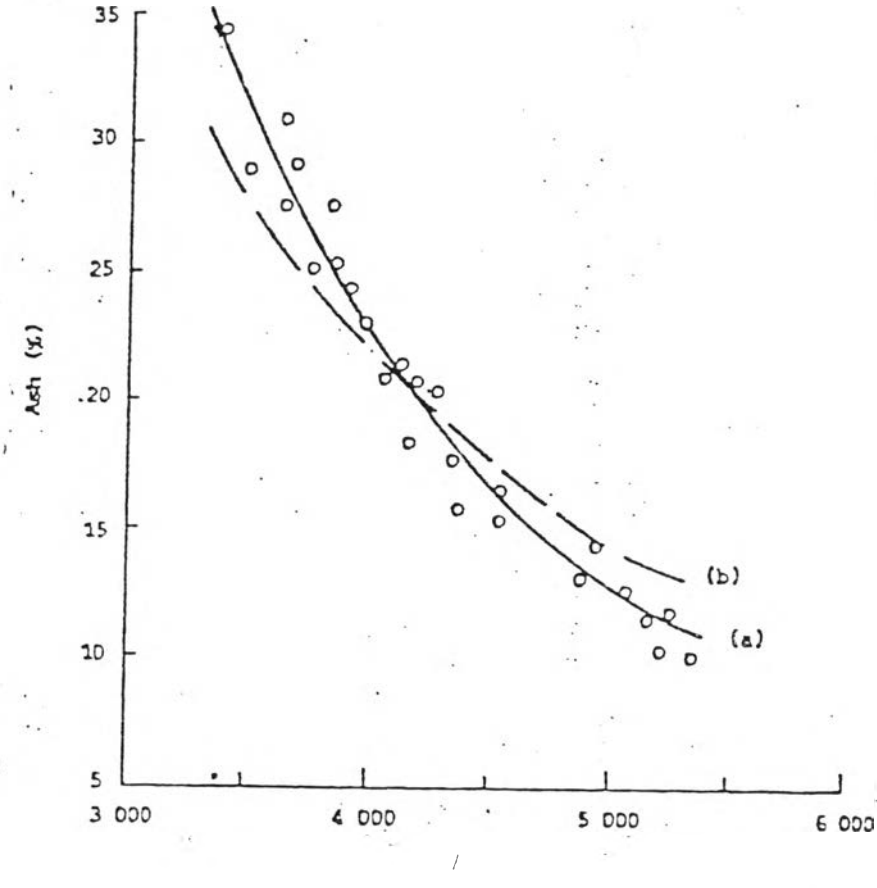
(b) ปริมาณเถ้า 5 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความไว (S) กับพลังงานรังสีเอกซ์ตกกระทบ

จากกราฟรูปที่ 2.2 ถ้านำข้อมูลมาเขียนกราฟระหว่างค่า S กับปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์) ที่พลังงาน 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.3 เปอร์เซนต์ของเถ้าลดลงค่าความไวจะลดลงด้วยทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ แต่ที่ต่างกันคือการคำนวณทางทฤษฎี (กราฟเส้น a) คิดแบบ narrow beam ส่วนทางปฏิบัติ (กราฟเส้น b)จะต่างไปจาก narrow beam พอสมควร



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความไวกับปริมาณเถ้าที่พลังงาน 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์



(a) กราฟปรับเทียบจากการทดลอง

(b) กราฟปรับเทียบจากทฤษฎี

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้า(เปอร์เซ็นต์)กับความเข้มรังสีการกระเจิงกลับ

2.4 การลดอิทธิพลของเหล็กที่มีผลต่อความถูกต้องของการวัดปริมาณเถ้าในถ่านหิน

ในทางปฏิบัติ ธาตุที่มีปริมาณสูงและมีความแปรปรวนสูงอย่างเช่นเหล็ก แคลเซียม ฯลฯ จะมีผลต่อการวัดความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับมากพอที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในถ่านหินผิดพลาดไปได้ อย่างไรก็ตามการแก้ไขหรือลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้สามารถทำได้ เช่นโดยการใช้แผ่นอะลูมิเนียมบาง ๆ ดูดคลื่นรังสีเอกซ์ก่อนเข้าหัววัดรังสีและโดยการวัดความเข้มรังสีเอกซ์เรืองของเหล็กเพื่อนำไปแก้ค่าความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิง เป็นต้น

ถ้าพิจารณาแบบจำลองตามรูปที่ 2.1 โดยที่ I เป็นความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิง-กลับทั้งหมดรวมกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุทั้งหมด i ธาตุ แต่ละธาตุมีความเข้มขั้นเท่ากับ r_i

