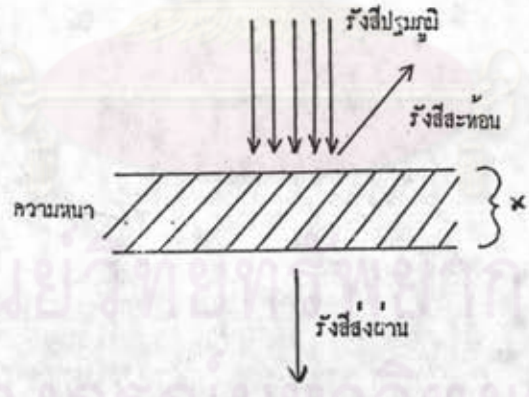
บทที่ 3

การวัดระดับของเหลวด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

รังสีแกมมาปฐมภูมิเมื่อตกกระทบตัวกลางจะก่อให้เกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ดังได้กล่าวในบทที่ 2 เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของกลุ่มรังสีบางส่วนตามโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาเหล่านั้น ผลของปริมาณความเข้มรังสีหลังอันตรกิริยาจะแปรเปลี่ยนสัมพันธ์กับความหนา และ ความหนาแน่นของตัวกลาง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปริมาณรังสีสะท้อน (scattering radiation) และปริมาณรังสีส่งผ่าน (transmission radiation) สำหรับสารที่มีความหนาแน่นต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีส่งผ่าน เมื่อเทียบกับความหนาที่เปลี่ยนแปลงจะแสดงผลความแตกต่างเด่นชัดกว่า ดังนั้นในงานวัดระดับ หรือ ความหนา ในของเหลว จึงวัดด้วยวิธีการส่งผ่านรังสีเป็นหลัก ดังเช่น แสดงในรูป 3.1

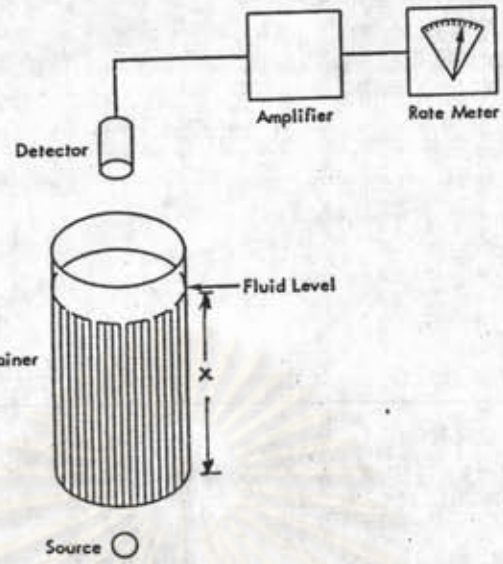


รูป 3.1 ผลของปริมาณรังสีหลังอันตรกิริยา

3.1 หลักการวัดระดับของเหลวด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ (3)

การวัดระดับของเหลว เปรียบเสมือนการวัดความหนาของวัสดุ ที่กำลังเปลี่ยนแปลง ในการจัดระบบการวัดรังสีแบบส่งผ่านความเข้มรังสีจะลดลงเมื่อความหนาหรือ ระดับของเหลวเพิ่มขึ้น โดยมีผลการแปรเปลี่ยนตามลักษณะการลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลสลาย ดังแสดงด้วยสมการ 3.1

012807



รูป 3.2 การวัดระดับของเหลวด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

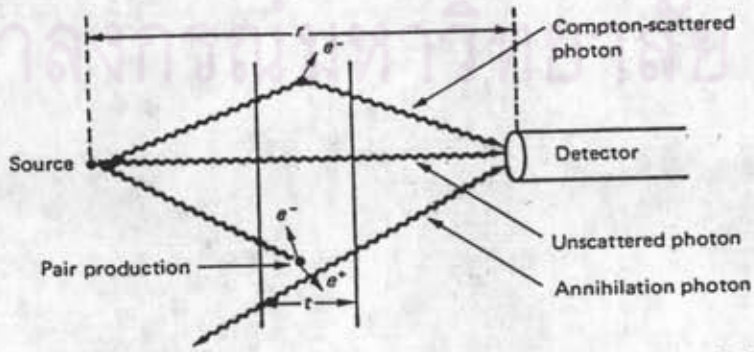
$$I_x = I_o e^{-\mu x} \qquad \ldots\ldots 3.1$$

