บทที่ 2
เทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมตรีและรังสีรักษา

2.1 เทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมตรี (Spectrophotometric Technique)

เทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมตรี ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในการวิเคราะห์คุณภาพ (qualitative analysis) และปริมาณวิเคราะห์(quantitative analysis) โดยเฉพาะปริมาณวิเคราะห์ เทคนิคทางสเปกโตรโฟโตรเมตรีเป็นเทคนิคที่ดีในการหาปริมาณของสาร ซึ่งสามารถใช้กับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จำนวนมาก ให้ผลถูกต้องดี (good accuracy) แม้จะมีสารเพียงเล็กน้อย(trace amount) ก็ตาม เป็นเทคนิคที่ทำได้สะดวกและรวดเร็ว เทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมตรีเป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา (interaction) ระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic radiation) กับสารต่างๆ ซึ่งจะเกิดขบวนการดูดกลืน(absorption) รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นซึ่งพอดีกับพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานที่แน่นอนของสารจากระดับพลังงานต่ำไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคหรือที่เรียกว่าโฟตอน(photon) จากทฤษฎีควันตัม(quantum) พลังงานของโฟตอนนี้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความถี่ (frequency) ดังสมการที่ 1

$$E = h\nu \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ E = พลังงานของโฟตอนมีหน่วยเป็น Joule

h = Planck's constant มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} Joule.sec

ν = ความถี่ มีหน่วยเป็น Cycle/sec

ถ้าการแผ่รังสีมีลักษณะเป็นคลื่น ความเร็วของคลื่นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความถี่ และชนิดของตัวกลาง (medium) ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้คือ

$$V_i = \lambda_i \nu \quad \text{.....(2)}$$

V_i = ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอันหนึ่งมีหน่วยเป็น m/sec

λ_i = ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็น m/cycle.

การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในสูญญากาศมีความเร็วเท่ากับ 2.99792×10^{8} m/sec ดังนั้น

$$C = 3 \times 10^{8} \text{ m/sec} \quad \text{.....(3)}$$

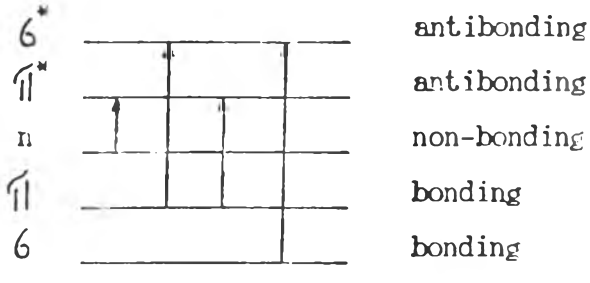
C = ความเร็วของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในสูญญากาศ

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับความยาวคลื่นจะได้ดังแสดงในสมการที่ 4

$$E = hc \quad \text{.....(4)}$$

พลังงานของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากว้างมากและแสงอุลตราไวโอเลตจะมีพลังงานสูงกว่าแสงวิสิเบิล และอินฟราเรด

เทคนิคทางอุลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี(UV-Visible spectrophotometric technique) เป็นเทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมตรีที่ใช้แสงอุลตราไวโอเลตความยาวคลื่นประมาณ 200-400 นาโนเมตร หรือวิสิเบิล ความยาวคลื่นประมาณ 400-800 นาโนเมตรผ่านเข้าไปยังสารเคมี ถ้าอะตอมหรือโมเลกุลของสารเคมีดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตและวิสิเบิลจะทำให้อิเลคตรอนวงนอกสุดเกิดทรานซิชันขึ้น (electronic transition) โดยเฉพาะอิเลคตรอนวงนอกสุดจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า สารอินทรีย์เมื่อดูดกลืนแสงในช่วงอุลตราไวโอเลตหรือวิสิเบิล จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอิเลคตรอนจาก π bonding molecular orbital เป็น π^* antibonding molecular orbital, σ bonding molecular orbital เป็น σ^* antibonding molecular orbital, n (non-bonding) molecular orbital เป็น σ^* antibonding molecular orbital และn(non-bonding) molecular orbital เป็น π^* antibonding molecular orbital ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่จาก groundstate orbitals ไปยัง excited state orbitals ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงระดับพลังงานของอิเลคตรอนในโมเลกุล (electronic molecular energy levels)

