



ทฤษฎี

การหาปริมาณของธาตุที่มีปริมาณน้อย ๆ (trace element) ให้ถูกต้องแม่นยำนั้น นับว่ายากอยู่แล้ว ยิ่งสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์เป็น biological sample และมีปริมาณน้อยด้วย ก็ยิ่งทำให้การวิเคราะห์ยากขึ้นเป็นทวีคูณ การที่จะเลือกและตัดสินใจใช้วิธีวิเคราะห์ผลอย่างไรจึงนับว่าสำคัญยิ่ง เพราะมีฉะนั้นแล้วอาจจะไม่ได้รับผลการวิเคราะห์ หรือให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นเทคนิคที่จะใช้ต้องมีเซนซิวิตีสูงพอ หรือสามารถหาวิธีเพิ่มเซนซิวิตี เพื่อให้วิเคราะห์ได้ บางครั้งอาจต้องใช้หลายเทคนิคร่วมกันเพื่อให้สามารถตรวจสอบผลได้ ทั้งนี้เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้จะต้อง เป็นเทคนิคที่สากลอมรับกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ตัดสินใจที่จะเลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทาง Neutron Activation Analysis ซึ่งสามารถทำแบบ nondestructive analysis ได้ ร่วมกับเทคนิคทาง Atomic Absorption Spectrophotometry ซึ่งเป็นแบบ destructive analysis และถ้ามีปริมาณธาตุที่จะวิเคราะห์น้อยมาก ๆ ก็จะใช้เทคนิคทาง microextraction เข้าช่วยเพื่อเพิ่มความเข้มข้น ปัญหาการวิเคราะห์ตัวอย่างดังกล่าวนี้จึงคาดคิดว่าน่าจะหมดไป และสามารถดำเนินการไปได้ด้วยดี

หลักการของเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์

1. อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) (13)

เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนแสงของอะตอมที่ความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรด ซึ่งจะทำให้อะตอมของธาตุนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electronic state) จากสภาวะต่ำสุด (ground state) ไปสู่สภาวะเร้า (excited state)

ในทางปฏิบัติถือว่า ค่าแอบซอร์เบ้นซ์ (absorbance) ของธาตุจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับจำนวนอะตอมของธาตุนั้น หรือถือว่าเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุนั้น

ในสารละลายตัวอย่าง ดังสมการ

$$A = K \cdot C$$

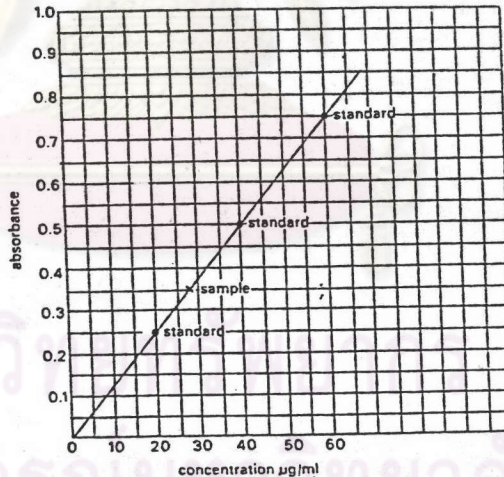
เมื่อ A = แอ็บซอร์เบ้นซ์

K = ค่าคงที่

C = ความเข้มข้นของธาตุในสารตัวอย่าง

ดังนั้น วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างจึงนิยมกระทำโดยใช้วิธี 2 วิธีคือ

