

บทที่ 5

อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีทางเคมีอนินทรีย์ (Infrared Spectroscopy in Inorganic Chemistry)

1. จุดประสงค์ของการทดลอง

เป็นการใช้เทคนิคทางอินฟราเรดศึกษาการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารในสถานะต่าง ๆ กัน และนำสารประกอบโคออดิเนชันบางตัวที่เตรียมได้ไปวัดสเปกตรัมเพื่อหาโครงสร้างของสารประกอบนั้น รวมทั้งเรียนรู้เทคนิคในการเตรียมตัวอย่าง เพื่อนำไปวัดสเปกตรัม

2. บทนำ

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารประกอบ หรือการหาโครงสร้างของโมเลกุล โดยใช้เทคนิคทางอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีนั้น โมเลกุลหรือกรุปของโมเลกุลทั้งหลายที่ดูดกลืนอินฟราเรดได้ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ในขณะที่โมเลกุลหรือกรุปของโมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือน

คลื่นแสงอินฟราเรดแบ่งออกได้หลายช่วง เช่น ช่วงใกล้อินฟราเรด, ช่วงกลางอินฟราเรด และช่วงไกลอินฟราเรด ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การแบ่งช่วงสเปกตรัมของคลื่นอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	ชนิดของทรานซิชัน	จำนวนคลื่นต่อเซนติเมตร	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)
ช่วงใกล้อินฟราเรด	โอเวอร์โทน	10,000–4,000	1.0–2.5
ช่วงกลางอินฟราเรด	การสั่นสะเทือนและการหมุนของโมเลกุล	4,000–250	2.5–4.0
ช่วงไกลอินฟราเรด	การสั่นสะเทือนและการหมุนของโครงสร้าง	250–10	40–1,000

แต่ช่วงที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารอนินทรีย์ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและพันธะภายในสารประกอบมักจะใช้ช่วงกลางอินฟราเรด

การที่สารที่จะดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดได้นั้น จะต้องมีการสั่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีพลังงานแน่นอนและเท่ากับพลังงานที่เปลี่ยนแปลงขณะที่โมเลกุลสั่นสะเทือน และที่สำคัญอีกอย่างคือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ด้วย ดังนั้นการสั่นสะเทือนของโมเลกุลแบบที่ดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดได้เรียกว่า ว่องไวต่อคลื่นอินฟราเรด (Infrared active) เช่น H-Cl หรือ $C=O$ สามารถดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดได้ แต่ถ้าโมเลกุลที่สั่นสะเทือนนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ ทำให้โมเลกุลไม่สามารถดูดกลืนอินฟราเรดได้ เรียกว่า ไม่ว่องไวต่อคลื่นอินฟราเรด (Infrared inactive) เช่น โมเลกุลที่ประกอบไปด้วย 2 อะตอมที่เหมือนกัน (homonuclear diatomic molecule) เช่น โมเลกุลของออกซิเจนหรือไนโตรเจน จึงไม่สามารถดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรด

จากหลักการสั่นสะเทือนแบบฮาร์โมนิคอย่างง่าย จะได้ว่าความถี่ของการสั่นสะเทือน (ν) ของโมเลกุล 2 อะตอม (xy) จะขึ้นอยู่กับมวลของอะตอมทั้งสอง (m_x, m_y) และแรงต้านทานของพันธะที่เกิดขึ้นซึ่งเรียกว่า แรงคงที่ (force constant, k) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\nu = \frac{h}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

ν คือ ความถี่มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

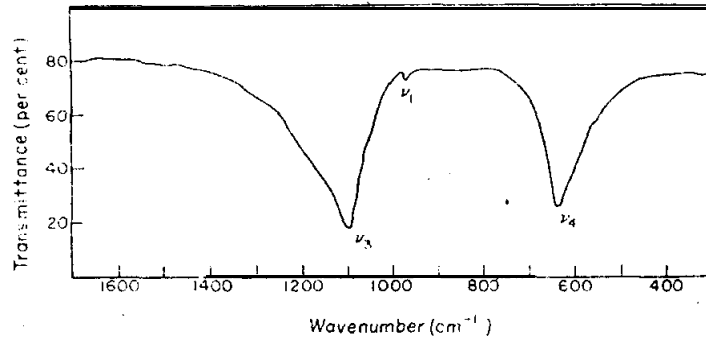
μ คือ มวลรีดิวซ์ (reduce mass) มีค่าเท่ากับ $\frac{m_x \cdot m_y}{m_x + m_y}$

เนื่องจากความถี่แปรผกผันกับมวลรีดิวซ์ ดังนั้นการสั่นสะเทือนของอะตอมที่มีมวลมากกว่าก็ย่อมมีความถี่น้อยกว่าอะตอมที่มีมวลน้อย

สำหรับโมเลกุลที่มีหลายอะตอม จะมีแบบของการสั่นสะเทือนหรือที่เรียกว่าแบบปกติของการสั่นสะเทือน (normal mode of vibration) และจำนวนแบบปกติของการสั่นสะเทือนขึ้นกับจำนวนอะตอม ถ้าโมเลกุลประกอบด้วย n อะตอม แต่ละอะตอมจะมีการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ได้ 3 แกนของโคออดิเนต x, y และ z โดยการเคลื่อนที่ไปตามทิศต่าง ๆ (transition motion), การหมุนของโมเลกุล (rotation) การสั่นสะเทือนของโมเลกุล (vibration)