I_o = ความเข้มรังสีเมื่อไม่มีของเหลวในถัง

μ = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานของรังสี

x = ความสูงของระดับของเหลว

ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสี และ ระดับน้ำ จะเป็นไปตามสมการ 3.1 เมื่อระบบวัดไม่มีปริมาณรังสีจากผลกระทบภายนอกรบกวน อย่างไรก็ตาม อันตรกิริยาของรังสี จะก่อให้เกิดรังสีกระเจิงจากทิศทางอื่นเข้าหัววัดรังสี ดังแสดงในรูป 3.3 ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนจากสมการเริ่มต้น



If a point isotropic source is placed behind a shield of thickness t, both scattered and unscattered photons will hit the detector.

รูป 3.3 ทางเดินของรังสีทั้งส่วนที่กระเจิงและไม่กระเจิงเข้าสู่หัววัดรังสี

ผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า บิลด์อัพแฟคเตอร์ (buildup factor) ซึ่งสามารถหาค่าจากความสัมพันธ์ของ อัตราส่วนของปริมาณรังสีปฐมภูมิต่อปริมาณรังสี ที่กระเจิงจากการผ่านตัวกลางและวัสดุข้างเคียง

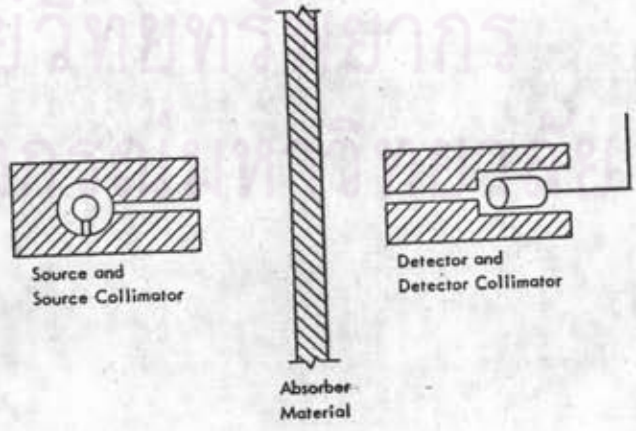
$$B = 1 + a\mu x . e^{b\mu x} \qquad \ldots\ldots 3.2(6)$$

ค่า a และ b ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตาราง A1 ในภาคผนวก ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ของการวัดระดับของเหลวในถังพักสามารถเขียนได้ดังนี้

$$I_x = B\, I_o\, e^{-\mu x} \qquad \ldots\ldots 3.3$$

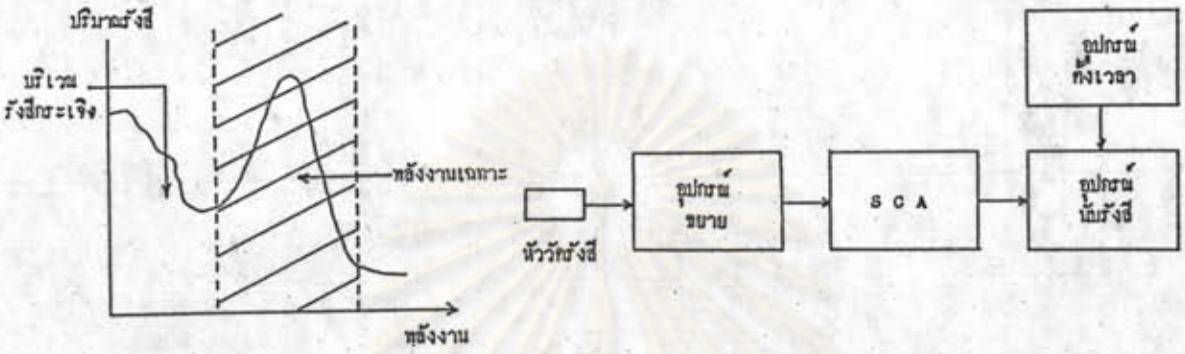
การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ ในทางปฏิบัติทำได้โดยลดการวัดผลของปริมาณรังสีกระเจิงจากทิศทางอื่น ด้วยการบังคับลำรังสี (collimation) และ การวัดปริมาณรังสีเฉพาะพลังงาน ด้วยระบบวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (SCA)