จะได้ $$I = kI_o \left| \frac{\sum_i \sigma_i r_i}{2\sum_i \mu'_i r_i} \right| + \left| \frac{(\tau_k w_k r)_{Fe}}{\sum_i (\mu' + \mu_2)_i r_i} \right| \quad .... (2.6)$$

I_o คือ ความเข้มของรังสีตกกระทบ

σ คือ ผลรวมสัมประสิทธิ์แบบคอมพ์ตันกับโคฮีเรนท์

μ' คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของรังสีตกกระทบ

μ_2 คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์เรืองของเหล็ก

w_k คือ ฟลูออเรสเซนซ์ยีลด์ (fluorescence yield) ของรังสีเอกซ์เรืองของเหล็กเส้น K

τ_k คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟโตอิเล็กตริค (photoelectric) ของอิเล็กตรอนชั้น K ของเหล็ก

k คือ ค่าคงที่ของระบบ

จากสมการที่ 2.6 ในวงเล็บจะมี 2 พจน์ พจน์แรก คือการกระเจิงรังสีที่พลังงาน E_1 และพจน์ที่ 2 คือการเรืองรังสีชั้น K ของเหล็กที่พลังงาน E_2

เมื่อใช้แผ่นอะลูมิเนียมกรองรังสี สมการที่ 2.6 จะเป็นดังนี้

$$I = kI_o \left| \frac{\sum_i \sigma_i r_i}{2\sum_i \mu'_i r_i} \right| \exp(-\mu' m)_{Al} + \left| \frac{(w_k \tau_k r)_{Fe}}{\sum_i (\mu' + \mu_2)_i r_i} \right| \exp(-\mu_2 m)_{Al} \quad ..(2.7)$$

ถ้าตั้งเงื่อนไขสำหรับค่าชดเชย $F = \frac{\partial I}{\partial r_{Fe}} = 0$ โดยที่ไม่กรองด้วยแผ่นอะลูมิเนียมจะได้สมการดังนี้

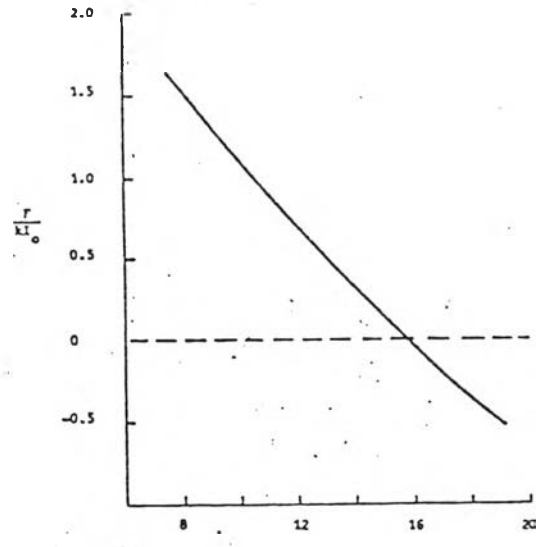
$$F = \frac{\partial I}{\partial r_{Fe}} = kI_o\left\{ \frac{1}{\left(2\sum \mu'_i r_i\right)} \left| \sigma_{Fe} - \frac{\sum \sigma_i r_i}{2\sum \mu'_i r_i} (\mu')_{Fe} \right| + \right.$$

$$\left. \frac{(w_{k\,k'})_{Fe}}{\sum (\mu'+\mu_2)_i r_i} \left| 1 - \frac{(\mu'+\mu_2)_{Fe} r_{Fe}}{(\mu'+\mu_2)_i r_i} \right| \right\} = 0 \quad \ldots\ldots \quad (2.8)$$

ถ้ากรองด้วยแผ่นอะลูมิเนียมสมการก็จะคล้ายกับสมการที่ 2.8 เพียงแต่พจน์ในวงเล็บ $\left| \sigma_{Fe} - \frac{\sum \sigma_i r_i}{2\sum \mu'_i r_i} (\mu')_{Fe} \right|$ จะต้องคูณด้วย $\exp(-\mu' m)_{Al}$

จากสมการที่ (2.8) จะแสดงให้เห็นว่าค่า F/kI_o จะขึ้นกับทั้งส่วนประกอบของถ่านหินและความเข้มข้นของเหล็กในถ่านหิน

ค่า F/kI_o ที่วัดจากถ่านหินซึ่งมีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 85 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 12 เปอร์เซ็นต์และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) 3 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าที่พลังงาน 15.8 กิโลอิเลคตรอนโวลท์ จะได้ค่า $\frac{F}{kI_o}$ หรือ F(compensation) = 0 เป็นไปตามสมการที่ (2.8)



