บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 รังสีแกมมา

การประยุกต์ใช้ต้นกำเนิดรังสี จะต้องอาศัยความเข้าใจควบคู่กันระหว่างคุณสมบัติของรังสีที่แผ่กระจายจากต้นกำเนิดรังสีและวิธีการวัดความเข้มรังสี ความเข้มรังสีที่แปรเปลี่ยนไปหลังจากการเกิดอันตรกิริยากับตัวกลาง จะให้ผลของความสัมพันธ์กับคุณสมบัติตัวกลาง ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดอันตรกิริยาภายในตัวกลางชนิดนั้นๆ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยควอนตัมของพลังงาน เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที ไม่มีประจุไฟฟ้า มีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (E) กับความถี่ (ν) หรือความยาวคลื่น (λ) ดังสมการที่ 2.1[1]

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \qquad (2.1)$$

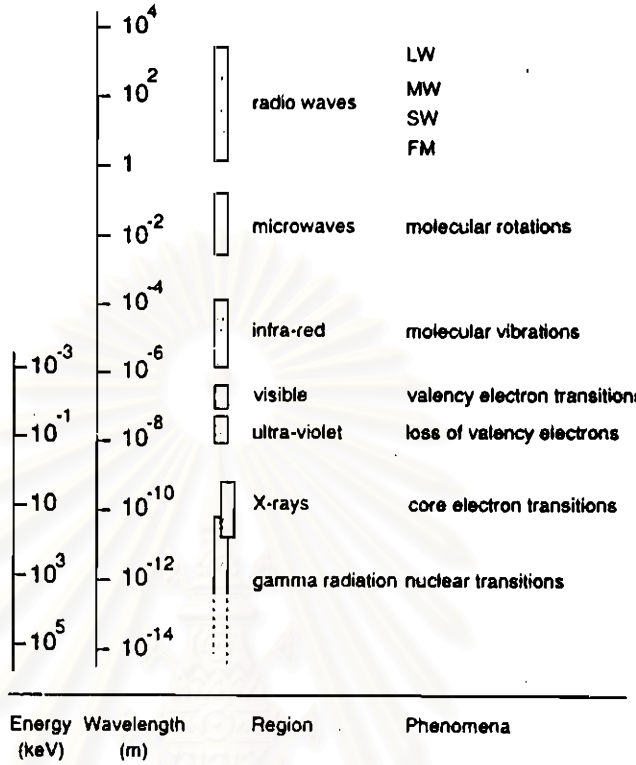
เมื่อค่า

h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์ (planck's constant) มีค่า 6.626×10^{-34} จูล.วินาที

c คือ ความเร็วแสง

รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจำแนกโดยความยาวคลื่นเป็นชนิดต่างๆ ตามความยาวคลื่นจากน้อยไปหามากตามลำดับดังนี้ รังสีแกมมา (γ-ray) รังสีเอกซ์ (X-ray) รังสีอุลตราไวโอเลต (ultraviolet) แสงในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) อินฟราเรด (infrared) ไมโครเวฟ (microwave) คลื่นวิทยุ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [2]

รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสภาวะเป็นกลุ่มพลังงานที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง เกิดจากไอโซโทปกัมมันตรังสี หรือจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ซึ่งพลังงานของรังสีขึ้นอยู่กับชนิดของไอโซโทปของกัมมันตรังสี และชนิดของปฏิกิริยานิวเคลียร์



รูปที่ 2.1 รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร[3]

การสูญเสียพลังงานของรังสีแกมมาเมื่อผ่านสสาร จะแตกต่างกับอนุภาคที่มีประจุ เพราะอนุภาคที่มีประจุจะสูญเสียพลังงานไปเนื่องจากอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนของอะตอม ต่างจากรังสีแกมมาซึ่งสามารถทะลุผ่านตัวกลางไปได้ไกลโดยไม่มีปฏิกิริยา และอาจไม่สูญเสียพลังงานเลยก็ได้ และเมื่อใดก็ตามที่เกิดการปะทะกับอิเล็กตรอนในอะตอมก็อาจสูญเสียพลังงานไปทั้งหมดและถูกจับไว้ หรืออาจสูญเสียพลังงานไปเพียงบางส่วนและหักเหออกมาด้วยความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไป จึงกล่าวได้ว่ารังสีแกมมาไม่ได้มี specific range ที่แน่นอนเหมือนกับอนุภาคที่มีประจุ อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่มีต่อสสารสามารถแบ่งได้เป็น 4 แบบคือ

1. Photoelectric effect
2. Pair production
3. Compton scattering
4. Coherent scattering

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. Photoelectric effect

Photoelectric effect เกิดเมื่อรังสีแกมมาชนโดยตรงกับอะตอมของตัวกลาง และถ่ายทอดพลังงานทั้งหมด (E_γ) ให้แก่อิเล็กตรอนในวงโคจร และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา (Photo electron)ด้วยพลังงานจลน์ E_e ซึ่งมีค่าเท่ากับ $E_\gamma - E_b$ เมื่อ E_b คือพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาแบบนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อ $E_\gamma > E_b$ หรือกล่าวได้ว่าปฏิกิริยานี้มี Threshold เท่ากับ E_b เนื่องจากมี Photoelectron หลุดออกมาจะทำให้เกิดช่องว่างในวงโคจร อิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นถัดไปจะเข้ามาแทนที่ทำให้เกิด Characteristic X-ray ปฏิกิริยาแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อพลังงานของแกมมามีค่าต่ำกว่า 200 keV พบว่าโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันกับ $Z^5 / E_\gamma^{3.5}$ เมื่อ Z คือเลขอะตอม