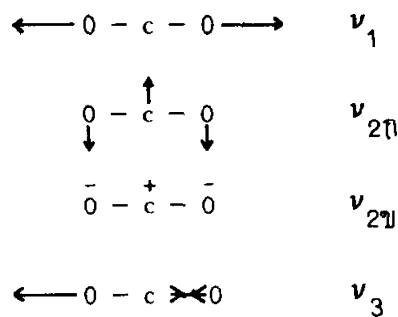
ในโมเลกุลที่มีรูปร่างไม่เป็นเส้นตรง (non-linear molecule) โมเลกุลนั้นจะมีการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่าง ๆ ได้ 3 ทิศ และหมุนได้อีก 3 ทิศ ดังนั้นการสั่นสะเทือนทั้งหมดจึงเท่ากับ $3n-6$ หรือเรียกว่าโมเลกุลนั้นมีแบบปกติของการสั่นสะเทือนเท่ากับ $3n-6$ และในโมเลกุลที่ศึกษานั้นมีสถานะต่าง ๆ กัน ดังนั้นการเคลื่อนที่ในตัวกลางที่ต่างกันอาจทำให้ขนาดของการสั่นสะเทือนแตกต่างกัน แต่ความถี่ของการสั่นสะเทือนไม่มีการเปลี่ยนแปลง สังเกตจากการศึกษาสเปกตรัมของซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ซึ่งกรุปของโมเลกุลนี้ควรมีแบบปกติของการสั่นสะเทือนเท่ากับ

(3×5)-6 ซึ่งเท่ากับ 9 แบบ ควรจะมีแถบดูดกลืนได้ 9 แบบ แต่ที่พบจริง ๆ จะเห็นได้ชัดเพียง 2 แถบดูดกลืน ดังรูป 5.1



รูปที่ 5.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของซัลเฟตไดออกไซด์ในโปแตสเซียมซัลเฟต

สำหรับโมเลกุลที่มีรูปร่างเป็นเส้นตรง โมเลกุลจะมีการหมุนได้ 2 ทาง เท่านั้น เพราะฉะนั้น โมเลกุลพวกนี้จะมีแบบปกติของการสั่นสะเทือนเท่ากับ $3n-5$ เช่นใน CO_2 โมเลกุลมี 3 อะตอม ดังนั้นควรมีแบบของสารสั่นสะเทือนเท่ากับ $(3 \times 3) - 5$ ซึ่งเท่ากับ 4 ควรจะมีแถบดูดกลืนได้ 4 แบบ โดยการสั่นสะเทือน ดังรูป 5.2



รูปที่ 5.2 แบบปกติของการสั่นสะเทือนของโมเลกุลเส้นตรง (CO_2) ลูกศรชี้แสดงทิศทางการเคลื่อนของอะตอม เครื่องหมาย + และ - แสดงถึงการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับระนาบของกระดาษ

การสั่นสะเทือนที่มีความถี่ ν_1 เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมออกซิเจนออกจากอะตอมของคาร์บอนซึ่งไม่มีไดโพลโมเมนต์เกิดขึ้น เรียกว่า ไม้ว่องไวต่ออินฟราเรด

การสั่นสะเทือนที่มีความถี่ ν_2 มีได้ 2 แบบ ที่ว่องไวต่ออินฟราเรด แต่ทั้ง 2 แบบที่มีความถี่เป็น ν_{2g} และ ν_{2u} ถือว่ามีพลังงานเท่ากัน ซึ่งสังเกตเห็นแถบดูดกลืนเพียงแถบเดียว การสั่นสะเทือนที่มีความถี่เป็น ν_3 มีความถี่สูงสุด และมีการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ เนื่องจากการสั่นสะเทือนที่ไม่มีสมมาตร ดังนั้นจึงเห็นว่าโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์มีแถบดูดกลืนเพียง 2 แถบ

การกำหนดแถบดูดกลืนหลัก (fundamental band) โดยดูจากสเปกตรัมที่ได้จากการทดลองนั้น ค่อนข้างจะยุ่งยากหลายประการ เพราะการสั่นสะเทือนของกรุปบางชนิดอาจให้ความถี่เดียวกัน แต่บางชนิดอาจมีความเข้มต่ำเกินไปจนมองไม่เห็น แต่ในกรณีที่มีโมเลกุลไม่ซับซ้อน (simple molecule) ก็อาจจะทำนายแถบดูดกลืนต่าง ๆ ดังได้กล่าวแล้ว

การประยุกต์เอาเทคนิคทางอินฟราเรดมาช่วยหาโครงสร้างและอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของสารอนินทรีย์ และสารประกอบเชิงซ้อนต่าง ๆ มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะทางด้านการศึกษาวิเคราะห์เชิงคุณภาพตามหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การสั่นสะเทือนของกรุปบางกรุปในโมเลกุล จะมีความถี่ค่อนข้างคงที่ ไม่ว่ากรุปนั้นจะอยู่ในโมเลกุลไหน จากหลักการนี้ย่อมเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยอาศัยอินฟราเรดสเปกตรัมได้เป็นอย่างดี เช่น ต้องการศึกษาวาสารหนึ่ง ๆ มีกรุปอะไรอยู่บ้าง นอกจากนี้การศึกษาทางอินฟราเรดยังสามารถใช้บอกความแตกต่างระหว่างไอโซเมอร์ เช่น ซีส- หรือ ทรานส- แต่ละไอโซเมอร์ให้อินฟราเรดสเปกตรัมที่ต่างกัน ในสารประกอบอนินทรีย์บางชนิดที่มีโมเลกุลไม่ยุ่งยาก ได้มีการรวบรวมข้อมูลไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การดูดกลืนแถบอินฟราเรด เฉพาะของอ็อกซิเจนในทางอินทรีย์