พลังงานรังสีตกกระทบ (keV)

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า F/kI_o กับค่าพลังงานของรังสีตกกระทบ

2.5 การพิจารณาเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องมือ

เพื่อให้การหาปริมาณเถ้าด้วยเทคนิคกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและให้ผลถูกต้อง จะต้องพิจารณาถึงระบบวัดรังสีคือการจัดตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี หัววัด และถ่านหินตัวอย่างให้เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 ความหนาของปริมาณถ่านหิน

ความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ (I) จะเพิ่มขึ้นแปรผันโดยตรงกับการเพิ่มความหนาของปริมาณถ่านหิน

$$I \propto \left|1 - \exp - ([\sum(\mu' + \mu'')_i r_i]m)\right| \quad \text{..... (2.9)}$$

โดยที่ m คือ มวลต่อหน่วยพื้นที่ของถ่านหิน (g/cm^2)

ρ คือ ความหนาแน่น (มวลต่อปริมาตร g/cm^3) ของถ่านหิน

x คือ ความหนาของถ่านหิน

$$m = \rho x \quad \text{..... (2.9.1)}$$

เมื่อค่าความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับเท่ากับ 99.3 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มสูงสุด ค่ามวลของลิกไนต์จะหาได้จาก

$$m(99.3\%) = \frac{5}{(\mu' + \mu'')_i r_i} \quad \text{..... (2.10)}$$

ที่ปริมาณเถ้าต่ำมากๆค่าของมวลต่อหน่วยพื้นที่ที่น้อยที่สุดซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เป็นไปตามลมการที่ 2.9 และ 2.10 โดยเฉพาะที่ไม่มีประมาณเถ้าเลย ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสี Pu^{238} จะเท่ากับ 2.9 กรัม/ตารางเซนติเมตร

ความหนาแน่นต่ำสุดของตัวอย่างถ่านหินเท่าที่พบมีค่าประมาณ 0.7 กรัม/ลูกบาศก์-เซนติเมตร เพราะฉะนั้นความหนาของตัวอย่างถ่านหินทางทฤษฎีเท่ากับ 41 มิลลิเมตรและ 30 มิลลิเมตรในทางปฏิบัติ

2.5.2 ระยะระหว่างตัวอย่างถึงต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี

ระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสี หัววัดรังสีและผิวหน้าของถ่านหินตัวอย่าง มีผลต่อความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ และรังสีเอกซ์เส้น K ของเหล็ก ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์พลังงาน 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ระยะทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อถ่านหินเฉลี่ยประมาณ 7 มิลลิ-เมตรที่ความหนาแน่นของถ่านหินตัวอย่างเท่ากับ 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะฉะนั้นการเลือกระยะควรเลือกระยะที่มากกว่า 7 มิลลิเมตรขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบเนื่องจากความหนาแน่น

2.5.3 การเลือกใช้หัววัดรังสี

หัววัดรังสีที่จะใช้ต้องมีความไว (sensitive) สูงพอที่พลังงานของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับและการเรืองรังสีเอกซ์เส้น K ของเหล็ก และขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปที่จะสามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้ จากการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ของหัววัดแล้วหัววัดแบบพรอพอร์ชันนัล (proportional counter) จะเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้

2.6 องค์ประกอบที่มีผลต่อความถูกต้อง

2.6.1 ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง (particle size) ขนาดอนุภาคตัวอย่างต่างกันจะมีผลต่อความถูกต้องของการวัดแบบกระเจิงกลับรังสีเอกซ์

ความผิดพลาดเกิดขึ้นเพราะภาชนะที่บรรจุตัวอย่างมีขนาดเท่ากันขนาดอนุภาคตัวอย่างต่างกันจำนวนอนุภาคตัวอย่างในแต่ละภาชนะจะไม่เท่ากัน และยิ่งกว่านั้นขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น ระยะเฉลี่ยจากผิวหน้าของตัวอย่างถึงต้นกำเนิดรังสีและหัววัดจะเพิ่มขึ้นทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัด

2.6.2 ความแปรปรวนของความชื้น

อิทธิพลของความชื้นจะมีผลต่อการวัดทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลทางตรงก็คือเนื่องจากน้ำประกอบด้วยธาตุเบาคือไฮโดรเจนและออกซิเจนทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าปริมาณเถ้าที่หาได้มีค่าลดลงกว่าตัวอย่างแห้งและผลทางอ้อมจะทำให้ถ่านหินตัวอย่างมีความหนาแน่นเปลี่ยนไปจากเดิม