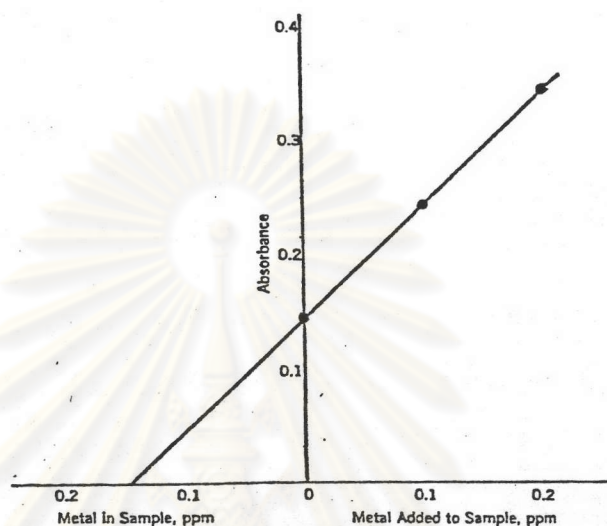
1.1 Calibration method เป็นวิธีหาความเข้มข้นของธาตุในสารตัวอย่าง โดยอ่านจากกราฟมาตรฐานซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอ็บซอร์เบ้นซ์กับความเข้มข้นต่าง ๆ กันของสารละลายมาตรฐานที่เตรียมขึ้น กราฟที่ได้อาจเป็นเส้นตรงหรือเป็นเส้นโค้งก็ได้ และกราฟนี้ต้องทำใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ตัวอย่างกราฟมาตรฐานเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS

1.2 Standard Addition method เป็นวิธีหาความเข้มข้นของธาตุในสารตัวอย่างที่มีสารปนเปื้อนและยากที่จะกำจัดออกได้หมด การวิเคราะห์ทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างกัน 1 ชุด (4-5 ความเข้มข้น) แล้วเติมสารละลายตัวอย่างลงไป

ในปริมาณที่เท่า ๆ กัน และนำไปวัดค่าแอมซอร์แบนซ์ นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับค่าแอมซอร์แบนซ์ ตัวอย่างกราฟที่ได้แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟมาตรฐานโดยวิธี Standard Addition

ลากเส้นกราฟตัดแกนตั้งแล้วต่อออกไปตัดแกนนอน จุดตัดแกนนอนคือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างนั้น หรืออาจใช้คำนวณดังนี้ แบ่งสารละลายตัวอย่างอันหนึ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน สมมติให้มีธาตุที่ต้องการหาปริมาณเท่ากับ x นำส่วนที่หนึ่งมาเติมสารละลายมาตรฐานที่มีธาตุชนิดเดียวกับธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ลงไป มีปริมาณเท่ากับ a นำส่วนที่สองมาทำเช่นเดียวกัน แต่เติมสารละลายมาตรฐานในปริมาณต่างกันให้เป็น b ส่วนที่สามไม่ต้องเติมอะไร และทำให้สารละลายทั้งสามมีปริมาตรเท่ากัน นำสารละลายทั้งสามส่วนไปวัดค่าแอมซอร์แบนซ์ ให้ส่วนที่หนึ่งวัดได้ A_1 ส่วนที่สองวัดได้ A_2 และส่วนที่สามวัดได้ A_3 ค่าของ x จะคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{x}{x+a} = \frac{A_3}{A_1} \quad \text{หรือ} \quad \frac{x}{x+b} = \frac{A_3}{A_2}$$

สิ่งสำคัญของเทคนิคนี้คือ การทำให้เกิดอะตอมอิสระของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งมีวิธีการทำให้เกิดได้โดยอาศัยความร้อนสูงจาก 2 แบบคือ

1) แบบใช้เปลวไฟ (Flame Atomization)

เปลวไฟที่ให้ความร้อนสูงนี้เกิดจากการเผาไหม้ของส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างตัวออกซิแดนท์ (oxidant) ซึ่งมักจะใช้อากาศธรรมดา หรือไนตรัสออกไซด์ (N_2O) กับก๊าซเชื้อเพลิง (fuel gas) ซึ่งมักจะเป็นอะเซทิลีน (acetylene) เปลวไฟที่เกิดขึ้นนี้สามารถปรับเพื่อให้ได้สภาพของเปลวไฟเหมาะสมกับชนิดของธาตุที่จะวิเคราะห์ สารละลายตัวอย่างจะถูกดูดเข้าไปและถูกฉีดให้เป็นละอองในแชมเบอร์ (chamber) เพื่อเข้าสู่เปลวไฟ จากนั้นจะเกิดขบวนการต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดเป็นอะตอมอิสระของธาตุที่จะวิเคราะห์ที่อยู่ในเปลวไฟ แล้วดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ แสงที่เหลือจะเข้าไปยังหน่วยรับสัญญาณ (detector) ต่อไป