กรุป	จำนวนคลื่นต่อเซนติเมตร/cm ⁻¹	ความยาวคลื่น/μm	ความเข้ม
BF;	Ca 1060	Ca 9.43	vs
CO ₃ ²⁻	1450-1410	6.90- 7.09	vs
	880-800	11.36-12.50	S
C N และ CNO ⁻	2200-2000	4.55- 5.00	m
C-N ใน SCN (a)	2086-2120	4.72- 4.79	S
C-S ใน SCN (a)	696-706	14.16-14.37	W
C-N ใน NCS (a)	2040-2123	4.71- 4.90	S
C-S ใน NCS (a)	844-863	11.59-11.85	W
NH ₄ ⁺	3335-3030	3.00- 3.30	vs
NO,	1400-1 300	7.14- 7.69	S
	1250-1230	8.00- 8.13	W
	840-800	11.90-12.50	W
NO,	1410-1340	7.09- 7.46	vs
	860-800	11.63-12.50	m
NO;	1410-1370	7.01- 7.30	S
NO ⁺	2370-2230	4.22- 4.88	S
NO ⁺ (a)	1940-1630	5.16- 6.14	S
NO ⁻ (a)	1170-1045	8.55- 9.57	S
NO (ไนโตรซิลเฮไลต์)	1850-1790	5.41- 5.59	S
SO ₄ ²⁻	1130-1080	8.85- 9.26	vs
	680-610	14.71-16.46	vs
HSO;	1180-1160	8.84- 9.26	vs
	1680-1000	9.26-10.00	S
	880-840	11.36-11.90	S