ข. Pair production

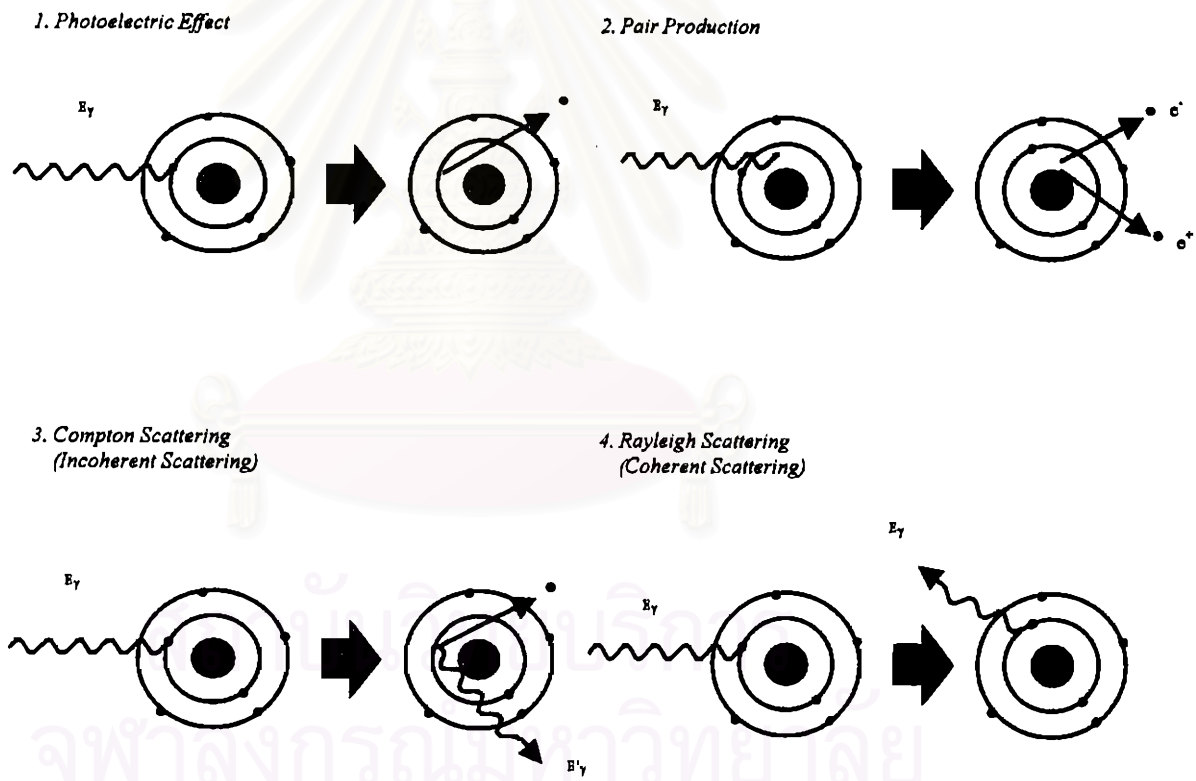
รังสีแกมมาพลังงานสูงๆ อาจถูกดูดกลืนเมื่อทำปฏิกิริยากับสนามไฟฟ้า (coulombic field) ของนิวเคลียส ทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโพซิตรอนเกิดขึ้น เรียกว่า Pair production ปฏิกิริยานี้เป็นตัวอย่างการเปลี่ยนพลังงานเป็นมวล ดังนั้นพลังงานเริ่มต้นของรังสีแกมมาจะต้องมีค่าอย่างน้อย 1.022 MeV ถ้ารังสีแกมมาที่ทำให้เกิด Pair production มีค่ามากกว่า 1.022 MeV พลังงานส่วนที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน และโพซิตรอน โพซิตรอนที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนแล้วทำให้เกิด annihilation radiation คือการเกิด photon 2 ตัว ที่มีพลังงานเท่ากันตัวละ 0.511 MeV เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้าม ซึ่งเป็นตัวอย่างการเปลี่ยนมวลเป็นพลังงาน โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันโดยตรงกับ Z^2

ค. Compton scattering

การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) หรือ incoherent scattering เป็นการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collsion) เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมาชนโดยตรงกับอะตอมของตัวกลางและถ่ายทอดพลังงานบางส่วนให้แก่อิเล็กตรอนในวงโคจร อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์เท่ากับผลต่างของรังสีแกมมาที่เข้ามาและพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน รังสีแกมมาจะสูญเสียพลังงานบางส่วน ทำให้มีพลังงานลดลงและมีทิศทางเปลี่ยนไป ปฏิกิริยาแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อพลังงานของแกมมา มีค่าต่ำพลังงานอยู่ระหว่าง กว่า 0.1 ถึง 10 MeV โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันโดยตรงกับ Z/E

๓. Coherent scattering

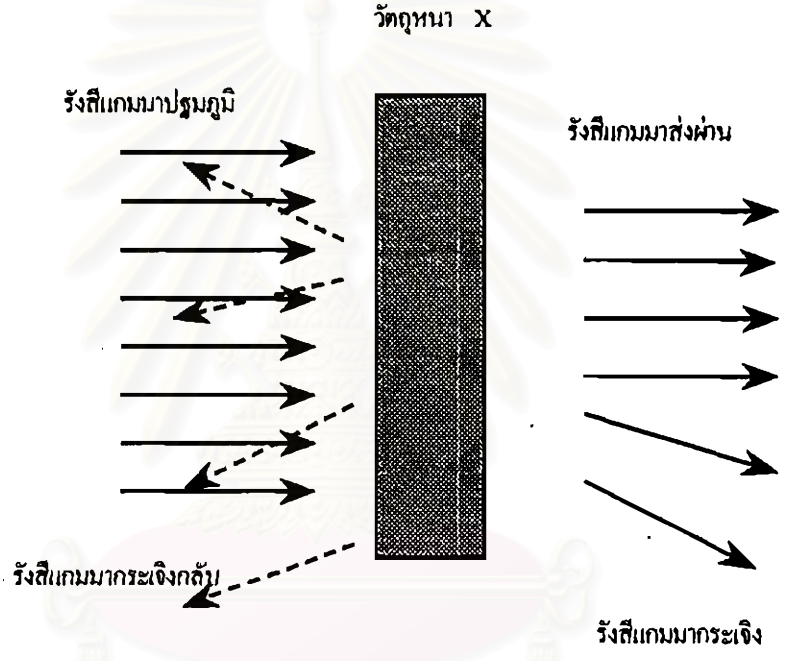
การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ (coherent scattering) หรือการกระเจิงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh scattering) เกิดจากการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collsion) ซึ่งไม่มีการสูญเสียพลังงานของรังสี การเกิดอันตรกิริยาชนิดนี้ พลังงานของรังสีเอกซ์หลังเกิดการชนกับอะตอมตัวกลางยังคงมีค่าเท่ากับพลังงานของรังสีเอกซ์ก่อนเกิดการชน โดยมีเพียงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของรังสีเอกซ์ภายหลังการชนเท่านั้น ปฏิกิริยาแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อพลังงานของแกมมามีค่าต่ำพลังงานอยู่ต่ำกว่า 0.1 MeV ผลรวมของการเกิดอันตรกิริยาในตัวกลาง จากปรากฏการณ์ดังกล่าว รวมเรียกว่า สัมประสิทธิ์ในการลดทอนเชิงเส้นของรังสี (linear attenuation coefficient ,μ)



รูปที่ 2.2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อสสาร

2.1.2 การวัดความเข้มรังสีแกมมา

เมื่อรังสีแกมมาปฐมภูมิตกกระทบตัวกลางจะก่อให้เกิดอันตรกิริยาต่างๆ เป็นผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานทั้งหมดหรือบางส่วนตามโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาเหล่านั้น ความเข้มรังสีหลังอันตรกิริยาจะแปรเปลี่ยนสัมพันธ์กับความหนา และสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของตัวกลาง ความเข้มรังสีส่งผ่าน (transmission radiation) และความเข้มรังสีกระเจิง (scattering radiation) ที่วัดได้ สามารถนำไปแปลงผลเป็นความหนาและส่วนประกอบของวัสดุได้



