บทที่ 3

ทฤษฎี

การวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน

หลักการในการวิเคราะห์(8) คือการใช้นิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอน (neutron source) ยิง (bombard) เข้าไปทำปฏิกริยาทางนิวเคลียร์กับนิวเคลียสของไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ที่จะวิเคราะห์ เพื่อทำให้นิวเคลียสนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์เกิดเป็นไอโซโทปรังสี (radioisotope) ของธาตุเดิมหรือธาตุใหม่ขึ้นแล้ววัดความแรงรังสีของไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งจะทำให้ทราบปริมาณธาตุที่สนใจได้

ต้นกำเนิดนิวตรอน (neutron source)

ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้ในเทคนิคนี้ มีดังต่อไปนี้คือ

1. ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ได้จากปฏิกริยา (α ,n) นิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดชนิดนี้ เกิดจากการยิงอนุภาคอัลฟา ($^{4}_{2}He$) จากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีของธาตุหนัก เช่น Po-210, Ra-226, Pu-239 หรือ Am-241 เข้าไปยังนิวเคลียสของธาตุเบา เช่น B, F, C, หรือ Be ดังสมการ

$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$$

พลังงานของอนุภาคอัลฟาในช่วง 4.8 ถึง 7.7 MeV จากไอโซโทปรังสีสามารถที่จะทำให้นิวตรอนหลุดออกจากนิวเคลียสของธาตุเบาดังกล่าวได้ แต่จะมีเพียงประมาณ 1 ใน 10^{4} ของจำนวนอนุภาคอัลฟาที่ทำให้เกิดนิวตรอนทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคอัลฟามีประจุบวก ดังนั้นอนุภาคอัลฟาส่วนใหญ่จึงเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับอิเล็กตรอนที่โคจรอยู่

รอบนิวเคลียสเสียก่อนพลังงานของนิวตรอนที่เกิดขึ้นจะมีค่าระหว่าง 1 ถึง 13 MeV โดยมีพลังงานเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 MeV

ลักษณะของต้นกำเนิดชนิดนี้จะเป็นการผสมกันอย่างสม่ำเสมอระหว่างไอโซโทปรังสีที่ให้อนุภาคอัลฟากับธาตุเบาบรรจุไว้ในหลอดหรือภาชนะขนาดเล็กที่ทำจากโลหะปลอดสนิมซึ่งผนึกปิดอย่างสนิทเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของสารที่อยู่ภายใน

ต้นกำเนิดชนิดนี้มีข้อดีคือ ราคาถูก เคลื่อนย้ายสะดวก แต่มีข้อเสียคือ อัตราการให้นิวตรอน (emission rate) ต่ำทำให้ความไว (sensitivity) ในการวิเคราะห์ต่ำ

2. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ให้นิวตรอนออกมาเนื่องจากการแตกตัว (fission) ของนิวเคลียสของไอโซโทปที่สามารถแตกตัวได้ (fissile material)

ลักษณะการแตกตัว สามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบง่าย ๆ โดยปรียบเทียบการแตกตัวของหยดของเหลว (liquid drop model) คือนิวเคลียสเปรียบได้กับหยดของเหลวเมื่อโปรตรอน (proton) และนิวตรอนในนิวเคลียสเกาะแน่นด้วยแรงนิวเคลียร์ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงผลักระหว่างประจุบวกของโปรตรอน แต่ถ้าแรงผลักระหว่างประจุมีค่ามากกว่าแรงนิวเคลียร์จะโดยจากแรงภายนอกมากระทำ (นิวตรอนจากภายนอกเข้าชนนิวเคลียส) หรือแรงจากภายในตัวเองก็ตาม จะทำให้นิวเคลียสนั้นแตกตัวออกเป็น 2 ส่วน คล้ายกับการแตกตัวของหยดของเหลว การแตกตัวของนิวเคลียสจะให้นิวตรอนออกมาด้วย 2 ถึง 3 ตัว ซึ่งนิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็สามารถจะไปทำให้เกิดการแตกตัวได้อีกเรียกว่าเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction)

ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั่ว ๆ ไป ไอโซโทปที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์คือ U-235, U-238 หรือ Pu-239 ฯ นิวตรอนจากภายนอกที่ทำให้เกิดการแตกตัวในขั้นต้นนั้นเป็นนิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดในข้อ 1 โดยมีแท่งควบคุม (control rod) ซึ่งบรรจุด้วย Cd หรือ B อยู่ภายใน จะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณ นิวตรอนให้อยู่ในระดับที่ต้องการ

ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้นั้นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้จะเป็นต้นกำเนิดชนิดนี้มากที่สุด เพราะให้นิวตรอนฟลักซ์ (neutron flux) ประมาณ 10^{10} ถึง 10^{14}

นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที ทำให้ความไวในการวิเคราะห์สูงกว่าใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบอื่น

3. ต้นกำเนิดแบบแตกตัวด้วยตนเอง (spontaneous fission source) ต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดนี้จะให้นิวตรอนออกมาโดยการแตกตัวด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องอาศัยแรงจากภายนอกมากระทำ ซึ่งจะต่างกับข้อ 2 ตัวอย่างของต้นกำเนิดชนิดนี้คือ Cf-252 ซึ่งมีข้อดีกว่าต้นกำเนิดในข้อ 1 คือมีขนาดเล็กกว่า แต่อัตราการให้นิวตรอนสูงกว่ามีข้อเสียคือ ราคาแพง และอายุใช้งานสั้น

4. เครื่องกำเนิดนิวตรอน (neutron generator) นิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดนี้ เกิดจากการเร่งอนุภาคโปรตอน หรืออนุภาคดิวเทอรอนเข้าชนนิวเคลียสของธาตุเบา ที่นิยมใช้กันมากคือ

ปฏิกิริยา D-D ดังสมการ

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n \quad Q + 3.26 \text{ MeV}$$

นิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยานี้มีพลังงานประมาณ 3 MeV

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n \quad Q + 17.6 \text{ MeV}$$

นิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยานี้จะมีพลังงานประมาณ 14 MeV

ที่นิยมใช้ดิวเทอรอนเข้าชนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ก็เนื่องจากกำแพงคูลอมบ์ (coulomb barrier) ซึ่งเกิดจากประจุของดิวเทอรอนและนิวเคลียสของธาตุเบา ที่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่เข้าหรือออกของดิวเทอรอนมีค่าน้อย ดังนั้นดิวเทอรอนที่ใช้จึงไม่จำเป็นที่จะต้องเร่งให้มีพลังงานสูงนัก แต่ถ้านิวเคลียสมีเลขอะตอม (atomic number) สูงขึ้นอนุภาคที่ใช้ก็จะต้องเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้น ดังนั้นเครื่องเร่งอนุภาคก็จะต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ข้อดีของต้นกำเนิดชนิดนี้คือนิวตรอนที่ได้มีพลังงานสูง และ

สม่ำเสมอ

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction)

ในการวิเคราะห์ทางนิวตรอนแอกติเวชัน ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

1. ปฏิกิริยา (n, n') เกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนพลังงานสูงเข้าชนแล้วถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสนั้นอยู่ในสภาวะเอกไซเตดสเตต (excited state) และกลับสู่สภาพเดิมโดยการให้รังสีแกมมาออกมา สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n' $$

2. ปฏิกิริยา (n, 2n) และ (n,3n) ปฏิกิริยานี้จะให้นิวตรอนออกมา 1 ตัวด้วยเนื่องจากนิวตรอนที่เข้าชนมีพลังงานสูงมากพอที่จะทำให้นิวตรอนในนิวเคลียสที่ถูกชนหลุดออกมา ไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นจะเป็นของธาตุเดิม สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{A-1}_{Z}X + 2{}^{1}_{0}n' $$

3. ปฏิกิริยา (n, p) เกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนพลังงานสูงเข้าชนนิวเคลียสแล้วถูกจับหายไปในนิวเคลียส พร้อมทั้งให้อนุภาคโปรตรอนออกมา จะได้เป็นไอโซโทปรังสีของธาตุใหม่เกิดขึ้น สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$^{A}_{Z}X + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{A}_{Z-1}Y + ^{1}_{1}H$$