การดูดกลืนแสงในช่วงนี้จะเกิดกับหมู่ฟังก์ชันแนล(functional group)บางชนิด ซึ่งแสดงลักษณะและคุณสมบัติของสารอินทรีย์เรียกว่าโครโมฟอร์(chromophore) โดยทั่วไปโครโมฟอร์ มี 3 แบบคือ

1. โครโมฟอร์ที่มี multiple bond ระหว่าง 2 อะตอมของธาตุโดยที่ไม่มี lone pair ของอิเลคตรอนเช่น $\rangle C = C \langle$

2. โครโมฟอร์ที่มี multiple bond ระหว่าง 2 อะตอมของธาตุโดยที่อะตอมของธาตุหนึ่งมี lone pair ของอิเลคตรอนเช่น $\rangle C = \ddot{O}:$

3. โครโมฟอร์ ที่มี benzene ring

นอกจากนี้ยังมีหมู่ฟังก์ชันแนลบางชนิดที่ไม่ดูดกลืนแสง หรือดูดกลืนแสงได้เพียงเล็กน้อยในช่วงอุลตราไวโอเลตหรือวิสิเบิล แต่หมู่ฟังก์ชันแนลนี้สามารถมีผลค่าแอบซอบในสเปก-

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตรัม (absorption spectrum)ของโครโมฟอร์ ซึ่งเรียกหมู่ฟังก์ชันเนลนั้นว่าออกโซโครม (auxochrome) เช่น -OH, $-NH_2$, -Cl ถ้ากรณีที่ทำให้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้ดีที่สุด(maximum absorption) เปลี่ยนไปในทางที่ยาวขึ้น เรียกว่า Bathochromic effect หรือ red shift แต่ถ้าเปลี่ยนไปในทางที่สั้นกว่าเดิมเรียกว่า Hypsochromic effect หรือ blue shift แสงในช่วงวิสิเบิลเป็นช่วงซึ่งสามารถมองเห็นได้เป็นสีต่าง ๆ และการที่สารดูดกลืนแสงในช่วงนี้จะมีผลทำให้มองเห็นสารเป็นสีต่างๆ กัน เมื่อแสงในช่วงตกกระทบสาร ถ้าแสงสะท้อน (reflect) หมดจะเห็นสารเป็นสีขาว แต่ถ้าแสงถูกดูดกลืน (absorb) หมดจะเห็นสารเป็นสีดำ แต่ถ้าแสงบางส่วนถูกดูดกลืนและบางส่วนสะท้อนจะมองเห็นสารนั้นเป็นสีในช่วงของแสงที่ไม่ถูกดูดกลืน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของสีที่ถูกดูดกลืนและสีของสารที่มองเห็น (4)

ช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืน (นาโนเมตร)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่ตามองเห็น
400-465	ม่วง	เหลือง-เขียว
465-482	น้ำเงิน	เหลือง
482-487	น้ำเงินเขียว	ส้ม
487-493	น้ำเงิน-เขียว	แดง-ส้ม
493-498	เขียวน้ำเงิน	แดง
498-530	เขียว	แดง-ม่วง
530-559	เขียวเหลือง	ม่วงแดง
559-571	เหลือง-เขียว	ม่วง
571-576	เหลืองเขียว	ม่วง
576-580	เหลือง	น้ำเงิน
580-587	เหลืองส้ม	น้ำเงิน
587-597	ส้ม	น้ำเงินเขียว
597-617	ส้มแดง	น้ำเงิน-เขียว
617-780	แดง	น้ำเงิน-เขียว

เมื่อพิจารณาโมเลกุลของสี ซึ่งประกอบด้วยโครโมฟอร์กรุปต่างๆ กันจึงทำให้ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นไม่เท่ากันเป็นลักษณะเฉพาะของสีแต่ละตัว การดูดกลืนแสง