2) แบบที่ไม่ใช้เปลวไฟ (Nonflame Atomization)

เป็นวิธีใช้ความร้อนจากไฟฟ้าที่ให้กับแท่งคาร์บอนหรือแกรไฟต์จนร้อนแดง และมีผลให้สารละลายตัวอย่างที่อยู่ในแท่งคาร์บอนหรือแกรไฟต์นั้น เกิดขบวนการต่าง ๆ ให้อะตอมอิสระของธาตุที่จะวิเคราะห์ออกมาดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะที่ส่องผ่านแท่งคาร์บอนหรือแกรไฟต์ไปยังหน่วยรับสัญญาณต่อไป

ข้อดีและข้อเสียของแบบไม่ใช้เปลวไฟ เปรียบเทียบกับแบบใช้เปลวไฟ

<u>แบบใช้เปลวไฟ</u>	<u>แบบไม่ใช้เปลวไฟ</u>
1. ใช้ปริมาณตัวอย่างมากในอัตราประมาณ 1-4 cm^3/min .	1. ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยมาก ประมาณ ไม่เกิน 50 μl
2. ใช้ได้กับตัวอย่างที่เป็นสารละลาย เท่านั้น	2. สามารถประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่เป็นของแข็งได้
3. ให้เซนซิวิตีต่ำกว่า	3. ให้เซนซิวิตีสูงกว่า
4. ในตัวอย่างที่มีสารอินทรีย์บางชนิดปะปนอยู่ จะต้องนำไปกำจัดออกเสียก่อน	4. สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ได้เลย
5. ให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ (reproducibility) สูงกว่า	5. ความแม่นยำในการวิเคราะห์จะน้อยลง เนื่องจากใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อย

นอกจากนี้เทคนิคการไม่ใช้เปลวไฟจะต้องเพิ่มความระมัดระวังในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน และการเตรียมสารตัวอย่าง เกี่ยวกับการปนเปื้อนต่าง ๆ เป็นอย่างมาก และเนื่องจากเทคนิคแบบไม่ใช้เปลวไฟยังใช้กันไม่แพร่หลายนัก เพราะอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์อันได้แก่ แท่งคาร์บอน หรือแกรไฟต์ ซึ่งมีราคาแพงมาก

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตริกนั้น สารตัวอย่างส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นของธาตุที่สนใจอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุที่สนใจนั้น และเนื่องจากเราไม่สามารถคาดได้ว่า ปริมาณธาตุที่จะวิเคราะห์ในตัวอย่างจะสูงหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมหรือไม่ เราจึงต้องมีวิธีการที่จะลดลงหรือเพิ่มความเข้มข้นของธาตุให้เหมาะสม วิธีการลดความเข้มข้นนั้นจะใช้วิธีการทำให้เจือจางด้วยตัวทำละลายที่ใช้เตรียมสารละลายตัวอย่างนั้น (dilution method) ส่วนวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมีหลายวิธี ได้แก่ (14)

- (1) ใช้การระเหย (evaporation) เป็นวิธีที่ไม่ค่อยนิยมใช้นัก
- (2) ใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายหลังจากใช้คีเลติงเอเจนต์ที่เหมาะสม ไปรวมกับธาตุที่สนใจได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน เพื่อให้ละลายในตัวทำละลาย
- (3) ใช้การแลกเปลี่ยนไอออนของธาตุ (ion exchange)
- (4) ใช้การตกตะกอนร่วม (coprecipitation)

ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัด ข้อดี ข้อเสีย และมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อวิธีการเหล่านั้นแตกต่างกันไป วิธีที่มีผู้ศึกษารวบรวมอย่างกว้างขวางและให้ผลดีคือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย หลังจากใช้คีเลติงเอเจนต์ที่เหมาะสมไปรวมกับธาตุที่สนใจได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ตัว เช่น ใช้ระบบ "APDC-MIBK" กล่าวคือ ใช้คีเลติงเอเจนต์เป็นแอมโมเนียมไพโรลิดีน ไดไธโอคาร์บาเมต (ammonium pyrrolidine dithiocarbamate) และใช้ตัวทำละลายเป็นเมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (methylisobutyl ketone) เทคนิคนี้สามารถใช้ได้กับธาตุหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ควบคู่กับเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตริกก็จะเป็นการเพิ่มเซนซิวิตีของเทคนิคมากยิ่งขึ้น Robert และคณะ (15) ได้นำวิธีการสกัดแบบนี้มาใช้ในงานวิเคราะห์ปริมาณธาตุโคบอลต์ เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล และสังกะสี ในตัวอย่างน้ำทะเล พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจมาก และให้เซนซิวิตีในการวิเคราะห์สูง Guardia และ Vidal (16) ได้รวบรวมผลงานต่าง ๆ