ก. การบังคับลำรังสี เป็นการบังคับลำรังสีให้มีทิศทาง เฉพาะแนวที่ต้องการวัด โดยใช้วัสดุกำบังรังสีห่อหุ้ม เจาะช่องบังคับในส่วนของต้นกำเนิดรังสี ขณะเดียวกันหัววัดรังสี จะเปิดช่องวัดเฉพาะทิศทางรังสีจากต้นกำเนิด เพื่อตัดผลการวัดรังสีกระเจิงจากทิศทางอื่น ดังแสดงในรูป 3.4



รูป 3.4 แผนภาพแสดงการจัดเรียงอุปกรณ์บังคับลำรังสีและหุ้มหัววัดรังสี

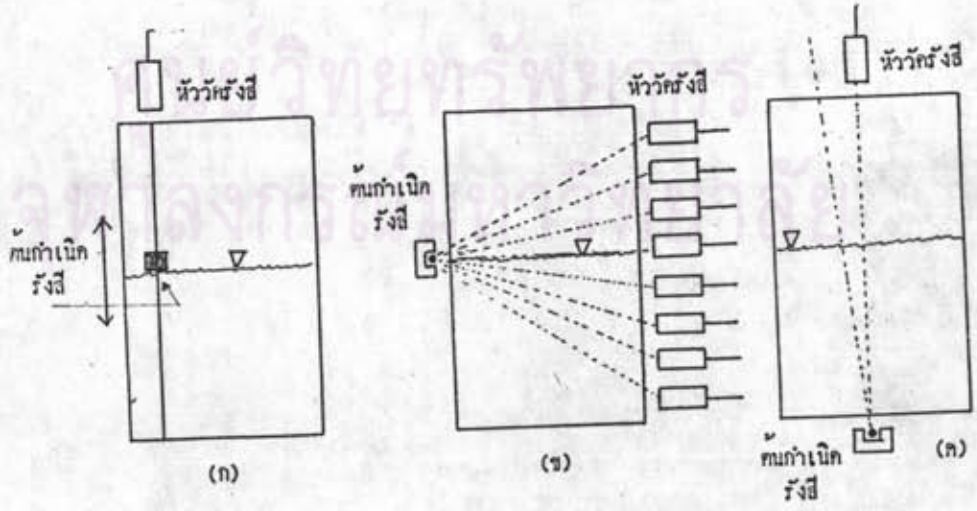
ข. การวัดปริมาณรังสีเฉพาะพลังงาน อาศัยเทคนิคการเลือกวัดพลังงานเฉพาะของรังสีที่ส่งผ่านตัวกลาง ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว บริเวณรังสีกระเจิงซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าค่าพลังงานเฉพาะจะถูกตัดออกไป



รูป 3.5 การวัดปริมาณรังสีเฉพาะพลังงาน

3.2 <u>ระบบวัดระดับของเหลวแบบต่าง ๆ</u>

การจัดวางตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี และ หัววัดรังสีในการวัดระดับของเหลวในภาชนะสามารถจัดได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุ และภาชนะ ตลอดจนความต้องการ ในการวัดระดับแต่ละรูปแบบจะมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน



รูป 3.6 การจัดระบบวัดระดับของเหลวด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แบบต่าง ๆ

ในแบบ ก. รูป 3.6 เป็นการจัดในระบบการวัดผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีตามกฎกำลังสองผกผันต่อระดับที่เปลี่ยนแปลงในระบบนี้ต้นกำเนิดรังสีจะต้องเคลื่อนที่ หัววัดรังสีไม่จำเป็นต้องมีความไวสูง แต่ต้องสัมผัสของเหลวไม่เหมาะ กับงานวัดสารที่มีความหนืด หรือ กัดกร่อนสูง