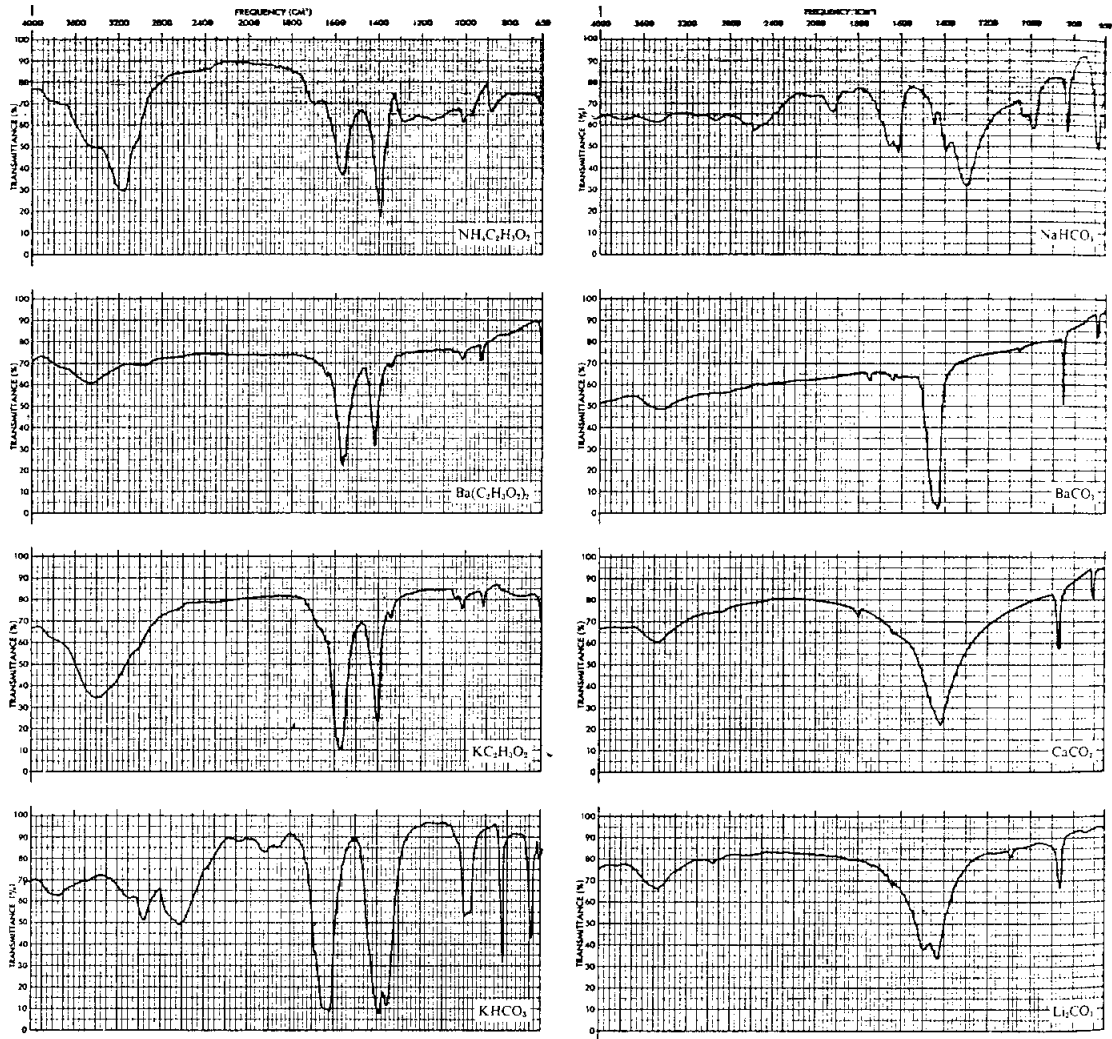
สารประกอบพวกซิลิคอน

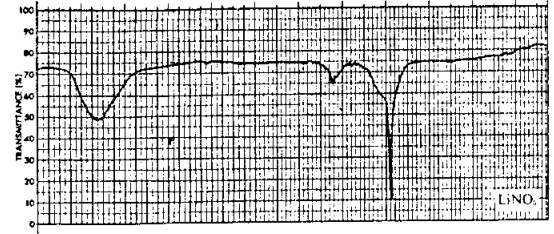
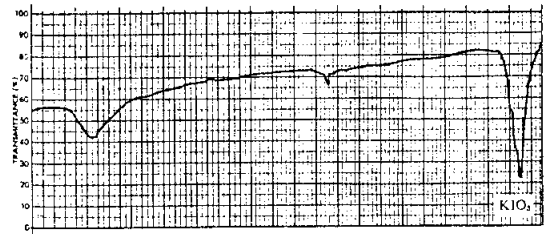
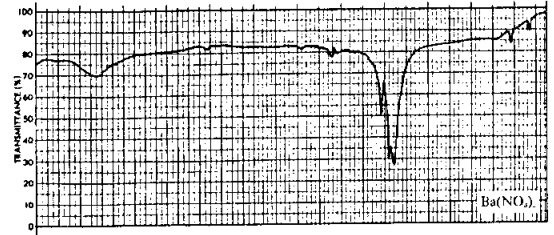
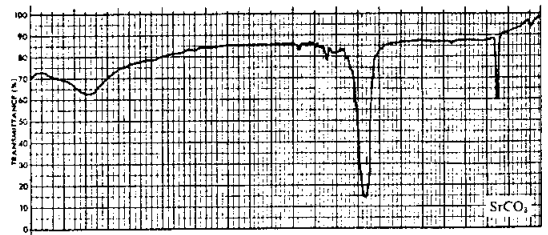
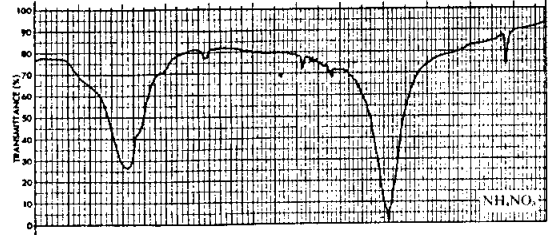
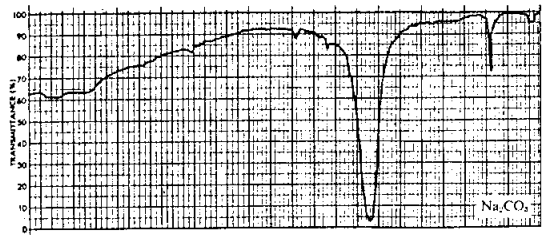
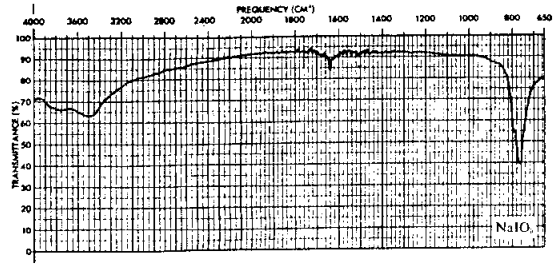
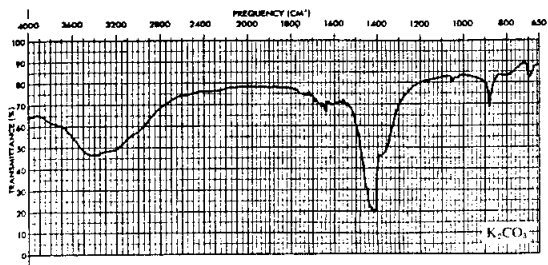
กรุป	จำนวนคลื่นต่อเซนติเมตร/cm ⁻¹	ความยาวคลื่น/μm	ความเข้ม
Si(CH ₃) ₃	1250	8.00	vs
	840	11.90	vs
	750	13.25	vs
Si(CH ₃) ₂	1259	7.94	vs
	814-800	12.97-12.50	vs
SiCH ₃	1259	7.94	vs
	800	12.50	vs
Si-Ph	1430-1425	6.99- 7.02	vs
	1135-1090	8.81- 9.17	vs
Si-O-Si	ในวงกลมที่มี 3 อะตอม	1020-1010	9.80- 9.90
	ในวงกลมที่มี 4 อะตอม	1090-1080	9.17- 9.26
	ในวงกลมที่มีอะตอมมาก	1080-1050	9.26- 9.52
Si-O-Si	1090-1020	9.17- 9.80	vs
Si-O-c	2300-2100	4.35- 4.76	vs
B-N	1380-1330	7.25- 7.52	s