ที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ซึ่งสามารถนำมาเป็นหลักในการวิเคราะห์สีได้ นอกจากนั้นสเปกโตรโฟโตเมตรียังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้ด้วย โดยอาศัยกฎของ Beer'Lambert ดังแสดงในสมการที่ 5

$$A = \varepsilon bc = -\log T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

เมื่อ A = ค่า absorbance ของสาร

ε = molar absorptivity

T = Transmittance

b = ความกว้างของเซลที่ใส่สาร

C = ความเข้มข้นของสารในหน่วย mole/l

การใช้กฎของ Beer-Lambert นี้มีข้อสมมุติอยู่ 3 ประการคือ

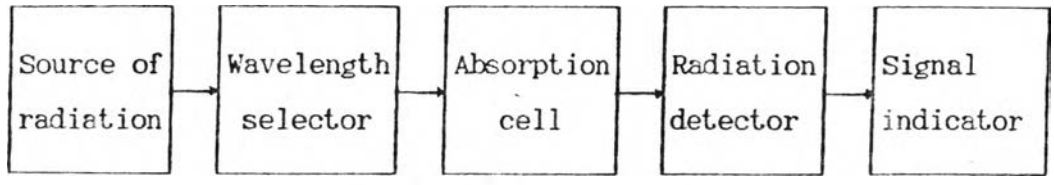
1. แสงที่ใช้ผ่านสารจะต้องเป็น monochromatic radiation
2. ขบวนการดูดกลืนแสงของแต่ละอนุภาคนั้นไม่ขึ้นแก่กัน
3. ตลอดปริมาตรที่ใช้ถือว่าเป็นเนื้อเดียวกัน

ด้วยเหตุนี้เองกฎของ Beer นี้สามารถนำไปใช้ได้ แม้จะมีสารหลายชนิดผสมกัน เพราะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติไม่ขึ้นแก่กัน ค่า absorbance หรือค่า Transmittance ที่ได้ควรอยู่ในช่วง 0.2-0.8 หรือ 20-80% T เพราะจะให้ความถูกต้องในการวิเคราะห์ดีที่สุด และการเลือกใช้ความยาวคลื่นที่จะวัดค่า absorbance ให้ถูกต้องจริง ๆ ถึงแม้ว่าจะทราบหรือไม่ทราบ ความยาวคลื่นที่จะใช้มาก่อนก็จะต้องตรวจสอบก่อนเสมอ โดยต้องหาแอบซอบชันสเปกตรัมออกมาดูก่อนโดยวัดค่า absorbance ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันแล้วเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ให้ค่า absorbance ที่สูงที่สุด เรียกว่า λ max

ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการดูดกลืนแสงถูกผลิตออกมามากมายหลายแบบแตกต่างกันทั้งด้านการออกแบบ การสร้างและการใช้งาน อย่างไรก็ตามเครื่องมือเหล่านี้มีส่วนประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกันคือ

1. แหล่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Source of electromagnetic radiation)
2. เครื่องมือที่ใช้ในการแยกคลื่นแสงออกเป็นแถบหรือเป็นช่วงคลื่นที่แคบ ๆ (wavelength selector) เช่น ฟิลเตอร์หรือโมโนโครมาเตอร์
3. ภาชนะโปร่งแสงสำหรับใส่สารที่จะวิเคราะห์ (absorption cell)
4. เครื่องวัดความเข้มของคลื่นแสง (radiation detector)
5. เครื่องอ่านหรือแปลสัญญาณ (signal indicator or read - out device)

ส่วนประกอบพื้นฐานเหล่านี้สามารถเขียนแผนภาพแบบรูปสี่เหลี่ยม (block diagram) ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บล๊อกของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการดูดกลืนแสง

2.2 รังสีรักษา (Radiotherapy)

รังสีรักษา หมายถึง การนำเอกซเรย์หรือรังสีชนิดอื่นมาใช้รักษาโรคต่างๆ การรักษาอาจทำได้โดยนำสารกำเนิดรังสีใส่เข้าไปในร่างกาย หรือให้ต้นกำเนิดรังสีอยู่นอกร่างกายและฉายรังสีไปยังบริเวณต้องการรักษาจึงแบ่งการรักษาโรคด้วยรังสีออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1 การใช้รังสีรักษาโดยต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายนอก (External Radiation Therapy) ซึ่งแบ่งตามเทคนิคออกเป็น 3 เทคนิค