ในแบบ ข. รูป 3.6 เป็นการจัดระบบวัดให้วัดได้หลายระดับ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีชุดเดียว และ หัววัดรังสีตามระดับที่ต้องการ โดยต้องใช้หัววัดหลายหัว แม้จะให้ผลการวัดแน่นอนก็ตาม

ในแบบค. รูป 3.6 เป็นการจัดระบบวัดเพื่อวัดได้หลายระดับโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีชุดเดียว หัววัดจะต้องมีความไวสูง ระบบนี้เป็นการวัดที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ ติดตั้งง่าย ใช้งานสะดวก และประหยัด

สำหรับการวิจัยนี้ใช้การจัดแบบ ค. ทำการศึกษาวิจัยผลการวัดในสภาพการจัดระบบวัดปกติ และ ปรับปรุงระบบวัดให้ได้ผลการวัดถูกต้อง ด้วยการใช้วิธีการบังคับลำรังสี และ การวัดพลังงานเฉพาะเปรียบเทียบกัน

3.3 ความไวและความแม่นยำในการวัด (3)

นอกจากระบบวัดส่วนหน้าอันได้แก่ต้นกำเนิดรังสี และ หัววัดรังสีแล้ว การวัด จะต้องประกอบด้วย อุปกรณ์วัดความเข้มรังสีที่สัมพันธ์กับระดับของเหลวนั้น ดังนั้นความไวและความถูกต้องในการวัดจะต้องพิจารณาผลตอบสนองในการวัดค่าและการอ่านค่าผ่านอุปกรณ์วัด จากสมการ 3.4 ผลตอบสนองการวัดรังสีจะขึ้นกับ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัด

$$R = \eta I \qquad \ldots\ 3.4$$

เมื่อ R = ผลตอบสนองการนับรังสีของอุปกรณ์วัด

η = ประสิทธิภาพของการวัดรังสีจากหัววัดรังสีจนกระทั่งอ่านผล

I = ปริมาณความเข้มรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพิจารณาค่า I หรือ R หากมีการบังคับลำรังสีที่ดีแล้ว อาจลดผลของรังสีกระเจิงลงได้ ในการคำนวณจิง ไม่ต้องคิดผลของบิลด์อัพแฟคเตอร์
จากความสัมพันธ์นี้สมการ 3.1 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$R_x = R_o e^{-\mu x} \quad \ldots\ldots 3.5$$

เมื่อ R_x = อัตราการนับรังสีที่ระดับของเหลว x
R_o = อัตราการนับรังสีเมื่อไม่มีของเหลวในถัง

และระดับของเหลวในถังสามารถคำนวณได้จาก สมการ (3.6)

$$x = \ln (R_o/R) / \mu \quad \ldots\ldots\ldots 3.6$$

จะเห็นได้ว่าการวัดด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ ระดับของเหลวได้จากการอ่านของอัตราการนับรังสี ดังนั้นในทางปฏิบัติ การอ่านค่าระดับของเหลวจะต้องทำการ ปรับเทียบสเกลก่อน หลังจากนั้นการใช้งานจะสะดวกรวดเร็ว เนื่องจากสามารถอ่านค่าได้ทันที

3.3.1 <u>การปรับเทียบและการทำมาตรฐาน</u> (Calibration and Standardization)

การปรับเทียบ เป็นการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ วัดกับระดับของเหลวที่ต้องการวัดที่ระดับต่าง ๆ กันไปในช่วงใช้งานอนุกรมค่าทั้ง2 ที่อ่านได้จะเป็นเส้นกราฟปรับเทียบ (calibration curve) สเกลจากการอ่านค่าจะใช้สำหรับการใช้งาน และในการใช้งานจริงจะต้องมีการตรวจสอบ ค่าอยู่เสมอ การตรวจสอบไม่จำเป็นต้องทำการวัดทุกระดับเช่นเดียวกับการปรับเทียบ แต่สามารถทำได้เฉพาะจุด หรือมากกว่านี้ เรียกว่าการทำมาตรฐานการวัด (standardize) เมื่อค่าที่วัดได้จากการสุ่มวัด ยังอยู่ใน เส้นกราฟ หรือ ในเขต ที่ยอมรับ ยังถือว่าใช้ได้