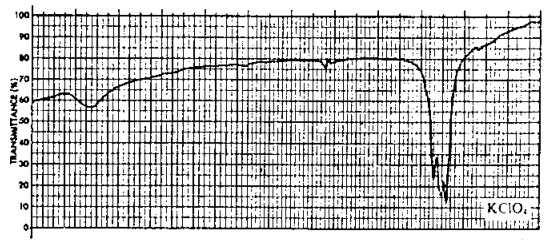
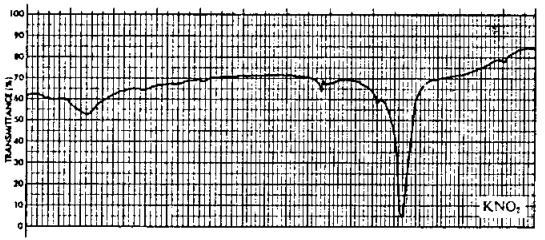
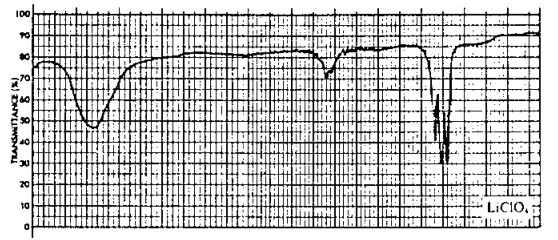
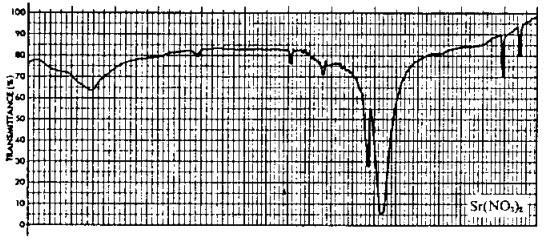
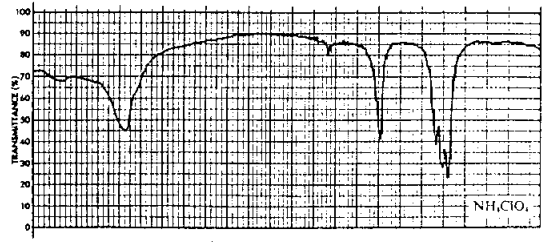
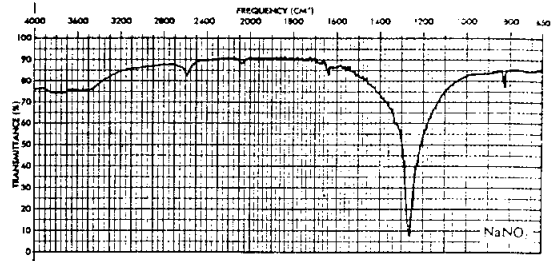
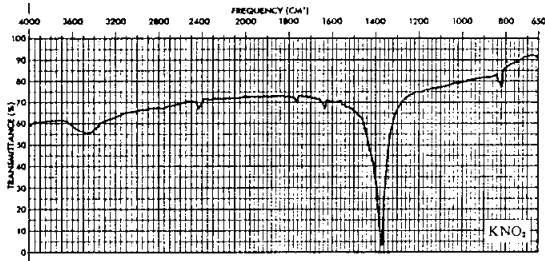
- vs = พีคที่มีความเข้มสูงมาก ๆ
s = พีคที่มีความเข้มสูง
m = พีคที่มีความเข้มปานกลาง
W = พีคที่มีความเข้มต่ำ
a = สารประกอบโคออดิเนชัน

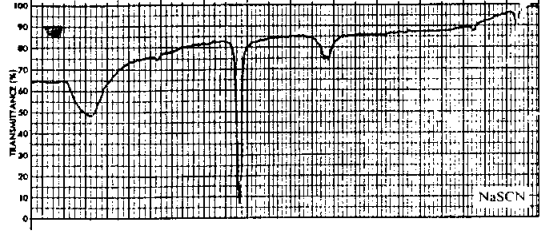
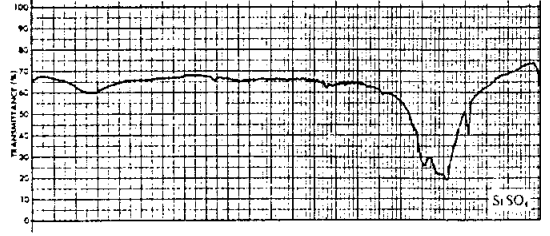
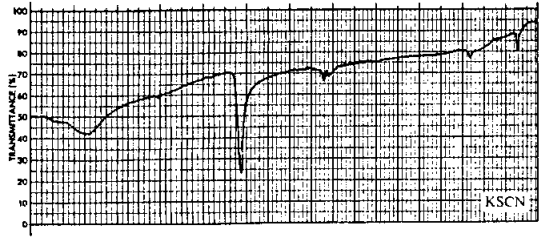
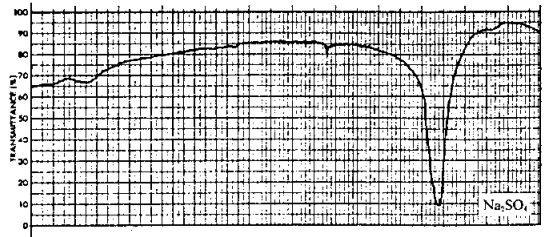
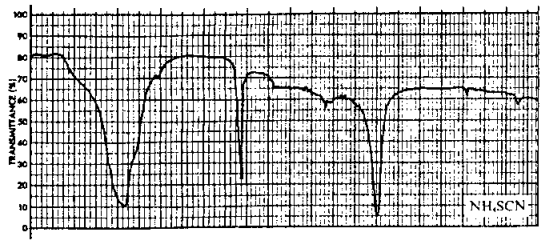
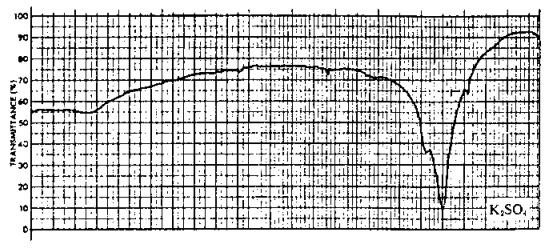
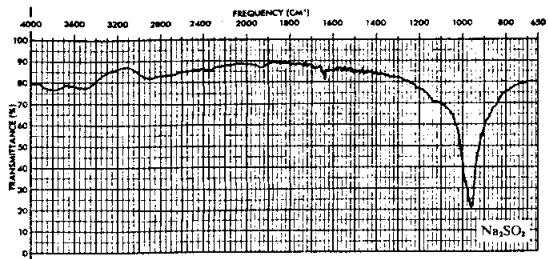
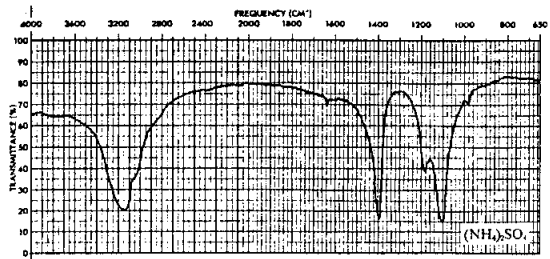
ดูตัวอย่างของอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ ในรูปต่อไปนี้