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมา

ก. ความเข้มรังสีส่งผ่าน (transmission radiation)

สำหรับวัสดุชนิดหนึ่งๆ ความเข้มรังสีส่งผ่านจะลดลงเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นโดยมีผลการแปรเปลี่ยนตามลักษณะลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล (exponential) ดังแสดงด้วยสมการ 2.2[1]

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

X คือ ความหนาวัสดุ (cm)

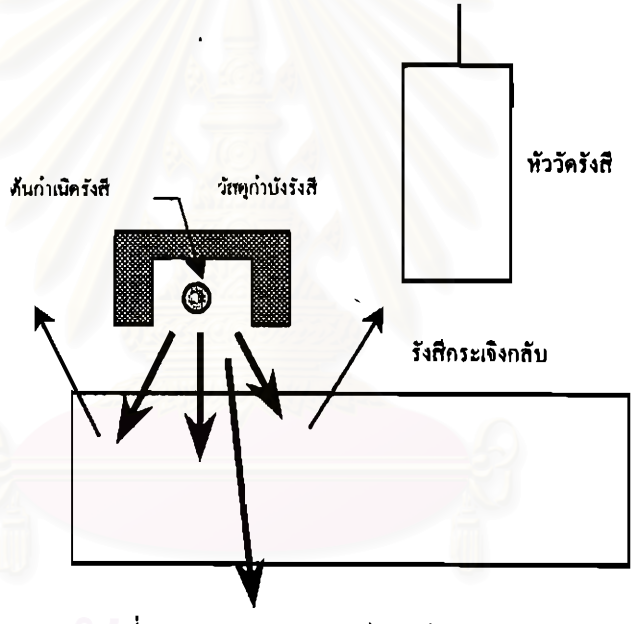
I_x คือ ความเข้มรังสีเมื่อมีวัสดุหนา X

I_0 คือ ความเข้มรังสีเมื่อไม่มีวัสดุกั้น

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสี (cm^2/g)

ข. ความเข้มรังสีกระเจิง (scattering radiation)

เทคนิคการวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับ (back scattering type) เป็นการวัดความเข้มรังสีที่กระเจิงจากตัวกลาง สามารถนำไปใช้ในการวัดความหนาของวัสดุเช่นเดียวกับการวัดโดยเทคนิคการส่งผ่าน



รูปที่ 2.4 การวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับ

โดยที่ความเข้มรังสีกระเจิงกลับสามารถแสดงสมการอย่างง่ายได้ดังนี้[4]

$$I = K I_o \frac{(\sigma_c + \sigma_{coh})}{(\mu + \mu')} (1 - e^{-(\mu+\mu')m}) \quad \text{..... (2.3)}$$

K คือ ประสิทธิภาพของการวัด (overall detection efficiency)

σ_c คือ ภาคตัดขวางของ coherent scattering (cm^2/g)

σ_{coh} คือ ภาคตัดขวางของ compton mass attenuation coefficient (cm^2/g)

พลังงานที่เปลี่ยนไปของรังสีแกมมาภายหลังการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.4[1]

$$E' = \frac{EE_e}{(E(1-\cos\vartheta)+E_e} \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

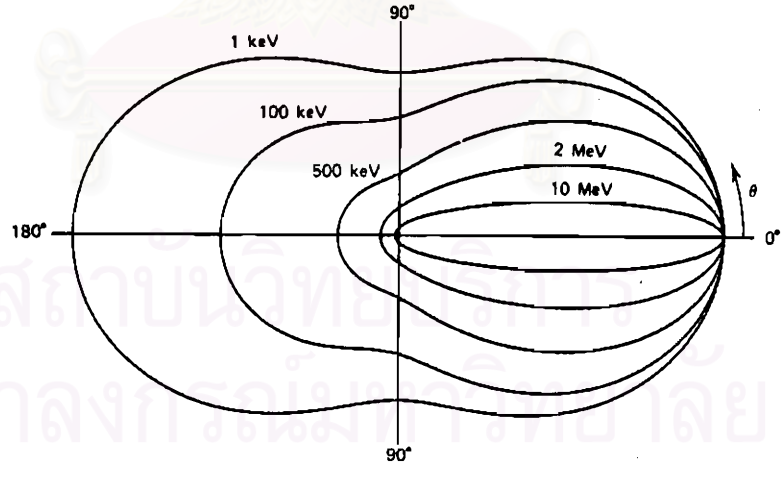
E' คือ พลังงานของรังสีแกมมาภายหลังการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

E คือ พลังงานก่อนการชน

E_e คือ m_oc^2 มีค่า 0.511 MeV

ϑ คือ มุมภายหลังการชน

การกระเจิงของรังสีมีโอกาสเกิดไม่แน่นอนขึ้นกับมุมและค่าพลังงาน ในรูปที่ 2.5 แสดงโอกาสที่รังสีตกกระทบจะถูกกระเจิงเป็นมุมต่างๆ เมื่อมุมกระเจิงท่ากับ 0 องศา โอกาสเกิดการกระเจิงจะมีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 1 สำหรับการกระเจิงกลับ(มุมมีค่ามากกว่า 90 องศา)ของรังสีแกมมาพลังงาน 662 keV พบว่าการกระเจิงกลับ 180 องศาจะมีค่าโอกาสของการเกิดการกระเจิงกลับสูงสุด



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของโอกาสการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันต่อมุมของการกระเจิง

เมื่อวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้นความเข้มรังสีกระเจิงกลับจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามความเข้มรังสีกระเจิงกลับของรังสีแกมมาจะถึงจุดอิ่มตัวเมื่อวัสดุมีค่าความหนาเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ใช้ ในกรณีของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 (พลังงาน 662 keV) หากรังสีแกมกระเจิงกลับทำมุม180 องศา ภายหลังการชนพลังงานจะ

เปลี่ยนไปเป็น 184 keV โดยอาศัยเทคนิคการกระเจิงกลับที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 % สามารถหาความหนาอิ่มตัวของเหล็กได้จากสมการ 2.5[4] โดยค่าความหนาอิ่มตัวจากการคำนวณมีค่า 17 มิลลิเมตร จากคุณสมบัติของเทคนิคการวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวัดระดับของวัสดุได้ โดยหากภาชนะที่ใช้สำหรับการบรรจุวัสดุมีความหนาของผนังไม่เกินค่าความหนาอิ่มตัวแล้ว จะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างภาชนะเปล่าและภาชนะที่มีวัสดุบรรจุอยู่ได้ เนื่องจากความเข้มรังสีกระเจิงกลับสำหรับภาชนะเปล่าเกิดจากผนังภาชนะเท่านั้น ส่วนในกรณีที่มีวัสดุบรรจุอยู่จะเกิดการกระเจิงจากทั้งผนังภาชนะและจากวัสดุรวมกัน