4. ปฏิกิริยา (n,α) คล้ายกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในข้อ 3. แต่ต่างกันที่อนุภาคที่ให้ออกมาเป็นอนุภาคอัลฟา สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$^{A}_{Z}X + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{A-3}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He$$

5. ปฏิกิริยา (n,γ) จากปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด จะเกิดขึ้นเมื่อมีนิวตรอนพลังงานสูงเข้าชนนิวเคลียส แต่สำหรับนิวตรอนพลังงานต่ำหรือเทอร์มัลนิวตรอนนั้นเมื่อเข้าชนนิวเคลียสจะถูกจับหายไป แล้วให้รังสีแกมมาตัวหนึ่ง หรือหลายตัวออกมา ไอโซโทปใหม่ที่เกิดขึ้นจะเป็นของธาตุเดิมและส่วนใหญ่เป็นไอโซโทปรังสี ปฏิกิริยานี้จะใช้ในการวิเคราะห์ในเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันมากที่สุด สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$^{A}_{Z}X + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{A+1}_{Z}X + \gamma$$

<u>หมายเหตุ</u>

$^{A}_{Z}X$ คือ ไอโซโทปเสถียรของธาตุ X มีเลขอะตอม Z และมีเลขมวล A

$^{1}_{0}n$ คือ อนุภาคนิวตรอน

$^{AM}_{Z}X$, $^{A+1}_{Z}X$, $^{A-1}_{Z}X$, $^{A}_{Z-1}Y$, และ $^{A-3}_{Z-2}Y$ คือ ไอโซโทปรังสีของธาตุ (X) และธาตุใหม่ (Y) ซึ่ง M จะแสดงว่าเป็น metastable state

$^{1}_{1}H$, $^{4}_{2}He$ และ γ คืออนุภาคโปรตอน, อนุภาคอัลฟา และรังสีแกมมา

<u>การเกิด และการสลายตัวของไอโซโทปรังสี</u>

1. การเกิดของไอโซโทปรังสี[10] เมื่อนิวตรอนเข้าทำปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์กับนิวเคลียสของไอโซโทปเสถียร จะมีไอโซโทปรังสีเกิดขึ้น โดยมีอัตราการเกิดดังสมการ

$$\text{อัตราการเกิด} = N\sigma\phi \qquad (3.1)$$

โดยที่ N คือ จำนวนอะตอมของไอโซโทปเสถียร $= \frac{N_0 WK}{M}$

N_0 คือ Avogadro's number = 6.02×10^{23} โมเลกุล/กรัม-โมล

W คือ น้ำหนักของธาตุ เป็น กรัม

K คือ ร้อยละของไอโซโทปเสถียรที่มีอยู่ในธรรมชาติ/100

M คือ น้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น ๆ

σ คือ ครอสเซคชัน (cross section) เป็น barn ($1barn=10^{-24}\ cm^2$)

ϕ คือ นิวตรอนฟลักซ์ เป็น นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที

เมื่อมีไอโซโทปรังสีเกิดขึ้น ไอโซโทปรังสีนั้นก็จะมีการสลายตัวดังสมการ

$$\text{อัตราการสลายตัว} = \lambda N^* \qquad (3.2)$$

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant) เป็นวินาที$^{-1}$

N^* คือ จำนวนอะตอมของไอโซโทปรังสี

ดังนั้นปริมาณที่เหลืออยู่ของไอโซโทปรังสี เมื่อเวลาใด ๆ จะหาได้จากสมการ

$$\frac{dn^*}{dt} = N\sigma\phi - \lambda N^* \qquad (3.3)$$

โดยอินติเกรตสมการ (3.3) ดังนั้นจำนวนอะตอมของไอโซโทปรังสีที่มีอยู่เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา T จะได้ว่า

$$\lambda N^* = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T}) + N_o^* e^{-\lambda T} \qquad (3.4)$$

กำหนดให้ เมื่อเวลาเริ่มต้นของการแอกติเวชัน (T = 0) ว่า $N_o^* = 0$

ดังนั้นสมการ (3.4) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\lambda N^* = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T}) \qquad (3.5)$$