รูปที่ 5.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ



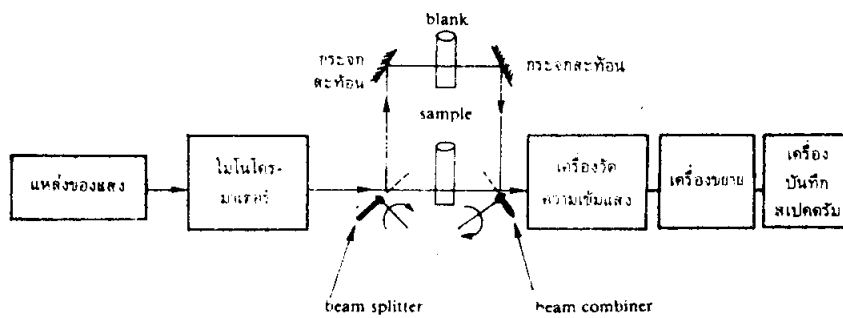






2.1 ส่วนประกอบของอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เครื่องอินฟราเรดโดยทั่วไปนิยมใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแท่งวัตถุทึบไฟ เรียกว่า โกลบาร์ (globar) และเนินซ์ โกลเออร์ (Nerst glower) จากแหล่งของแสงเข้าไปยังเครื่องแยกแสง เพื่อแยกคลื่นที่ต่อเนื่อง (Continuous light) ออกเป็นคลื่นเดี่ยว (monochromatic light) อาจใช้เกรตติง หรือปริซึมซึ่งส่วนใหญ่ทำด้วยโลหะอัลคาไลเฮไลต์ เครื่องอินฟราเรดแบบลำแสงคู่ (double beam) จากรูปที่ 5.4 จะมีลำแสงแยกออกเป็น 2 ทาง คือไปยังตัวอย่างและไปยังตัวอ้างอิง จากนั้นก็ผ่านไปยังเครื่องวัดความเข้มแสง (radiation detector) ทำหน้าที่เปรียบเทียบระหว่างลำแสงที่ผ่านตัวอย่าง และตัวอ้างอิง ค่าที่วัดออกมาจะเป็นการดูดกลืนของตัวอย่าง และมีเครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) ต่อไปยังเครื่องบันทึกโดยการพลอตระหว่างค่าการดูดกลืนกับจำนวนคลื่นต่อเซนติเมตร ในช่วง 4000–250 คลื่นต่อเซนติเมตร



รูปที่ 5.4 ไดอะแกรมของอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่

2.2 เทคนิคการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวัดสเปกตรัม

ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ในอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีอาจเป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ก็ได้ ถ้าตัวอย่างเป็นก๊าซ เซลล์ที่ใช้บรรจุก๊าซสำหรับวัดการดูดกลืนคลื่นแสงช่วงอินฟราเรดจะมีลักษณะดังรูป 5.5 ก. ลักษณะเป็นหลอดแก้วกลวงคล้ายท่อ และมีหน้าต่างทำด้วยโซเดียมคลอไรด์ หรือโปแตสเซียมโบรไมด์ หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ก่อนที่จะนำก๊าซตัวอย่างไปบรรจุในเซลล์ ต้องดูอากาศเสียก่อนแล้วจึงนำก๊าซที่จะวัดใส่เข้าไปในเซลล์ ถ้าตัวอย่างเป็นของเหลว อาจศึกษาโดยทำในลักษณะที่เป็นฟิล์มบาง ๆ ระหว่างแผ่นโซเดียมคลอไรด์ หรือโปแตสเซียมโบรไมด์ หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ จากรูป 5.5 ข. หรืออาจทำเป็นสารละลายในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) หรือคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) ซึ่งหลักในการเลือกตัวทำละลายเป็นสิ่งที่สำคัญมาก จะต้องเลือกตัวทำละลายที่ไม่มีแถบดูดกลืนในบริเวณเดียวกันกับสาร

ที่ต้องการศึกษา แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ตัวทำละลายจะมีแถบดูดกลืนในช่วงเดียวกับสารที่ต้องการ แล้วอาจทำให้แถบดูดกลืนของตัวทำละลายในช่วงที่ศึกษานี้หมดไป โดยการใช้เครื่องมือลดปริมาณลำแสงที่ปรับความเข้มกับลำแสงอ้างอิงให้ลดปริมาณลง เพื่อให้พอดีกับลำแสงที่ออกจากตัวอย่าง