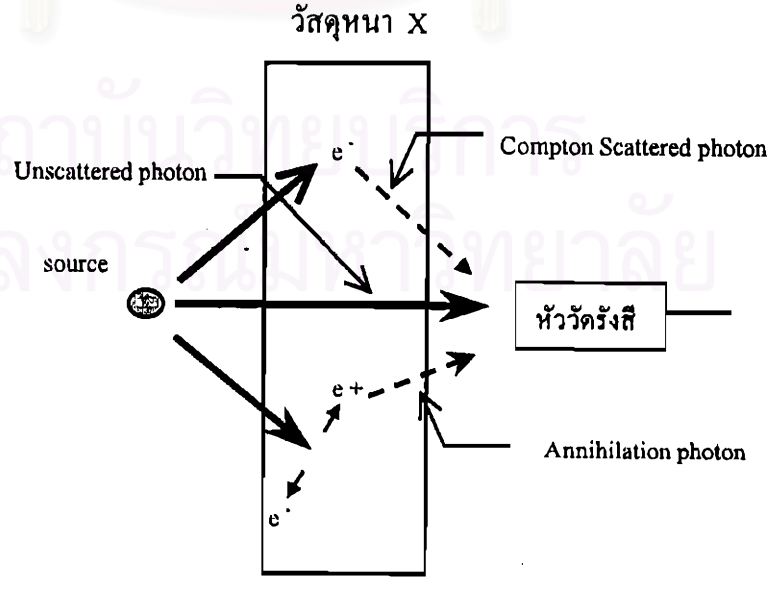
$$\text{ความหนาอิ่มตัวของวัสดุ} = \frac{3}{(\mu + \mu')} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.5)$$

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีส่งผ่าน

μ' คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีกระเจิงกลับ

2.1.3 การลดการวัดผลความเข้มรังสีจากทิศทางอื่น

ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีส่งผ่านที่มีต่อวัสดุ จะเป็นไปตามสมการ 2.2 เมื่อไม่มีความเข้มรังสีกระเจิงจากทิศทางอื่นมารบกวน อย่างไรก็ตามอันตรกิริยาของรังสีจะก่อให้เกิดรังสีกระเจิงจากทิศทางอื่นเข้าสู่หัววัดรังสี ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนจากสมการเริ่มต้น



รูปที่ 2.6 ทางเดินของรังสีเข้าสู่หัววัดรังสี

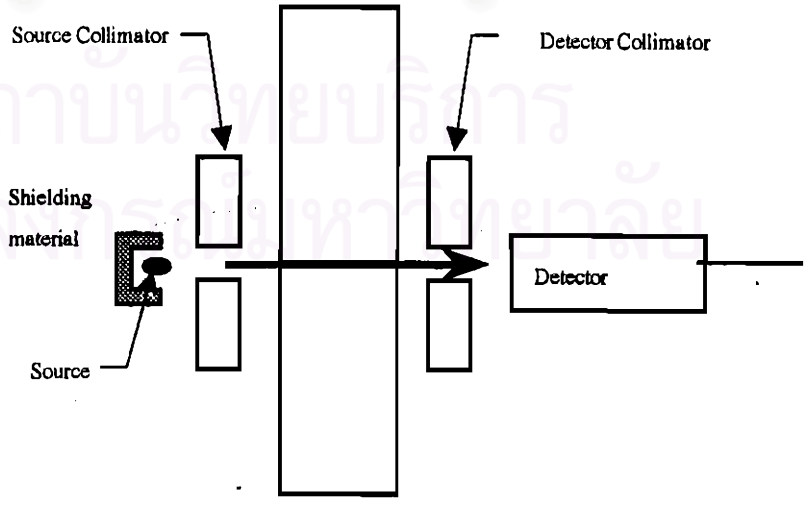
ผลกระทบที่เกิดขึ้นมักมีผลมาจากปรากฏการณ์ คอมป์ตันเอฟเฟคต์ (compton effect) และแพร์โฟรดักชัน (pair production) ส่งผลให้ความเข้มรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสีมีค่ามากกว่าความเป็นจริงที่ควรเกิดจากการทะลุผ่านวัสดุเท่านั้น ในกรณีที่คิดความเข้มรังสีกระเจิงรวมด้วย ความเข้มรังสีในสมการ 2.2 จะเปลี่ยนไปเป็นสมการที่ 2.6

$$I_x = B I_0 e^{-\mu x} \quad \text{..... (2.6)}$$

B คือ ค่า บิลด์อัพแฟคเตอร์ (buildup factor)

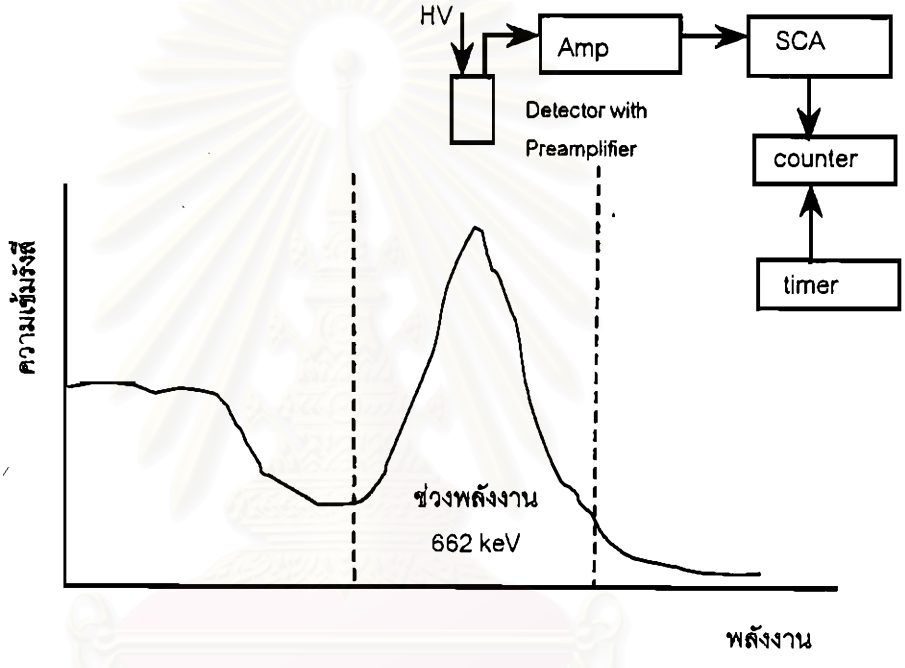
ในทางปฏิบัติ การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ทำได้โดยการลดการวัดผลของความเข้มรังสีกระเจิงจากทิศทางโดยการบังคับลำรังสี (collimation) และการวัดรังสีเฉพาะพลังงานด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single channel analyzer ,SCA) หรือ เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel analyzer ,MCA)