การทำมาตรฐาน สำหรับงานวัดระดับอาจใช้ของเหลวเดิมที่ใช้เป็นมาตรฐาน ในบางครั้งอาจไม่สะดวกที่จะใช้ของเหลวที่ใช้งานทำมาตรฐานก็สามารถทำได้โดยการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ทำการตรวจสอบค่า

ประมาณนับนี้กับ เส้นกราฟปรับเทียบได้

3.3.2 <u>ความแม่นยำในการวัดด้วยรังสี</u> (radiogauge accuracy) การอ่านค่าความหนาของวัสดุ หรือ ระดับของเหลวที่ผ่านกระบวนการวัด ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์จะต้องทำการปรับเทียบ ปริมาณความเข้มรังสี กับค่า มาตรฐานจุดต่อจุด ได้ความสัมพันธ์ของกราฟปรับเทียบ (calibration curve)ดังนั้น ความแม่นยำของระบบวัดย่อมขึ้นอยู่กับการทำกราฟปรับเทียบประการหนึ่งนอกจากนี้ความคลาดเคลื่อน สามารถเกิดได้จากความแปรปรวนของค่าทางสถิติของการนับรังสีเอง โดยทั่วไปแล้วเรากำหนดค่าความคลาดเคลื่อนในรูปส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard diviation) ดังสมการ (3.7)

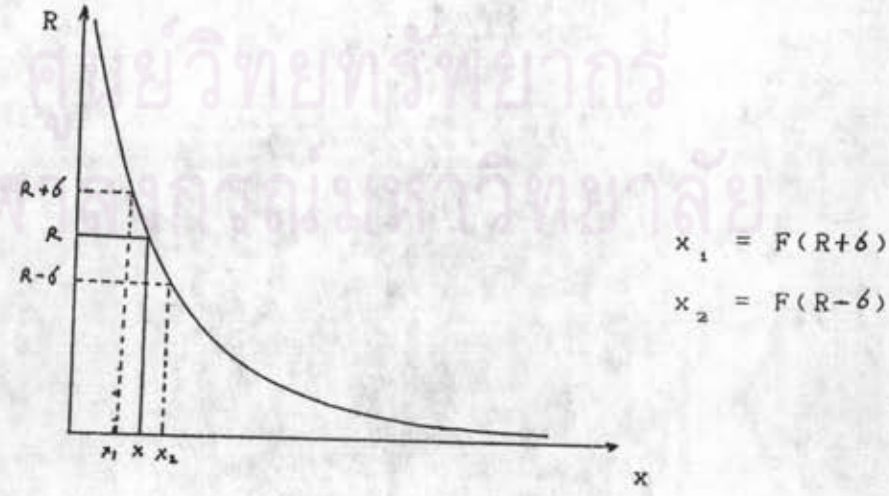
$$\sigma = (\sigma_s^2 + \sigma_i^2)^{1/2} \qquad \ldots\ 3.7$$

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งหมดของการตอบสนองของการวัด

σ_s = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความไม่แน่นอนในการแผ่รังสีของต้นกำเนิด

σ_i = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความไม่แน่นอนของระบบเครื่องมือวัดรังสี

โดยทั่วไปแล้ว เส้นกราฟความสัมพันธ์จะไม่เป็นเชิงเส้น ค่าความคลาดเคลื่อน จะเปลี่ยนแปลงในช่วงของการวัดปริมาณรังสี ความชันของเส้นกราฟต่างกัน ดังแสดงในรูป 3.7



รูป 3.7 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของระดับและปริมาณนับรังสี

หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า R ในช่วงน้อย ๆ จะได้ความสัมพันธ์ x และ R

ดังนี้

$$\frac{d\,x}{d\,R} = \frac{\sigma(x)}{\sigma(R)}$$

โดยที่ $\sigma(x)$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทาง

$\sigma(R)$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการนับรังสี

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของระยะทางคือ

$$\frac{\sigma(x)}{x} = \frac{dx}{dR} \cdot \frac{\sigma(R)}{x} \qquad \ldots\ldots 3.8$$