2.2.1 การเตรียมตัวอย่างของสารที่เป็นของเหลว ทำได้ดังต่อไปนี้

- 1) ล้างเซลล์สำหรับใส่สารตัวอย่าง และเซลล์ที่ใช้อ้างอิงให้สะอาดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์แล้วเทออกหลาย ๆ ครั้ง
- 2) เติมตัวทำละลายในแต่ละเซลล์ให้เต็ม แล้วใช้หลอดบีบให้ตัวทำละลายออกอีกทางหนึ่ง ดูรูป 5.5 ค พยายามอย่าให้มีฟองอากาศภายในเซลล์ แล้วเติมตัวทำละลายให้เต็ม
- 3) วางเซลล์สำหรับใส่สารตัวอย่างในลำแสงตัวอย่าง และเซลล์ปรับความเข้มแสงในลำแสงอ้างอิงและบันทึกสเปกตรัม ในช่วงความยาวคลื่นที่ศึกษา ถ้าไม่มีแถบดูดกลืนของตัวทำละลายก็ค่อย ๆ ปรับความเข้มแสงจนสมดุลพอดี
- 4) เอาเซลล์ใส่ตัวทำละลายนั้นมาใส่สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 5% แทน แล้วบันทึกสเปกตรัม
- 5) เมื่อเอาสารละลายออกหมดแล้ว ล้างเซลล์ให้สะอาดด้วยตัวทำละลายนั้นหลาย ๆ ครั้ง อบให้แห้ง แล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ที่มีการดูดความชื้น อย่าให้หน้าต่างเซลล์สัมผัสกับน้ำเป็นอันขาด เพราะสารที่ใช้ทำหน้าต่างเซลล์ละลายได้ดีในน้ำ

2.2.2 ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง อาจทำเป็นสารละลายหรือกระจายตัวอย่างในฟิล์มน้ำมัน (oil film) หรือทำให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกับอัลคาไลเฮไลต์ แล้วอัดเป็นแผ่นบาง การทำเป็นของเหลวก็นำสารไปละลายในตัวทำละลายแล้วทำแบบวิธีข้างต้น

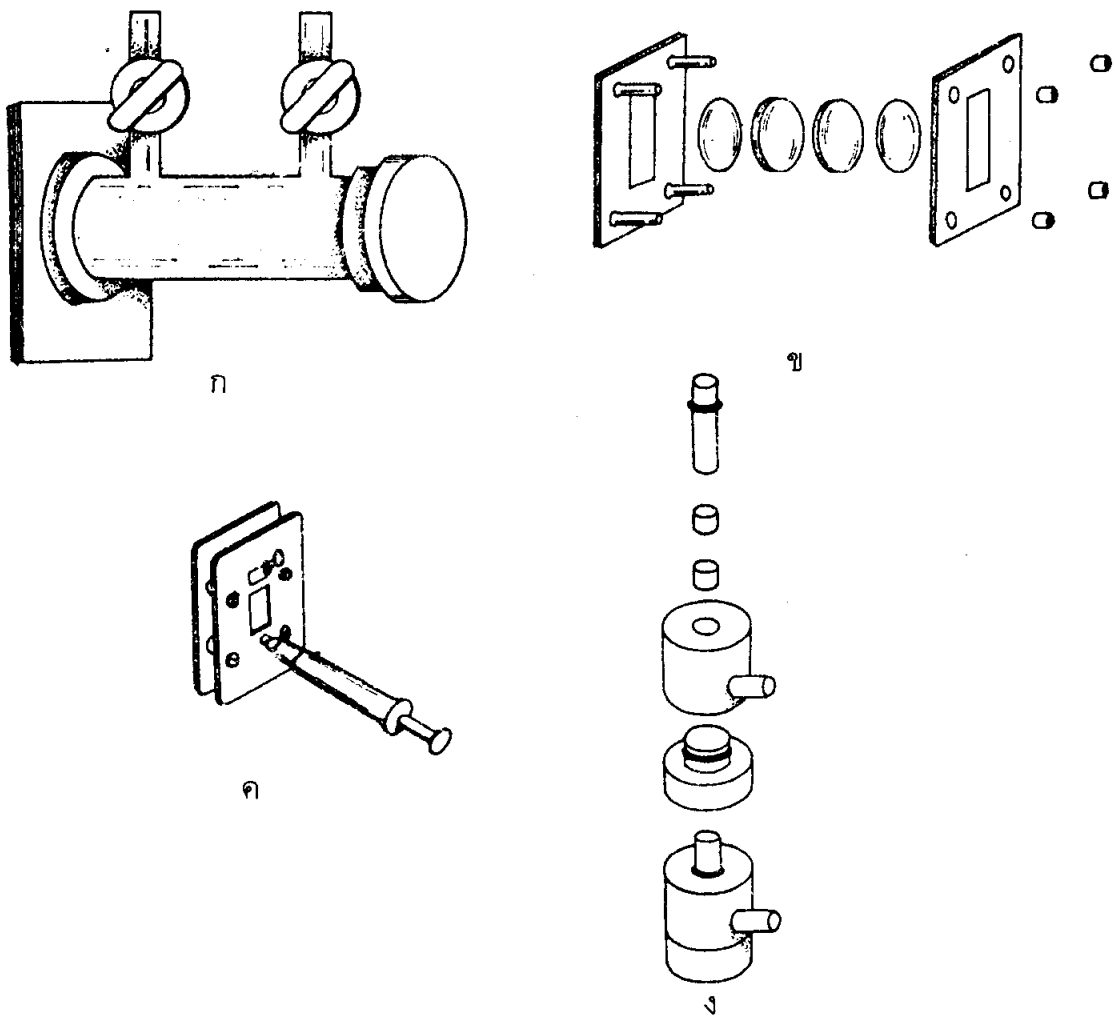
การทำเป็นมัล คือ การทำตัวอย่างให้กระจายอยู่ในน้ำมัน โดยการทำให้สารกระจายในพาราฟินเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือเฮกซะคลอโรบิวทะไดอิน โดยการบดของแข็งอย่างละเอียด เพื่อลดการกระจัดกระจาย (scattering) และสารที่ทำเป็นมัลจะต้องมีดัชนีหักเหใกล้เคียงกับตัวอย่าง โดยการเตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