ก. การบังคับลำรังสี เป็นการบังคับลำรังสีให้มีทิศทางเฉพาะแนวที่ต้องการวัด โดยการใช้วัสดุกำบังรังสีห่อหุ้มเจาะช่องบังคับในส่วนของต้นกำเนิดรังสี ในขณะเดียวกันในส่วนของหัววัดรังสีจะเปิดช่องวัดเฉพาะในทิศทางรังสีจากต้นกำเนิดรังสีเพื่อตัดรังสีที่กระเจิงจากทิศทางอื่น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการจัดหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีแกมมา
เพื่อหลีกเลี่ยงการวัดรังสีแกมมากระเจิง

ข. การเลือกวัดความเข้มรังสีเฉพาะพลังงาน อาศัยการเลือกวัดพลังงานเฉพาะรังสีที่ส่งผ่านตัวกลางด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวหรืออุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องทำการเลือกช่วงพลังงานที่ต้องการ รังสีที่มีระดับพลังงานอยู่นอกเหนือจากช่วงดังกล่าวจะถูกตัดออกไป เมื่อใช้ควบคู่กับการบังคับลำรังสี สามารถตัดรังสีที่กระเจิงจากทิศทางอื่นและลดผลการวัดความเข้มรังสีกระเจิงที่อยู่ในทิศทางการวัดลงได้

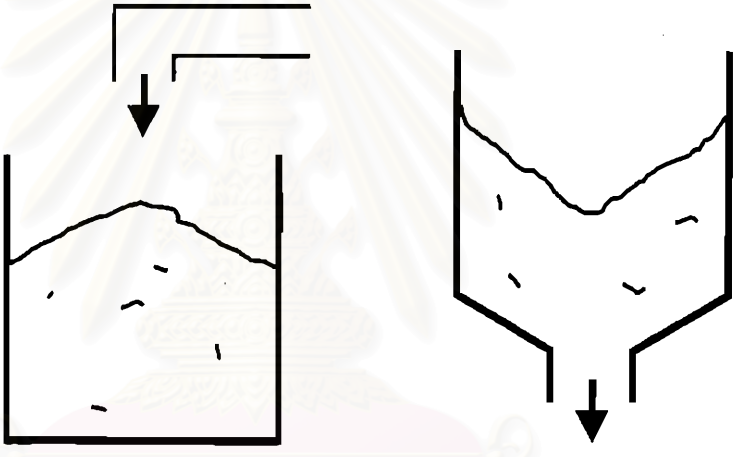


รูปที่ 2.8 การวัดความเข้มรังสีเฉพาะพลังงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การวัดระดับของวัสดุ

ความแตกต่างระหว่างผิวหน้าวัสดุเหลวและวัสดุที่เป็นผงขณะเติมเข้าภาชนะสำรอง เกิดจากการที่ของเหลวมีผิวหน้าที่ราบเรียบสามารถรักษาระดับและความเรียบของผิวหน้าได้ แต่วัสดุผงมีผิวหน้าที่ไม่ราบเรียบ ขึ้นกับสภาวะขณะนั้นว่าเป็นการบรรจุวัสดุลงในภาชนะหรือเป็นการถ่ายวัสดุออกจากภาชนะ



รูปที่ 2.9 การบรรจุวัสดุเข้าภาชนะ และการปล่อยวัสดุออก

นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้ว ลักษณะรูปร่างของผิวหน้าของวัสดุผงจะแตกต่างไปตามขนาดและรูปร่างของเม็ดวัสดุ จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างผลการวัดระดับผิวหน้าของวัสดุผงและของเหลว จึงเกิดความจำเป็นในการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวของวัสดุผงและการส่งผ่านของรังสีแกมมา เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบวัดระดับของวัสดุผงในภาชนะ เช่นซีเมนต์ผงในถังเก็บซีเมนต์

ในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ต้องมีการวัดระดับแทรกอยู่ด้วยเสมอ เช่นการวัดระดับน้ำในถังพัก อาศัยการวัดโดยตรง เช่นลูกลอย ซึ่งเป็นวิธีง่ายๆ แต่ถ้าเป็นการวัดระดับในภาชนะที่มีความดันสูง หรือสารเคมีอันตราย รวมทั้งต้องการสัญญาณของระดับไปใช้ในงานอื่น เช่นการควบคุม มีความจำเป็นต้องประยุกต์ใช้หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์เข้าช่วย

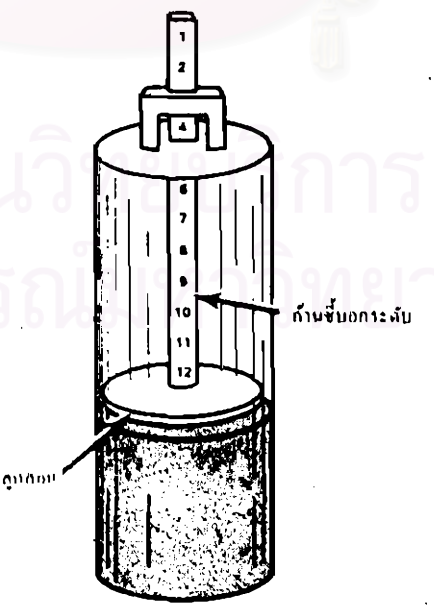
- การวัดระดับโดยการใช้กระจกแก้วมองระดับ (Glass gauge)

กระจกมองระดับเป็นวิธีที่สามารถดูระดับของเหลวได้โดยตรง ใช้มากกับภาชนะที่ไม่สูงมากนักการอ่านค่าจะทำได้ที่ตำแหน่งติดตั้งกระจกมองระดับเท่านั้น

รูปที่ 2.10 ท่อแก้วมองระดับ

- การวัดระดับโดยลูกลอย

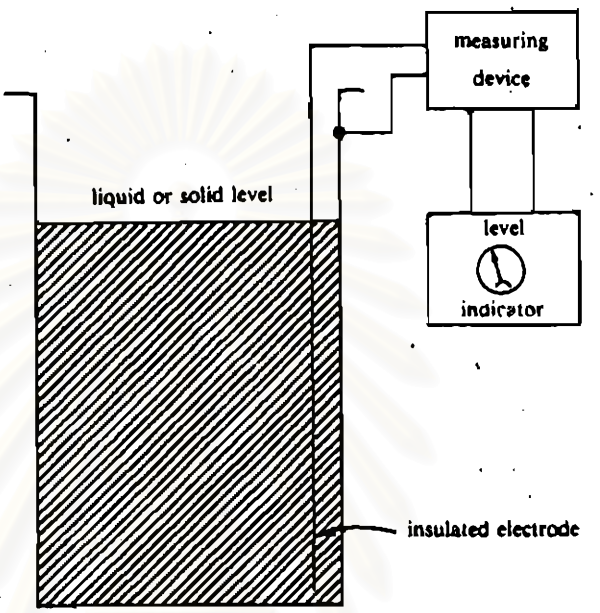
เป็นเครื่องมือวัดระดับที่มีโครงสร้างง่าย ง่ายต่อการปรับแต่ง การวัดระดับโดยอาศัยการลอยตัวของลูกลอย เมื่อระดับของเหลวเปลี่ยนไปทำลูกลอยจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.11 หลักการของลูกลอย