โดยที่ N^* คือ ความแรงรังสีของไอโซโทปรังสีสามารถเขียนแทนได้ด้วย A_o ดังนั้นสมการ (3.5) สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$A_o = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T}) \qquad (3.6)$$

ความแรงรังสีของไอโซโทปรังสี ณ เวลา t ใด ๆ ภายหลังสิ้นสุดการแอกติเวชันจะเป็นดังสมการ

$$A_t = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T})\ e^{-\lambda t} \qquad (3.7)$$

2. การสลายตัวของไอโซโทปรังสี[10] ไอโซโทปรังสีเป็นไอโซโทปที่ไม่เสถียรนิวเคลียสจะมีการเปลี่ยนแปลงจนกว่าจะเสถียร โดยการแผ่รังสีออกมา ที่เรียกกันว่า การสลายตัวของสารรังสี (radioactive decay) ไอโซโทปรังสีแต่ละตัว

จะมีรูปแบบของการสลายตัว (decay mode) ต่าง ๆ กัน ซึ่งรูปแบบของการสลายตัวมีดังต่อไปนี้

2.1 การสลายตัวโดยให้อนุภาคอัลฟา (α-decay) อนุภาคอัลฟาหรือรังสีอัลฟา คือ นิวเคลียสของฮีเลียม ประกอบด้วยโปรตอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว มีประจุบวก มีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ ดังนั้นสามารถทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอิออน (ionization) ได้สูง โดยมากการสลายนี้จะเกิดกับไอโซโทปรังสีที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 82

2.2 การสลายตัวโดยให้อนุภาคเบตา (β^--decay) อนุภาคเบตาหรือรังสีเบตา เกิดจากการสลายตัวของนิวตรอนในนิวเคลียสของไอโซโทปรังสีที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอน เพื่อที่จะลดจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสลง แล้วกลายเป็นไอโซโทปเสถียร อนุภาคเบตามีมวลและประจุเท่ากับอิเล็กตรอน

2.3 การสลายตัวโดยให้อนุภาคโพซิตรอน (β^+-decay) อนุภาคโพซิตรอน หรือรังสีโพซิตรอน มีลักษณะคล้ายกับอนุภาคเบตาแต่ต่างกันที่ประจุของโพซิตรอนจะเป็นบวก ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่าอนุภาคเบตาบวก (positive beta) การสลายให้อนุภาคโพซิตรอนนี้จะเกิดกับไอโซโทปรังสีที่มีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสมากกว่าจำนวนนิวตรอนและนิวเคลียสมีพลังงานมากกว่า หรือเท่ากับ 1.02 MeV

2.4 การสลายตัวด้วยกระบวนการจับอิเล็กตรอน (electron capture) กระบวนการนี้เกิดกับไอโซโทปรังสีที่มีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสมากกว่าจำนวนนิวตรอน คล้ายกับข้อ 2.3 แต่จะไม่ให้โพซิตรอนออกมา เนื่องจากนิวเคลียสมีพลังงานน้อยกว่า 1.02 MeV กลับจับเอาอิเล็กตรอนในชั้น K (K-shell) หรือชั้น L (L-shell) เข้าไปแทน การสลายในลักษณะนี้จะมีรังสีเอกซ์เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากอิเล็กตรอนจากวงนอกจะวิ่งเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนที่ถูกจับไป พร้อมทั้งคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เรียกว่า รังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอนนี้มีค่าพลังงานเฉพาะสำหรับธาตุหนึ่ง ๆ จึงเรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-ray)

2.5 การสลายตัวโดยให้รังสีแกมมา (γ-decay) การสลายตัวให้รังสีแกมมาเกิดกับไอโซโทปรังสีสลายตัวให้อนุภาคอื่นดังกล่าวมาแล้วในข้อ 2.1 ถึงข้อ 2.4 แต่ปรากฏว่านิวเคลียสนั้นยังอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น

(excited state) จึงคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า รังสีแกมมา เพื่อกลับสู่สภาวะพื้น (ground state)

รังสีแกมมา และรังสีเอกซ์ต่างก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ต่างกันที่จุดกำเนิดคือ รังสีแกมมาออกมาจากนิวเคลียส ส่วนรังสีเอกซ์ออกมาจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอน

2.6 การสลายตัวด้วยกระบวนอินเทอนัลคอนเวอร์ชัน (internal conversion) การสลายตัวด้วยกระบวนการนี้จะเกิดกับไอโซโทปรังสีที่ถ่ายทอดพลังงานให้กับอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส ทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกมา เรียก อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาว่า "คอนเวอร์ชันอิเล็กตรอน" (conversion electron)

2.7 การสลายตัวด้วยกระบวนการไอโซเมอริคทรานซิชัน (isomeric transition) การสลายตัวนี้เป็นการสลายให้รังสีแกมมา ดังข้อ 2.5 แต่การสลายให้รังสีแกมมาในลักษณะนี้ตัวมันเองจะมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ในการสลายตัวด้วยจึงดูเหมือนว่ามาจากการสลายของไอโซโทปรังสีที่ต่างกัน

<u>การวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน</u>

ชนิดของรังสี พลังงานของรังสี และค่าครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสีแต่ละตัวจะมีค่าเฉพาะตัว ดังนั้นถ้าหากสามารถวิเคราะห์ได้ว่า รังสีที่สลายออกมาจากไอโซโทปรังสี เป็นรังสีอะไร มีพลังงานเท่าไร และค่าครึ่งชีวิตเท่าใด ก็สามารถที่จะบอกได้ว่าเป็นไอโซโทปของธาตุตัวใด การวิเคราะห์ในลักษณะนี้เรียกว่าการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) และถ้าสามารถวิเคราะห์ได้ว่าไอโซโทปรังสีนั้นมีความแรงรังสีเท่าไร เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ชนิดไหน มีคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของการเกิดปฏิกิริยาเป็นอย่างไร จากความแรงรังสีที่วัดได้นั้นก็สามารถจะทราบปริมาณของไอโซโทปเริ่มต้นได้ จะเรียกการวิเคราะห์นี้ว่าการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ซึ่งการวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

1. การวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (nondestructive analysis)

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สะดวก เพียงแต่นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง นำตัวอย่างไปทำนิวตรอนแอกติเวชัน แล้วทำการวัดความแรงรังสี จำเพาะจากไอโซโทปรังสีที่สนใจด้วยอุปกรณ์การวัดรังสี

2. การวิเคราะห์แบบทำลายตัวอย่าง (destructive analysis)

การวิเคราะห์แบบนี้ยุ่งยากกว่าแบบแรก คือจะต้องนำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการทางเคมีซึ่งอาจจะทำก่อน หรือภายหลังการอาบรังสีนิวตรอนแล้วจึงทำการวัดความแรงรังสี ส่วนใหญ่วิธีการนี้จะใช้เมื่อไม่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยวิธีการในข้อ 1 ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่มีการรบกวนจากไอโซโทปรังสีบางตัวสูงจำเป็นต้องแยกตัวที่รบกวนออกก่อนที่จะทำการวัดรังสี

<u>ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (detector efficiency)</u>

ไอโซโทปรังสีจะสลายตัวให้รังสีออกมาทุกทิศทุกทาง ส่วนใหญ่ในการวัดรังสีแกมมาในการวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้จะทำการวัดจากทิศทางเพียงทิศทางเดียว ดังนั้นประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของหัววัดรังสี ที่พลังงานของรังสี ขนาดของหัววัดรังสี ระยะทางจากไอโซโทปรังสีถึงหัววัดรังสี และมุมของรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสี นั้น ๆ ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะและสามารถหาได้จากสมการ

$$EFF = \frac{cps}{dps \times f \times 100} \qquad (3.8)$$

โดยที่ Eff คือ ประสิทธิภาพของการวัดรังสี เป็น ร้อยละ (%)

cps คือ อัตรานับ เป็น จำนวนนับ/วินาที

dps คือ ความแรงรังสี เป็น จำนวนการสลายตัว/วินาที

f คือ ความเข้มของรังสีแกมมาที่พลังงานที่ทำการวัด/100

วิธีการหาปริมาณของธาตุโดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน

1. absolute method

เป็นวิธีการที่หาปริมาณของธาตุจากการวัดความแรงรังสีแล้วทำการคำนวณโดยอาศัยสมการ (3.7) และ (3.8)