2.1.1 Teletherapy เป็นการรักษาซึ่งต้นกำเนิดรังสีอยู่ไกลหรือห่างจากผู้ป่วย ระยะห่างจะอยู่ระหว่าง 40-100 เซนติเมตร ซึ่งเรียกว่า Focus to Skin Distance (F.S.D) สำหรับรังสีเอกซ์จากหลอดเอกซเรย์ และเรียก Source to Skin Distance (S.S.D) สำหรับรังสีแกมมาจากสารกัมมันตรังสี ตัวอย่างเช่น

- Deep หรือ Orthovoltage x-ray therapy สำหรับรังสีเอกซ์ซึ่งมีพลังทลุทลวงของรังสีระหว่าง 200-400 KV สำหรับรักษาบริเวณที่อยู่ไม่ลึกมากนัก

- Megavoltage หรือ Supervoltage therapy สำหรับรังสีเอกซ์หรือรังสีอิเล็คตรอนจากเครื่อง Linear accelerator หรือรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีรักษาโคบอลต์-60 ซึ่งมีพลังทลุทลวงมากกว่า 1 MeV ขึ้นไป เหมาะสำหรับรักษาบริเวณที่อยู่ลึกมากๆ ในร่างกาย

2.1.2 Plesiotherapy เป็นการรักษาที่ต้นกำเนิดรังสีอยู่ใกล้บริเวณที่จะรักษาระยะห่างอยู่ระหว่าง 10-20 เซนติเมตรเหมาะสำหรับรักษาบริเวณที่อยู่ค่อนข้างตื้น ตัวอย่างเช่น

- Superficial x-ray therapy สำหรับรังสีเอกซ์ที่มีพลังทะลุทลวงประมาณ 50-100 KV ใช้รักษาโรคบางชนิดที่อยู่บริเวณผิวหนัง

- Radium bomb therapy โดยอาศัยรังสีแกมมาจากแร่ Radium ในปริมาณมาก ๆ

- Low activity Cobalt - 60 therapy โดยใช้ต้นกำเนิดโคบอลต์ - 60 ที่ใช้รักษามาแล้วเป็นเวลามากกว่า 1.5 เท่าของครึ่งอายุจะมี activity

ลดลง

2.1.3 Brachytherapy เป็นการรักษาที่ต้นกำเนิดรังสีอยู่ชิดติดกับบริเวณที่จะรักษา ตัวอย่างเช่น

- Contact x-ray therapy สำหรับรังสีเอกซ์ที่มีอำนาจทะลุทลวงประมาณ 5-10 KV เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า " Grenz ray" เหมาะสำหรับรักษาโรคบางชนิดที่อยู่บริเวณตื้นมาก ๆ เช่น โรคเกี่ยวกับตา เป็นต้น

- Surface หรือ Mould therapy ใช้สารกัมมันตรังสีวางบนบริเวณที่ต้องการรักษาโดยตรงเช่น Radium mould, Cobalt-60 rod, Strontium-90 eye applicator เป็นต้น

2.2 การใช้รังสีรักษาโดยต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายในร่างกาย(Internal Radiation Therapy) ซึ่งแบ่งตามเทคนิคออกเป็น 3 เทคนิค

2.1 Implantation หรือInterstitial Therapy เป็นการฝังสารกัมมันตรังสีเข้าไปภายในบริเวณที่จะรักษาโดยตรง เช่น การฝังแร่เรเดียม เพื่อรักษาโรคมะเร็ง

2.2 Intracavitary หรือ Insertion therapy เป็นการสอดใส่สารกัมมันตรังสีเข้าไปในโพรงหรือรูของอวัยวะที่ต้องการรักษา

2.3 Systemic therapy เป็นการรักษาโดยการนำสารกัมมันตรังสีที่อยู่ในรูปของของเหลวเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีต่าง ๆ เช่น การรับประทาน การฉีด เป็นต้น