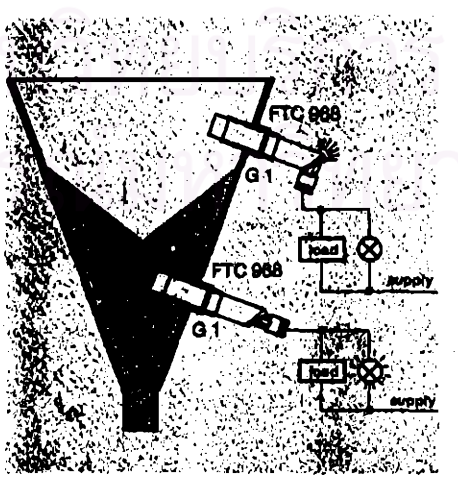
- การวัดโดยการวัดค่าความจุไฟฟ้า

เมื่อใส่ขั้วตัวนำ (electrode) ติดตั้งลงในภาชนะเมื่อให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะ จะเกิดเป็นโครงสร้างตัวเก็บประจุโดยขั้วตัวนำและโลหะภาชนะจะเป็นแผ่น plate สองแผ่น ที่มีฉนวนไดอิเล็กตริกเป็นสารที่ถูกบรรจุอยู่ในภาชนะ



รูปที่ 2.12 การวัดโดยการวัดค่าความจุไฟฟ้า

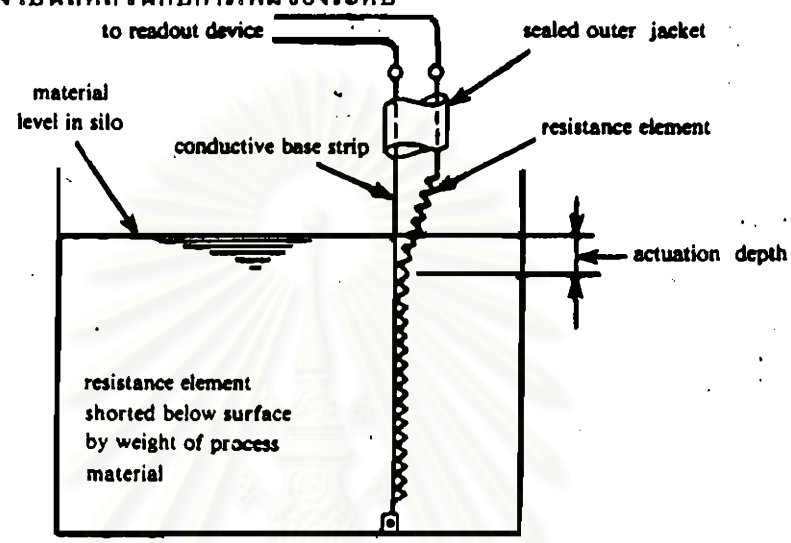
สำหรับวัสดุที่เป็นผงมักติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเป็นช่วงๆ ตามระดับความสูงของภาชนะ สามารถบอกระดับความสูงเป็นช่วงๆไม่ต่อเนื่อง เมื่อวัสดุที่ต้องการวัดสูงจนท่วมอุปกรณ์ค่าประจุจะเปลี่ยนไป การวัดจะอยู่ในรูป ON-OFF สวิตช์เพื่อบอกระดับเป็นจุด



รูปที่ 2.13 การวัดระดับเป็นจุด

- ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (Resistance Sensor)

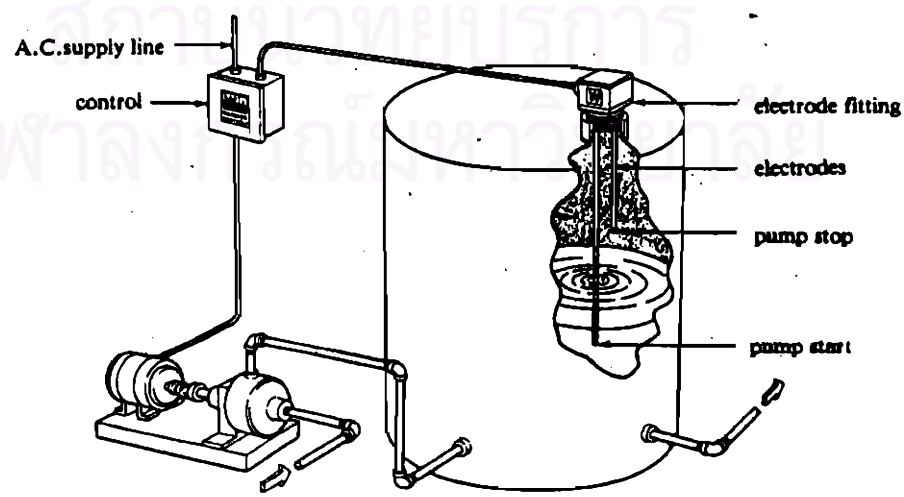
การวัดต้องให้บางส่วนของอุปกรณ์วัดจมอยู่ในสารที่ต้องการวัด ลวดความต้านทานจะถูกบีบให้ติด (short) เข้ากับแกนที่เป็นตัวนำ (Conducting base strip)ค่าความต้านทานรวมของตัววัดจะลดลง เป็นสัดส่วนกับการเพิ่มของระดับ



รูปที่ 2.14 การทำงานของอุปกรณ์วัดระดับแบบเปลี่ยนค่าความต้านทาน

- การวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductance Sensor)