จาก (3.7) เขียนใหม่ได้ว่า $dps = \frac{cps}{Eff \times f} \times 100$ (3.9)

โดยที่ $(dps)_t = A_t$

แทนสมการ (3.9) ลงใน (3.7) จะได้ว่า

$$\frac{(cps)_t}{Eff \times f} \times 100 = N\sigma\phi (1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t}$$

$$= \frac{(6.02 \times 10^{23} \times W \times K)}{M} \sigma\phi (1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t} \quad (3.10)$$

วิธีการนี้จะต้องทราบค่าที่ถูกต้องของ Eff, σ, ϕ, λ, T และ t โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดมีได้มาก แต่วิธีการนี้มีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องมีสารมาตรฐาน (standard) ก็สามารถหาปริมาณของไอโซโทปเริ่มต้นได้ทุกตัวที่สามารถวัดความแรงรังสีของไอโซโทปรังสีที่เกิดจากไอโซโทปนั้น ๆ ได้

2. relative method

การหาปริมาณของธาตุด้วยวิธีนี้จะต้องมีสารมาตรฐาน (สารที่รู้ปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์) ซึ่งการทำนิวตรอนแอกติเวชันนั้นจะต้องนำตัวอย่างและสารมาตรฐานไปไว้ที่ตำแหน่งเดียวกัน ด้วยเวลา (T) ที่เท่ากัน แล้ววัดความแรงรังสี จากนั้นจึงอาศัยสมการ (3.10)

สำหรับสารตัวอย่าง

$$\frac{(cps)_{t\ sam}}{Eff \times f} \times 100 = \frac{(6.02 \times 10^{23} \times W_{sam} \times K)}{M} 6\phi(1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t}1 \qquad (3.11)$$

สำหรับสารมาตรฐาน

$$\frac{(cps)_{t\ std}}{Eff \times f} \times 100 = \frac{(6.02 \times 10^{23} \times W_{std} \times K)}{M} 6\phi(1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t}2 \qquad (3.12)$$

หารสมการ (3-11) ด้วย (3-12) โดยที่ค่าของ K, M, 6, ϕ, T, f และ Eff จะมีค่าเท่ากัน ทำการแก้ค่า $e^{-\lambda t}1$ และ $e^{-\lambda t}2$ (เนื่องจากไม่สามารถวัดตัวอย่างและสารมาตรฐานด้วยห้ววัดรังสีห้วเดียวกัน ที่ตำแหน่งเดียวกัน และวัดในเวลาที่พร้อมกันได้) ให้เป็น $e^{-\lambda t}$ เดียวกัน

จะได้ว่า

$$\frac{(cps)_{sam}}{(cps)_{std}} = \frac{W_{sam}}{W_{std}} \qquad (3.13)$$

ซึ่งการหาปริมาณด้วยวิธีจะสะดวกกว่า และผิดพลาดน้อยกว่าในข้อ 1 แต่มีข้อเสีย คือ วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุได้เท่าจำนวนธาตุในสารมาตรฐานที่รู้ปริมาณ คือถ้าไม่รู้ปริมาณของธาตุ หรือไม่มีธาตุที่เราสนใจ ในสารมาตรฐาน ก็ไม่สามารถหาปริมาณของธาตุที่สนใจได้

ตารางที่ 3.1 แสดงขีดต่ำสุดของการตรวจวิเคราะห์ของธาตุบางชนิดโดยวิธีนิวตรอนแอกติเวชัน
(ความเข้มนิวตรอน 10^{13} นิวตรอน ต่อ ตร.ซม.ต่อ วินาที เวลาอาบรังสี 1 ชั่วโมง)

ขีดจำกัดต่ำสุด (ไมโครกรัม)	ธาตุ
3×10^{-6}	Mn
3×10^{-5}	Cu,As,La
9×10^{-5}	Na,V,Sb
3×10^{-4}	Sc
3×10^{-3}	Zn
9×10^{-3}	K
30	Fe