- 1) ใช้ตัวอย่างประมาณ 5 มิลลิกรัม ใส่ลงในครกเอเกจ (agate mortar) บดจนละเอียดแล้วเติมสารที่ใช้ทำเป็นมัลลงไปเล็กน้อย บดจนเป็นเนื้อเดียวกัน
- 2) ถ่ายเทมัลลงในแผ่นโซเดียมคลอไรด์เซลล์ และเอาอีกแผ่นประกบแล้วค่อย ๆ หมุนแผ่นโซเดียมทั้งสองจนมัลนั้นมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ และไม่มีฟองอากาศคล้ายกับฟิล์มของของเหลวที่หนืด
- 3) นำไปใส่ในที่ใส่เซลล์แล้ววางในลำแสงตัวอย่าง บันทึกสเปกตรัม

4) เมื่อเสร็จแล้วให้ล้างแผ่นโซเดียมคลอไรด์อย่างระมัดระวังด้วยคาร์บอน-เตตระคลอไรด์หรือคลอโรฟอร์ม

การกระจายในอัลคาไลเฮไลต์ คือ การทำให้ตัวอย่างกระจายในแผ่นอัลคาไลเฮไลต์ ซึ่งทำได้ดังนี้

- 1) ใช้อัลคาไลเฮไลต์ที่แห้ง โดยปกติมักใช้โปแตสเซียมโบรไมด์ (เพราะ KBr ไม่ดูดกลืนคลื่นแสง)
- 2) ถ่ายของผสมนั้นลงในแผ่นสำหรับอัดอย่างรวดเร็ว แล้วอัดแผ่นของผสมนั้น โดยใช้ความดัน 10000–15000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ดูรูป 5.5 ง.)
- 3) เอาแผ่นที่อัดแล้วมาวางบนเซลล์ แล้วนำไปวัดสเปกตรัม



รูปที่ 5.5 เซลล์แบบต่างๆ ที่ใช้บรรจุสารตัวอย่าง ก. สำหรับคือช ข. และ ค. สำหรับของเหลว ง. การทำแผ่นอัดสารในอัลคาไลเฮไลต์

3. การทดลอง

วัดสเปกตรัมของสารในสถานะต่าง ๆ กันของสารต่อไปนี้

- 1) วัดสเปกตรัมของเมทิลไซยาไนด์ (CH_3CN) ในสถานะก๊าซ โดยวัดจาก 3500–6500 คลื่นต่อเซนติเมตร จงพยายามหาแถบดูดกลืนที่เป็นแถบหลักของการสั่นท่อน
- 2) วัดสเปกตรัมของเมทานอล (CH_3OH) โดยทำเป็นฟิล์ม และเจือจางในสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยวัดจาก 3800–2800 คลื่นต่อเซนติเมตร แล้วเปรียบเทียบสเปกตรัมทั้งสองนั้น
- 3) วัดสเปกตรัมของแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) โดยทำเป็นมัลในฟาราฟินเหลว เปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่วัดได้โดยใช้ตัวอย่างอัดเป็นแผ่นกับโปแตสเซียมโบรไมด์ (KBr disc)
- 4) วัดสเปกตรัมของแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และแบเรียมไนเตรต [$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$] โดยทำเป็นมัล จงหาแถบดูดกลืนหลักของอิออนเหล่านี้
- 5) วัดสเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โดยทำเป็นมัลและดูเอกลักษณ์
- 6) วัดสเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนคาร์บอนาโตเตตระแอมมีนโคบอลต์ \cdot (III) ไนเตรต และคลอโรเพนตะแอมมีนโคบอลต์ (III) คลอไรด์ (ที่เตรียมได้จากบท 6)
- 7) วัดสเปกตรัมของสารประกอบไดออกซาลโตเฟอเรต (III) (ที่ได้จากบท 4)

คำถามท้ายบท

- 1) ในการวัดสเปกตรา บางครั้งก็จะได้ไม่ได้แถบการดูดกลืนที่มีความถี่ตรงกับที่กำหนดไว้ในตาราง แต่อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่า เพราะอะไร
- 2) จากการทดลองแถบดูดกลืนของ SO_4^{2-} , NO_3^- และ CO_3^{2-} มีกี่แถบ และตรงกับที่ทำนายจากแบบปกติของการสั่นสะเทือนของสารหรือไม่
- 3) จงเขียนโครงสร้างของบอเรต จากสเปกตรัมที่ท่านได้ทำการทดลอง
- 4) จากสเปกตราของสารประกอบเชิงซ้อน คาร์บอนาโตเตตระแอมมีนโคบอลท์ (III) ไนเตรตและคลอโรเพนตะแอมมีนโคบอลท์ (III) คลอไรด์ สามารถบอกได้หรือไม่ว่า ไนโตรเจนมีการโคออดิเนตแบบไหน
- 5) จงเขียนโครงสร้างของโปแตสเซียมไดออกซาลेटเฟอเรต (III) จากสเปกตรัมที่ได้