011802

เกี่ยวกับการหาปริมาณเหล็กและทองแดง โดยใช้วิธีการสกัดระบบนี้ควบคู่กับเทคนิคอะตอมมิก-
แอมซอพซัน ในตัวอย่างต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการหาปริมาณเหล็กและทองแดงโดยการสกัดควบคู่กับ เทคนิคอะตอมมิกแอม-
ซอพซัน สเปกโตรโฟโตเมตรี

ตัวทำละลาย	pH ของสารละลาย	ธาตุที่สนใจ	ชนิดตัวอย่าง
MIBK	0-10	Cu	เถ้าของเนื้อเยื่อพืช (ashed plant tissue)
MIBK	0.1-8	Cu	พืช น้ำ เลือด
MIBK	0.3-10	Cu Fe	อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (high purity aluminium)
MIBK	1-9	Cu	น้ำในแม่น้ำ น้ำทะเล
	2.1-2.3	Cu	ไปคัสเซียมคลอไรด์ หินซิลิเกต (silicate rock)
	5	Cu Fe	น้ำตามธรรมชาติ (natural water)
		Cu Fe	ควันทูรี
		Fe	โลหะผสม (non-ferrous alloy)

Butler, และ Matthews (17) ได้นำวิธีสกัดระบบนี้ไปศึกษา
ปริมาณโมลิบดีนัมในตัวอย่างน้ำ พืช และหินซิลิเกต พบว่าให้เซนซิวิตีอยู่ในระดับ ng/gm
Sprague และ Slavin (16) ได้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถแยกธาตุต่าง ๆ หลายชนิดออกจาก
สารละลายไปคัสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 25% ได้โดยการสกัดเอาสารประกอบเชิงซ้อนของ
ธาตุเหล่านี้กับ APDC ด้วยตัวทำละลาย MIBK และยังได้นำระบบนี้ไปใช้กับตัวอย่างน้ำทะเลด้วย

2. นิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation Analysis)

การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันนั้น เป็นการวิเคราะห์ธาตุ
โดยอาศัยการอาบรังสี (Irradiation) ด้วยอนุภาคนิวตรอนแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ภายในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุนั้นกลายเป็นสารกัมมันตรังสี หรือเรดิโอไอโซโทป ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ ครึ่งชีวิต (half-life) และชนิดของรังสีซึ่งมีพลังงานเฉพาะตัว จากคุณสมบัติเฉพาะตัวของเรดิโอไอโซโทปที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ทราบได้ว่าเป็นเรดิโอไอโซโทปของธาตุใด และจากปริมาณรังสีที่วัดได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีของสารมาตรฐานก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณของธาตุที่จะวิเคราะห์ได้ เทคนิคนี้เป็นที่ยอมรับและนิยมในหมู่ นักวิเคราะห์ให้เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณน้อย ๆ ได้ ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1) แบบไม่ทำลายเนื้อสาร (nondestructive method) หรือเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้เฉพาะเครื่องมือ (instrumental neutron activation analysis : INAA) โดยการนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเข้าอบรังสีนิวตรอนพร้อมกัน แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำไปวัดปริมาณรังสีของเรดิโอไอโซโทปของธาตุทั้งในตัวอย่างและสารมาตรฐานแล้วคำนวณหาปริมาณธาตุในตัวอย่างได้

2) แบบทำลายเนื้อสาร (destructive method) โดยอาศัยวิธีทางเคมี เข้าช่วย เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนในตัวอย่างหรือเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของธาตุที่จะวิเคราะห์ให้สูงขึ้น ซึ่งสารมาตรฐานก็จะถูกกระทำอย่างเดียวกัน ก่อนที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน

2.1 หลักการของเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน

เป็นที่ทราบกันแล้วว่า อัตราการเกิดเรดิโอไอโซโทปขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของธาตุในสารตัวอย่าง ความสามารถในการจับนิวตรอนของธาตุ และความเข้มของนิวตรอนที่ใช้อบรังสี (neutron flux) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = N\sigma\phi \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ R = อัตราการเกิดเรดิโอไอโซโทป

N = จำนวนอะตอมของธาตุที่ทำปฏิกิริยากับเรดิโอไอโซโทป

σ = ค่าความสามารถในการจับนิวตรอนของธาตุ (neutron cross section) มีหน่วยเป็นบารน์ (1 บารน์ เท่ากับ 10^{-24} cm^2)

ϕ = ความเข้มของนิวตรอน มีหน่วยเป็น $\text{neutron/cm}^2\text{-sec}$

อัตราการเกิดของเรดิโอไอโซโทปที่แท้จริง = อัตราการเกิดขึ้น - อัตราการสลายตัวของเรดิโอไอโซโทป

เขียนได้ตั้งสมการที่ (2)

$$\frac{d}{dt}N(t) = R - \lambda N(t) \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ $\frac{d}{dt}N(t) =$ อัตราการเกิดของเรดิโอไอโซโทป ณ เวลาใด ๆ

$\lambda =$ ค่าคงที่ในการสลายตัวของเรดิโอไอโซโทปที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ $\frac{0.693}{t_{1/2}}$

$t_{1/2} =$ ค่าครึ่งชีวิตของเรดิโอไอโซโทป

$N(t) =$ จำนวนอะตอมของเรดิโอไอโซโทป ณ เวลาใด ๆ

$\lambda N(t) =$ อัตราการสลายตัวของเรดิโอไอโซโทป ณ เวลาใด ๆ

โดยการอินทิเกรต (integrate) สมการ (2) จะได้

$$N(t) = \frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{----- (3)}$$

เมื่อ $t =$ ระยะเวลาในการอาบรังสี

ปริมาณรังสี (Radioactivity) มีค่าเท่ากับ

$$A(t) = \lambda N(t) \quad \text{หรือ}$$

$$A(t) = R(1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{----- (4)}$$

แทนค่า R จากสมการ (1) ในสมการ (3) และ (4) จะได้

$$N(t) = \frac{N\sigma\phi}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{----- (5)}$$

$$A(t) = N\sigma\phi(1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{----- (6)}$$

$$\text{โดยที่ } N = \frac{WN_A f}{M}$$

เมื่อ $W =$ น้ำหนักของธาตุที่สนใจ หน่วยเป็นกรัม

$N_A =$ เลขอาโวกาโดร มีค่าเป็น 6.02×10^{23}

$f =$ สัดส่วนของไอโซโทปเสถียร แต่ละชนิดของธาตุนั้นในธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ (% abundance)

$M =$ มวลอะตอมของธาตุ

เขียนสมการ (6) ใหม่ได้เป็น

$$A(t) = \frac{WN_A f}{M} \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{----- (7 ก)}$$

$$W = \frac{A(t)M}{6.02 \times 10^{23} f \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t})} \quad \text{----- (7 ข)}$$

จากการวัดปริมาณรังสีที่เกิดขึ้น จะสามารถคำนวณหาปริมาณธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้โดยอาศัยสมการ (7 ก) และ (7 ข) แต่ในทางปฏิบัตินิยมใช้วิธีเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน โดยนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเข้าอาบรังสีนิวตรอนในสภาวะเดียวกัน แล้ววัดปริมาณรังสี เพื่อคำนวณปริมาณธาตุโดยอาศัยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$W_x = W_s \frac{R_x}{R_s} \quad \text{----- (8)}$$

- เมื่อ W_x = ปริมาณของธาตุที่จะวิเคราะห์ในตัวอย่าง
 W_s = ปริมาณของธาตุที่จะวิเคราะห์ในสารมาตรฐาน
 R_x = ปริมาณรังสีของสารตัวอย่าง
 R_s = ปริมาณรังสีของสารมาตรฐาน