สำหรับผลตอบสนองการวัดรังสีเฉพาะจุด จากการบันทึกผลของอุปกรณ์นับรังสีต่อเวลา จะให้ผลเป็น

$$\frac{\sigma(x)}{x} = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dR} \sqrt{\frac{R}{t}} \qquad \ldots\ldots 3.9$$

เมื่อ R = อัตราการนับรังสี

t = เวลาที่ใช้ในการวัด

ส่วนระบบวัดที่แสดงผลเฉลี่ยของอัตราการนับโดยใช้เรทมิเตอร์จะให้ผล

$$\frac{\sigma(x)}{x} = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dR} \sqrt{\frac{R}{2\tau}} \qquad \ldots\ldots 3.10$$

ค่า τ คือค่าคงตัวของเวลาในเรทมิเตอร์

ค่า dx/dR คือความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ตรงจุดที่สนใจได้จากการทดลอง สำหรับค่า $\sigma(x)$ ตามทฤษฎีแล้วมีค่าน้อยมาก ในทางปฏิบัติสามารถทำให้ $\sigma(x)$ ลดน้อยลงไปได้อีก โดยการเพิ่มความแรงของต้นกำเนิดรังสี แต่ก็ต้องคำนึงถึงราคาและความปลอดภัยด้วย

3.3.3 <u>ความไวของระบบวัดด้วยรังสี</u> (Radiogauge Sensitivity) ความไวของระบบวัดกำหนดโดย อัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการนับรังสีต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับของเหลว ตามสมการ

$$S = \frac{dR}{dx}$$

S คือความไวของระบบวัด จะมีค่าเท่ากับความชันของเส้นกราฟ

ความสัมพันธ์ เมื่อค่า x เปลี่ยนไปความไวของระบบวัดก็จะเปลี่ยนไปด้วยเว้นแต่ในกรณีที่เส้นกราฟความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ตามการหาความไวของการเปลี่ยนแปลงเอกซ์โปเนนเชียล สามารถหาค่าที่น้อยที่สุดที่วัดได้ ความไวของระบบ คือความสามารถในการวัดพารามิเตอร์ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยที่ระบบสามารถตรวจสอบได้ จึงได้มีการกำหนดวิธีการหาความไวของ ระบบวัดในรูป minimum detectable change (mdc) โดยพิจารณาที่ระดับของเหลว x ใด ๆ เมื่อวัดโดยระบบวัดแล้วจะคลาดเคลื่อน Δx ที่อยู่ระหว่างค่า x สองค่า เช่น $\Delta x = x - x'$ แต่ละค่าของ x จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การเปลี่ยนของ x เขียนได้ ดังนี้

$$\Delta x \; [\pm\sigma(\Delta x)] = x[\pm\sigma(x)] - x' \; [\pm\sigma(x')]$$

หรือ $$\Delta x \pm \sigma(\Delta x) = (x - x') \pm [\sigma^2(x) + \sigma^2(x')]^{1/2}$$

ค่า Δx จะต้องมาก ๆ หรือมากกว่า $\sigma(\Delta x)$ เนื่องจากผลการวัดรังสีมีลักษณะการกระจายทางสถิติของ poisson ที่ยอมรับได้ว่า 68% ของค่าที่นับได้ยังอยู่ในกลุ่มที่ไม่เกินส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกรณีที่ $\Delta x = \sigma(\Delta x)$ จากสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$\Delta x = [\sigma^2(x) + \sigma^2(x')]^{1/2}$$

ในกรณีที่ Δx มีค่า น้อย ๆ $[x \sim x']$, $\sigma(x) \sim \sigma(x')$

$$\Delta x \sim \sqrt{2}\,\sigma(x)$$

แทนค่าในสมการ 3.8

$$x = \sqrt{2}\,\frac{dx}{dR} \cdot \sigma(R) \qquad \ldots. \; 3.11$$

การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ ของ x คือ $\Delta x/x$ ใช้เป็นตัวกำหนดค่า mdc ดังนั้น

$$mdc = \frac{\sqrt{2}\,\sigma(R)}{x} \cdot \frac{dx}{dR} \qquad \ldots. \; 3.12$$

แทนค่า x จากสมการ 3.6

$$mdc = \frac{\sqrt{2}\;\sigma(R)}{R\;\ln(Ro/R)} \qquad \ldots. \; 3.13$$

ค่า $\sigma(R)$ หาได้จากการทดลอง หรือ การแทนค่า $\sigma(R)$ ด้วย $\sigma_s(R)$ ได้ค่า mdc ดังนี้

สำหรับ ค่าจากสเกลเลอร์ $mdc = \frac{1}{\ln Ro/R} (2/Rt)^{1/2}$ ... 3.14

และ ค่าจากเรทมิเตอร์ $mdc = \frac{1}{\ln Ro/R} (1/R\gamma)^{1/2}$ 3.15

3.4 <u>การออกแบบระบบวัดระดับของเหลวด้วยเทคนิคนิวเคลียร์</u> (3)

การออกแบบระบบวัดระดับของเหลวด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ จะต้องพิจารณาสิ่งสำคัญหลายด้าน จากลักษณะของงานที่จะต้องควบคุม ขนาดของถัง ชนิดของวัสดุ และ วิธีการที่จะวัดระดับของเหลว เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณหา ชนิดของต้นกำเนิดรังสี และ ระบบวัดรังสีนอกจากข้อมูลที่กล่าวถึงแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ความสะดวก และ การใช้งานระยะยาว ตาม ปกติการวัดระดับของเหลวจะเลือกแบบ ต้นกำเนิดรังสี และ หัววัดรังสีชุดเดียว

3.4.1 <u>การเลือกต้นกำเนิดรังสี</u> การวัดระดับของเหลวด้วย เทคนิคการทะลุผ่านของรังสีแกมมานั้นต้องคำนึงถึงตัวแปรที่สำคัญสองประการ ที่มีผลต่อสมรรถภาพ และ ประสิทธิภาพ ของระบบวัด คือ

3.4.1.1 พลังงานของรังสี รังสีพลังงานสูงมีอำนาจทะลุทะลวงสูง ความเข้มรังสีเมื่อผ่านเมื่อผ่านตัวกลางจะลดน้อยกว่ารังสีพลังงานต่ำทำให้สามารถวัดระดับของเหลวได้ในระยะสูงกว่า

พิจารณาจากสมการ (3.9)

$$\sigma(x) = \frac{dx}{dR} \cdot (R/t)^{1/2}$$

$$x = 1/\mu \cdot \ln Ro/R$$

$$\frac{dx}{dR} = -1/\mu R$$

$$\sigma(x) = -1/\mu R \cdot (R/t)^{1/2}$$

แทนค่า R จากสมการ (3.5)

$$\sigma(x) = \frac{-e^{\mu x/2}}{\mu \sqrt{Rot}} \quad \text{..... 3.16}$$

ในการหาค่า μx ที่ทำให้ค่า $\sigma(x)$ น้อยที่สุดได้โดยการหาอนุพันธ์ของ $\sigma(x)$ ในสมการ (3.16)

$$\frac{d\,(\sigma(x))}{d\,\mu} = \frac{-\mu\sqrt{Ro\ t}\ e^{\mu x/2}\,x/2 \;+\; e^{\mu x/2}\ \sqrt{Rot}}{\mu^2 \cdot Ro\ t}$$

$$= \frac{(-\mu x/2 + 1)}{\mu^2}\sqrt{\frac{e^{\mu x}}{Rot}} = 0$$

$$\frac{-x}{2\mu} + \frac{1}{\mu^2} = 0$$

$$x/2 = 1/\mu$$

$$\mu x = 2 \qquad \ldots\ldots 3.17$$

จากสมการ (3.17) แสดงความแม่นยำของระบบวัด คลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อค่า $\mu x = 2$ จากที่กล่าวมานี้ความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นคิดจากความไม่แน่นอน ของอัตราการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสี อย่างไรก็ตาม หากความคลาดเคลื่อนของระบบวัด ขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัดเพียงอย่างเดียว ก็สามารถหาได้ในทำนองเดียวกันได้ว่า ระบบวัดจะแม่นยำที่สุดเมื่อ $\mu x = 1$ โดยทั่วไปการเลือกต้นกำเนิดรังสี เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจะใช้ค่า μx อยู่ระหว่าง 1-2

3.2.1.2 ความแรงรังสี เมื่อใช้ต้นกำเนิดที่มีความแรงรังสีสูงความเข้มรังสีที่วัดได้ก็จะสูงจะเป็นผลให้ ความแม่นยำ และ ความไวของระบบวัดดีขึ้น โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของปริมาณความแรงรังสีที่แผ่กระจายรอบต้นกำเนิดรังสี (Nsource) และ มุมตัน (Ω) ที่ปริมาณรังสีตกกระทบหัววัด (I_o) (2)

$$I_o = \frac{(Nsource)}{4\pi}$$

จากสมการ (3.4), (3.5) และ (3.9) ความแรงรังสีของต้นกำเนิดคำนวณได้จาก

$$Activity = \frac{4\pi\ I_o}{\Omega}$$

$$\text{Activity} = \frac{4\, e^{\mu x}\, \pi}{\Omega(\sigma x/x)^2 (\mu x)^2 t\eta}$$

$$= \frac{3.39 \times 10^{-7}\, e^{\mu x}}{\Omega(\sigma x/x)^2 (\mu x)^2 t\eta} \quad \text{mCi}$$

ในการใช้งานระยะยาว จะต้องพิจารณาเปรียบเทียบเพื่อแก้ค่าการลดลงอันเนื่องจาก ครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสี เป็นสิ่งสำคัญอันหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการประยุกต์ใช้เทคนิคนิวเคลียร์

3.4.2 <u>การเลือกใช้ระบบวัดรังสี</u> นอกจากจะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพและ ความแปรปรวนของอัตราการนับรังสีของระบบวัดเป็นสำคัญแล้ว ในการใช้งานแบบต่าง ๆ มีลักษณะเฉพาะตัวเช่น ต้องการ วัดรังสีเฉพาะพลังงานการวัดที่ต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น หัววัดรังสีที่นิยมใช้วัดรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือ หัววัดบรรจุกาซแบบไกเกอร์มุลเลอร์ และหัววัดผลึกสารเรืองรังสีแบบโซเดียมไอโอไดด์ หัววัดทั้งสองชนิดมีทั้งข้อดีและข้อเสียในตัว คือ หัววัดไกเกอร์มุลเลอร์วัดในระบบเป็นค่าเฉลี่ย (mean value mode) อัตรา การนับรังสีไม่ค่อยคงตัว ประสิทธิภาพการนับรังสีต่ำ เพียง 1-2 % ไม่สามารถแยกพลังงานรังสี มีขีดจำกัดการนับรังสีสูงสุดในอัตราไม่เกิน 1000 เคานท์ต่อวินาที แต่เป็นหัววัดที่มีเสถียรภาพดี และ ราคาไม่แพง ส่วนหัววัดผลึกเรืองรังสี มีข้อดีที่ชดเชยข้อบกพร่องของหัววัดไกเกอร์ได้ เช่น สามารถวัดแยกพลังงานรังสีได้ มีประสิทธิภาพการนับรังสีแกมมาสูง แต่มีข้อเสียเกี่ยวกับเสถียรภาพในการทำงาน และ อัตราการนับรังสีสูงสุดไม่เกิน 10^5-10^6 เคานท์ต่อวินาที ลักษณะเฉพาะของหัววัดรังสีแบบต่าง ๆ ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ลักษณะเฉพาะของหัววัดรังสีที่เลือกใช้ (3)

Detector	Stability	Ruggedness	Energy dependence	Efficiency,%			Maximum counting rate, counts/sec
				α	β	γ(0.1 to 2 Mev)	
Geiger-Mueller	Excellent	Excellent	No	100	100	1-2	10^3
NaI(Tl)	Poor	Fair	Yes	100	100	10-30	10^5