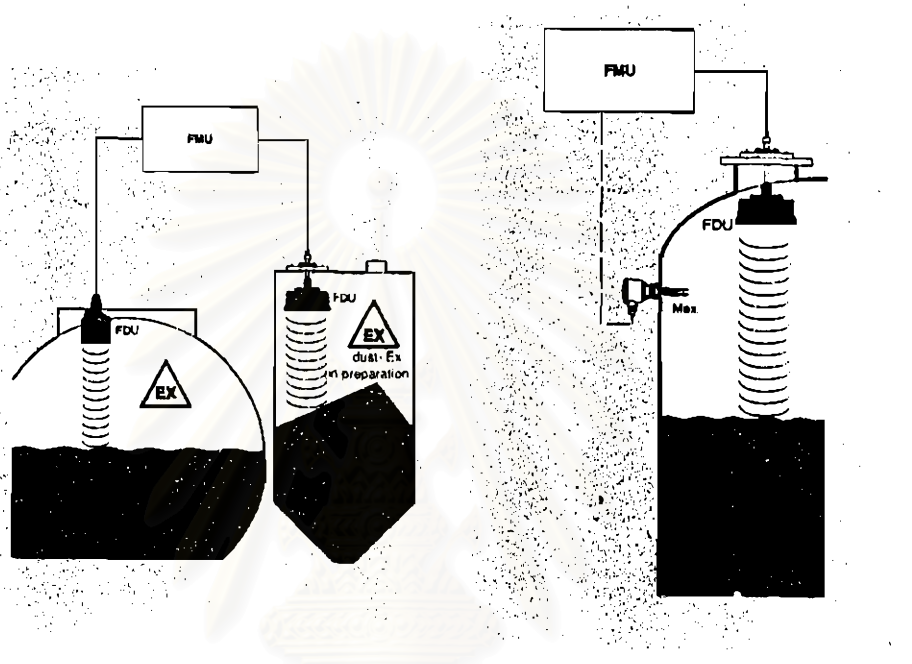
วิธีนี้เหมาะสำหรับการวัดระดับของเหลวที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงเช่น น้ำ สารที่มีส่วนผสมของกรด ด่าง หรือ เกลือ ตัววัด (probe) จะถูกติดตั้งอยู่ในระดับต่างๆของภาชนะหรืออาจติดตั้งอยู่ในแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ ไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงในวงจรเป็นไฟที่มีความต่างศักย์ต่ำ (ไม่เกิน 45 โวลต์) ขั้วหนึ่งต่อกับภาชนะที่เป็นโลหะอีกขั้วต่อกับตัววัด ของเหลวจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมวงจร และนำสัญญาณไปใช้ในการแสดงระดับ



รูปที่ 2.15 การทำงานของอุปกรณ์วัดระดับแบบวัดค่าความนำไฟฟ้า

- การวัดระดับแบบใช้คลื่น อุลตราโซนิค (Ultrasonic type)

อุลตราโซนิค คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz เป็นย่านที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยิน ความเร็วเสียงในตัวกลางขึ้นอยู่กับรูปแบบของคลื่น และคุณสมบัติของตัวกลางที่เสียงนั้นเดินทางผ่าน เวลาที่เปลี่ยนไป สามารถนำมาแปลงเป็นระยะหรือระดับของวัสดุได้



รูปที่ 2.16 การวัดระดับแบบใช้คลื่น อุลตราโซนิค (Ultrasonic type)

วิธีวัดระดับของวัสดุที่กล่าวมาทั้งหมด จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดภายในภาชนะ หรือต้องทำการเจาะภาชนะเพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์วัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของภาชนะ และปัญหาในการสัมผัสกับวัสดุที่ทำการวัด เช่น กรด หรือสารเหนียว ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง รวมทั้งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในวัดระดับ

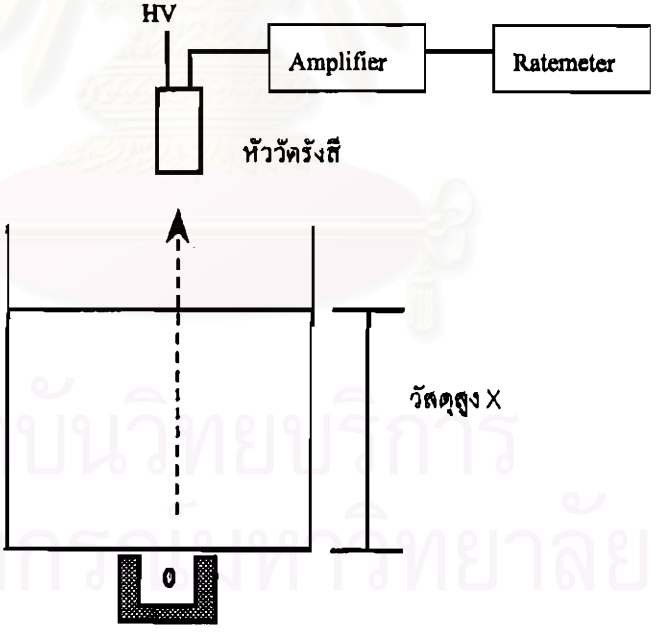
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การวัดระดับของวัสดุด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

การวัดระดับด้วยเทคนิคนิวเคลียร์เริ่มมีการใช้เป็นครั้งแรกประมาณปี ค.ศ. 1950 [5] สำหรับใช้ในงานที่มีปัญหาซึ่งวิธีแบบมาตรฐานทั่วไปไม่สามารถวัดได้ เช่นตัววัดต้องสัมผัสสารที่เหนียว กัดกร่อน ขัดสี อุณหภูมิสูง ความดันสูง ไอกรด ความชื้นสูง อันมีผลทำให้กระทบกับผลการวัดระดับ หรือตัววัดระดับมีอายุการใช้งานสั้นลง การวัดระดับในของเหลวหรือวัสดุที่เป็นผง เปรียบเสมือนการวัดความหนาของวัสดุที่กำลังเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการวัดระดับของวัสดุจึงกล่าวได้ว่าเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคในการวัดความหนาประเภทหนึ่ง

2.3.1 เทคนิคการวัดระดับด้วยการวัดความเข้มรังสีส่งผ่าน

สำหรับเทคนิคการส่งผ่าน ความเข้มรังสีจะลดลงเมื่อความหนาหรือวัสดุเพิ่มขึ้น การวัดระดับด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีสามารถแสดงในรูปที่ 2.17

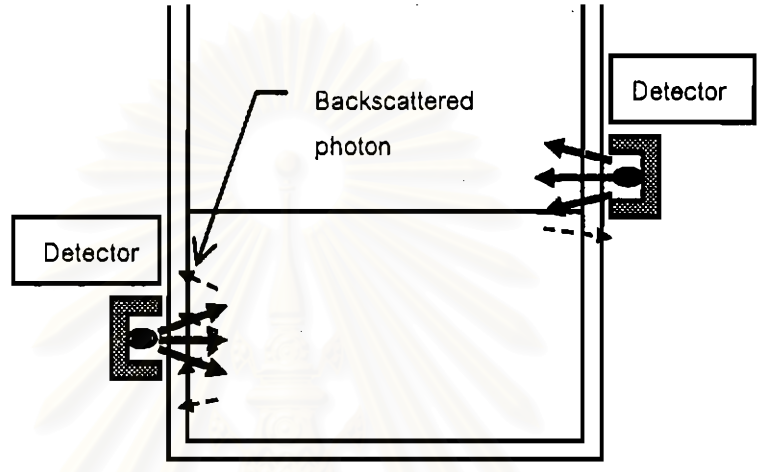


รูปที่ 2.17 การวัดระดับด้วยเทคนิคการส่งผ่าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

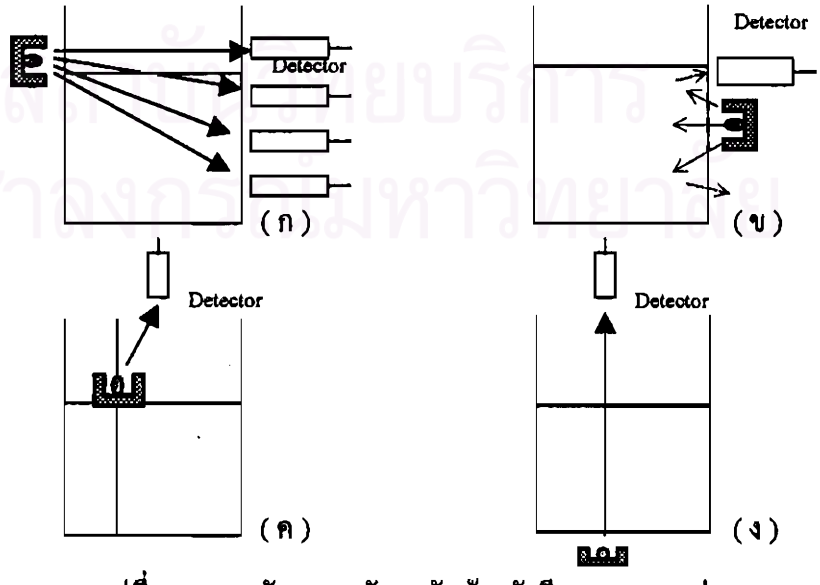
2.3.2 เทคนิคการวัดระดับด้วยการวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับ

เมื่อถือว่าผนังของภาชนะเป็นวัสดุชนิดเดิมและมีความหนาเท่ากันตลอด ค่าความเข้มรังสีกระเจิงกลับจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความสูงของวัสดุที่บรรจุอยู่ สามารถนำคุณสมบัติการวัดดังกล่าว มาจัดให้เป็นระบบในการวัดระดับได้ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การวัดระดับโดยเทคนิคกระเจิงกลับ

ระบบวัดระดับของวัสดุด้วยรังสีแกมมาแบบต่างๆ มีการแตกต่างกันในการจัดวางต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีในการวัดระดับของวัสดุ โดยสามารถจัดได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุและภาชนะตลอดจนความต้องการในการวัดระดับ แต่ละรูปแบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.19 การจัดระบบวัดระดับด้วยรังสีแกมมาแบบต่างๆ

รูปที่ 2.19 (ก) ติดตั้งต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีด้านข้างของภาชนะ ในด้านตรงข้ามกันของภาชนะ วัดความเข้มรังสีแกมมาส่งผ่าน สามารถแสดงระดับได้อย่างต่อเนื่อง โดยการใช้หลายหัววัดรังสีติดตั้งเป็นช่วงตามความสูงของภาชนะ ความเข้มรังสีที่วัดได้จะมีค่าน้อยลงเมื่อระดับวัสดุสูงขึ้น

รูปที่ 2.19 (ข) ติดตั้งต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีไว้ด้านข้างของภาชนะ โดยวางคู่กัน วัดความเข้มรังสีแกมมากระเจิงกลับ เป็นทางเลือกในติดตั้งระบบวัดในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งตามลักษณะ รูป2.19 (ก) การวัดความเข้มรังสีแกมมากระเจิงกลับมีขีดจำกัดที่ความหนาของผนังภาชนะต้องไม่เกินความหนาอิ่มตัวของรังสีแกมมากระเจิงกลับ ความเข้มรังสีที่วัดได้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อระดับวัสดุสูงขึ้น

รูปที่ 2.19 (ค) ติดตั้งต้นกำเนิดรังสีภายในภาชนะ ติดตั้งหัววัดรังสีด้านบนของภาชนะ วัดความเข้มรังสีแกมมาส่งผ่าน สามารถแสดงระดับได้อย่างต่อเนื่อง แต่ต้องมีการติดต้นกำเนิดให้เหมาะสมเนื่องจากต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายในภาชนะซึ่งมีวัสดุบรรจุอยู่ และการติดตั้งลักษณะนี้เหมาะสมกับการวัดระดับของเหลว เนื่องจากอาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงของต้นกำเนิดรังสีและสามารถใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงรังสีต่ำเมื่อเทียบกับการติดตั้งแบบอื่น ความเข้มรังสีที่วัดได้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อระดับวัสดุสูงขึ้น

รูปที่ 2.19 (ง) ติดตั้งต้นกำเนิดรังสีไว้ใต้ภาชนะ ติดตั้งหัววัดรังสีด้านบนภาชนะวัดความเข้มรังสีแกมมาส่งผ่าน สามารถแสดงระดับได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้เพียงหัววัดรังสีเดียว แต่ในกรณีที่ภาชนะบรรจุมีความสูงมาก ความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีต้องสูงตามไปด้วย ความเข้มรังสีที่วัดได้จะมีค่าน้อยลงเมื่อระดับวัสดุสูงขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 สถิติของการวัด

ในการวัดความเข้มรังสีด้วยระบบวัดทางนิวเคลียร์ ความแม่นยำของการนับจะขึ้นกับปริมาณที่นับได้ ถ้าค่าที่นับได้มีค่ามากความแม่นยำจะดี เมื่อทำการวัดไอโซโทปรังสีชนิดหนึ่งซ้ำหลายๆครั้งและเขียนกราฟระหว่างอัตราการนับและค่าความถี่ จะได้รูปมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ มีจุดยอดอยู่ที่ค่าเฉลี่ยของการวัดทั้งหมด ลักษณะการกระจายค่าตามรูปดังกล่าวเรียกว่าการกระจายแบบปกติ (Normal distribution)

ในความเป็นจริงการวัดความเข้มรังสีด้วยระบบวัดทางนิวเคลียร์ จะไม่ทำการวัดความเข้มรังสีซ้ำในลักษณะเดิม แต่มักวัดความเข้มรังสีและนำมาใช้งานจึงไม่อยู่เงื่อนไขที่จะหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, σ) จากการกระจายแบบปกติ แต่จากการที่ปริมาณนับความเข้มรังสีมีปริมาณนับสูง การกระจายแบบปัวซอง (Poisson distributtion) จะมีค่าใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงสามารถประมาณการกระจายแบบปกติด้วยการกระจายแบบปัวซอง โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องนับรังสีหาได้จาก

$$\sigma = \sqrt{N} \quad \text{.....} \quad (2.7)$$

และแบบเรตมิเตอร์มีค่าดังสมการ 2.8[6]

$$\sqrt{\frac{n}{2T}} \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

เมื่อ

N คือ ปริมาณนับความเข้มรังสีจากเครื่องนับ

n คือ ปริมาณนับความเข้มรังสีต่อหน่วยเวลา

T คือ ค่า time constant[7] สำหรับเรตมิเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย มีค่า 0.1 วินาที$^{-1}$

ดังนั้นค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเรตมิเตอร์มีค่า

$$\sqrt{5n} \quad \text{.....} \quad (2.9)$$