2.2 ข้อดีของการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกทีเวชัน

1) เป็นวิธีที่ให้ เซนซิวิตีในการวิเคราะห์สูง ซึ่ง เซนซิวิตีนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคนิวตรอน ความสามารถในการจับนิวตรอน ครึ่งชีวิตของ เรดิโอไอโซโทปของธาตุ และประสิทธิภาพของ เครื่องมือนับรังสี ปกติแล้ว เครื่องมือนับรังสีจะมีขีดความสามารถที่จะวัดรังสีได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ถ้าประสิทธิภาพของ เครื่องมือนับรังสีสูง ความสามารถวัดปริมาณรังสี จะมีความถูกต้องแม่นยำมาก ซึ่งจะทำให้ ความถูกต้องของการวิเคราะห์สูงด้วย

$$\text{ปริมาณรังสีจริง} = \frac{\text{ปริมาณรังสีที่นับได้}}{\% \text{ประสิทธิภาพของ เครื่องมือนับรังสี}} \times 100$$

จาก $W = \frac{MA(t)}{N_A f \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t})}$

จะเห็นว่า เมื่อนำธาตุเข้าอบรังสีเป็นเวลานานหลายเท่าของครึ่งชีวิตของเรดิโอไอโซโทปของธาตุที่เกิดขึ้นนั้นแล้ว เทอม $(1 - e^{-\lambda t})$ ซึ่งเรียกว่า เทอมอิ่มตัว (saturation term) จะมีค่าใกล้หนึ่ง ดังนั้น

$$W = \frac{MA(t)}{N_A f \phi} \quad \text{----- (9)}$$

นั่นคือ ค่าต่ำสุดของการวิเคราะห์ (detection limit) จะลดลง ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มเซนซิวิตีของการวิเคราะห์นั่นเอง

ค่าต่ำสุดของการตรวจวิเคราะห์ธาตุบางชนิดโดยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชันจะแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าต่ำสุดของการตรวจวิเคราะห์ธาตุบางชนิดโดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน (17)

ค่าต่ำสุด (mg/l)	ธาตุ	ค่าต่ำสุด (mg/l)	ธาตุ
$1-3 \times 10^{-7}$	In, Eu, Dy	$1-3 \times 10^{-3}$	Al, Zn, Mo, Ag, Sn, Ce, Os
$4-9 \times 10^{-7}$	Ho	$4-9 \times 10^{-3}$	K, Ti, Cr, Ni, Rb, Y, Pr
$1-3 \times 10^{-6}$	Mn, Sm, Au	$1-3 \times 10^{-2}$	Mg
$4-9 \times 10^{-6}$	Rh, Lu, Re, Ir	$4-9 \times 10^{-2}$	Zr
$1-3 \times 10^{-5}$	Co, Cu, Ga, As, I, Cs, La, W, Hg	$1-3 \times 10^{-1}$	F, Ca, Nb
$4-9 \times 10^{-5}$	Na, V, Br, Ru, Pd, Sb, Yb, Th	1-3	Fe
$1-3 \times 10^{-4}$	Sc, Ge, Sr, Te, Ba, Nd, Ta	4-9	Si
$4-9 \times 10^{-4}$	Cl, Se, Cd, Gd, Tb, Tm, Hf, Pt	10-30	S, Pb

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์

$$\text{neutron flux} = 10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$\text{activation time} = 5 \text{ hr.}$$

$$\text{counting time} = 100 \text{ min.}$$

$$\text{detector} = \text{Ge (Li)}$$

$$\text{geometry} = 2 \text{ cm above detector}$$

2) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่สามารถใช้หาปริมาณของธาตุที่มีอยู่น้อย ๆ ได้ โดยที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีทาง เคมีธรรมดา เนื่องจากเทคนิคนี้คำนึงถึง เฉพาะ ปริมาณรังสีที่เกิดขึ้น เฉพาะตัว

3) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ได้ทั้งปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์ เนื่องจากเรดิโอไอโซโทปของธาตุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ เฉพาะตัว

4) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค INAA นี้เป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว โดยไม่มีการสูญเสียตัวอย่างทั้งรูปร่างและลักษณะ และให้เลือกสภาวะที่เหมาะสมแล้ว จะสามารถ ทำการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้หลายธาตุในคราว เดียวกัน