2.3 ต้นกำเนิดรังสีรักษาระยะไกลโคบอลต์-60

เป็นต้นกำเนิดรังสีรักษาที่เรียกโดยทั่วไปว่า เครื่องฉายรังสี หรือ Cobalt-60 Unit ซึ่งนิยมใช้ในการรักษาโรคมะเร็งมากในปัจจุบัน เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย โดยใช้เทคนิคการฉายรังสีระยะไกลโคบอลต์-60 ให้แกมมาพลังงาน 1.17 และ1.33 เอ็มอีวี ครึ่งอายุ 5.3 ปี และเมื่อไม่ใช้จะถูกเก็บในที่เก็บ (housing) ซึ่งจะต้องกั้นรังสีได้

2.4 หน่วยวัดรังสี (Radiation Unit)

เมื่อรังสีผ่านตัวกลาง รังสีจะทำปฏิกิริยากับตัวกลางโดยการถ่ายเทพลังงานให้ตัวกลาง ผลที่เกิดติดตามมาคือเกิดไอออนไนเซชั่น (ionization) ของอะตอมในตัวกลางที่รังสีผ่าน จึงใช้หลักการดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการวัดปริมาณรังสีแบบต่างๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

2.4.1 เอ็กโพเชอร์ (exposure) เป็นปริมาณที่แสดงด้วยจำนวนประจุที่เกิด

จากรังสีเอกซ์หรือแกมมาในอากาศหนึ่งหน่วยน้ำหนัก เอ็กโพเชอร์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มของรังสีซึ่งเป็นปริมาณที่วัดได้ยากและใช้สำหรับรังสีเอกซ์และแกมมาที่มีพลังงานน้อยกว่า 3 เอ็มอีวี หน่วยที่ใช้วัดเอ็กโพเชอร์ที่ยังคงนิยมใช้คือ เรินท์เกน (roentgen) ความหมายของคำจำกัดความของเรินท์เกนกล่าวไว้ว่า

"รังสีเอกซ์หรือแกมมาที่ทำให้อากาศ 1 กิโลกรัมแตกตัวเป็นประจุ 2.58 $x10^{-4}$ คูลอมป์เรียกรังสีนั้นว่า 1 เรินท์เกน"

2.4.2 แอ็ปสอบโดส(absorbed dose) เป็นหน่วยที่ใช้วัดพลังงานที่ถูกดูดกลืนในตัวกลางต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของวัตถุ หน่วยของ แอ็ปสอบโดส คือ เกรย์ (Gray, Gy)

1 Gy = 1 จูล/กิโลกรัม

หน่วยเดิมของแอ็ปสอบโดส คือ แรด (rad)

1 แรด = 100 เอิร์ก/ กรัม

= 0.01 จูล/กิโลกรัม

.. 1 Gy = 100 แรด

2.4.3 โดส อีควิปวาเลนท์(dose equivalent) แม้ว่าปริมาณแอ็ปสอบโดสจะเป็นปริมาณที่ให้ความหมายสมบูรณ์ทางกายภาพ แต่ค่าแอ็ปสอบโดสจากรังสีต่างชนิดหรือต่างพลังงาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา(biological effects) ไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบผลทางชีววิทยาโดยถือแกมมาเป็นมาตรฐาน นำค่าแอ็ปสอบโดสมาคูณด้วยค่าคงที่ของรังสีแต่ละชนิด ซึ่งเรียกค่านี้ว่า quality factor (QF) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จะได้หน่วยใหม่ของโดส อีควิปวาเลนท์ คือ ซีเวิรท์ (Sievert, Sv)

dose equivalent (Sv) = absorbed dose(Gy) x QF

หน่วยเดิมของโดส อีควิปวาเลนท์ คือ เรม (rem) ซึ่งสัมพันธ์กับแรด ดังนี้

dose equivalent (rem) = absorbed dose (rad) x QF

1 เกรย์ = 100 แรด

ฉะนั้น 1 ซีเวิรท์ = 100 เรม

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า QF ของรังสีชนิดต่างๆ

ชนิดของรังสี	QF
รังสีเอกซ์, แกมมา, เบต้า	1
เทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron)	2.3
นิวตรอนพลังงานสูง, โปรตรอน	10
แอลฟา และ อนุภาคหนัก	20