2.3 ข้อเสียของการวิเคราะห์โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน

1) วิธีนี้ไม่สามารถระบุได้ว่า ธาตุที่วิเคราะห์ได้นั้นอยู่ในรูปใด ในตัวอย่าง แต่ผลการวิเคราะห์จะแสดงได้เฉพาะปริมาณทั้งหมดของธาตุนั้นที่มีในตัวอย่าง

2) เป็นวิธีที่ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ธาตุได้ทุกธาตุในตาราง ธาตุ เนื่องจากมีข้อจำกัดสำหรับธาตุบางชนิด

3) เทคนิคนี้จะต้องมีอุปกรณ์สำหรับป้องกันและตรวจสอบรังสีชนิด ต่าง ๆ อย่างพร้อมมูล ข้อสำคัญที่สุดประการหนึ่งคือ ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการฝึกอบรมให้มีความรู้ ความเข้าใจ ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับกัมมันตรังสีเป็นอย่างดี

2.4 สาเหตุที่อาจทำให้การวิเคราะห์โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันมีข้อผิดพลาด

1) เนื่องจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีเป็นการสลายตัวแบบอิสระ (random) ถ้าปริมาณรังสีที่วัดได้น้อยไปก็อาจทำให้มีการผิดพลาดทางสถิติได้

2) ความผิดพลาดจากการเตรียมสารตัวอย่าง นับตั้งแต่เริ่มต้น คือ การลุ่มตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้งหมด จนถึงในระหว่างการเตรียมสารตัวอย่าง อาจเกิดการปนเปื้อนได้

3) ความผิดพลาดจากการอาบรังสีของสารตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารตัวอย่างนั้นมีธาตุบางชนิดที่มีความสามารถในการจับอนุภาคนิวตรอนได้ดีปนอยู่มาก อาจเกิดการกำบัง (shielding) ขึ้น ทำให้เรดิโอไอโซโทปของธาตุบางตัวเกิดไม่

เต็มที ปรากฏการณ์อีกอย่างที่มีลักษณะคล้ายกันคือ self-absorption ซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อทำการวัดรังสีในสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยธาตุหนักปริมาณมากปนอยู่ด้วย

4) ความเข้มของนิวตรอนไม่คงที่ (heterogeneity of neutron flux) ความเข้มของนิวตรอนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าไม่เท่ากัน และแม้จะเป็นตำแหน่งเดียวกัน แต่ในเวลาต่างกัน ความเข้มของนิวตรอนอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ การที่สารตัวอย่างและสารมาตรฐานได้รับรังสีที่มีความเข้มของนิวตรอนต่างกัน จะมีผลให้การวัดปริมาณรังสีและการคำนวณ เปรียบเทียบผิดพลาดได้ แต่แก้ไขได้โดยนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเข้าอวบน้ำรังสีพร้อมกันในตำแหน่งใกล้เคียงกันมากที่สุด ในกรณีที่ไม่สามารถจะจัดตำแหน่งได้จะต้องมีการปรับปริมาณรังสีของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานให้มีความเข้มของนิวตรอนเท่ากัน โดยใช้สาร monitor

5) ปฏิกริยานิวเคลียร์แทรกซ้อน (interfering nuclear reaction) มี 2 ประเภทคือ

(1) การแทรกซ้อนจากปฏิกริยานิวเคลียร์ทำให้เกิดเรดิโอไอโซโทปตัวเดียวกันกับที่จะวิเคราะห์ ซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกิดปฏิกริยาแบบต่าง ๆ ระหว่างนิวตรอนกับธาตุที่มีเลขอะตอมใกล้เคียงกับธาตุที่จะวิเคราะห์ และทำให้เกิดเรดิโอไอโซโทปตัวเดียวกันในที่สุด

(2) การแทรกซ้อนจากเรดิโอไอโซโทปตัวอื่น ซึ่งสลายให้พลังงานของรังสีเท่ากันหรือใกล้เคียงกันกับเรดิโอไอโซโทปตัวที่จะวิเคราะห์ ซึ่งเรียกว่า Spectral Interference

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย