

ภาคผนวก  
ภาคผนวก ก  
อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี  
(Infrared Spectroscopy)

อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสาร ทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลวและแก๊ส โดยให้ข้อมูลในลักษณะที่เกี่ยวกับการสั่นและการหมุนของโมเลกุลเมื่อมีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสาร กล่าวคือเมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนแสงในช่วงของอินฟราเรด (IR) โมเลกุลจะถูกกระตุ้นเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าสภาวะพื้น โดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 2 – 10 กิโลแคลอรีต่อโมล ซึ่งเป็นพลังงานที่เพียงพอจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นหรือเกิดการหมุนเท่านั้น ทำให้เกิดอินฟราเรดสเปกตรัมของสารและสามารถนำไปวิเคราะห์โครงสร้างของสารได้ การบอกตำแหน่งพีกของอินฟราเรดสเปกตรา นิยมบอกเป็นจำนวนคลื่น (wavenumber,  $\tilde{\nu}$ ) หรืออาจบอกเป็นความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) โดยความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคลื่นกับความยาวคลื่นเป็นดังนี้

$$\tilde{\nu} = 1 / \lambda \text{ (cm)} \quad \text{cm}^{-1}$$

การวิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี มักบอกในรูปของกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ ที่ปรากฏออกมาที่ wavenumber ต่างกัน ตารางที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumber กับกลุ่มฟังก์ชันที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ปานกลางและดีมาก

ตาราง 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumber กับกลุ่มฟังก์ชันที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ปานกลางและดีมาก

Wavenumber range, $\text{cm}^{-1}$	กลุ่มฟังก์ชัน
3700 – 3600	OH ( $\text{H}_2\text{O}$ , ROH, PhOH) (dilute solution)
3530 – 3400	$\text{NH}_2$ (2 bands), NH (1 band) (dilute solution)
3500 – 3250	OH (polymers) (solids and liquids)
3500 – 3060	NH (amines, amides)
3320 – 3250	- $\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ (sharp)
3300 – 2400	COOH (broad)

3110 – 3000	C – H (C = C – H, Ph – H, CH <sub>3</sub> X, CH <sub>2</sub> X)
3000 – 2800	C – H (– CH <sub>2</sub> –, – CH <sub>3</sub> )
2835 – 2815	OCH <sub>3</sub>
2750 – 2700	CHO
2260 – 2100	– C $\equiv$ C –
2190 – 2130	CNS, C $\equiv$ N
2000 – 1650	C – H (phenyl)
1980 – 1950	– C = C = C –
1950 – 1600	C = O
1715 – 1630	RCONH <sub>2</sub> , RCONHR
1710 – 1530	– COO – (broad)
1680 – 1630	C = C (nonconjugated, noncyclic), C = N
1680 – 1560	C = C (cyclic or conjugated)
1650 – 1590	RONO, RONO <sub>2</sub>
1650 – 1475	RCONH <sub>2</sub> , RCONHR
1615 – 1590	Phenyl
1615 – 1565	Pyridines (doublet)
1610 – 1560	COO <sup>–</sup> M <sup>+</sup> †
1550 – 1490	PhNO <sub>2</sub>
1515 – 1485	Phenyl
1475 – 1450	CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub>
1440 – 1400	COOH
1430 – 1400	CO – CH <sub>2</sub>
1420 – 1400	CO – NH <sub>2</sub>
1400 – 1360	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C (two bands)
1400 – 1310	COO <sup>–</sup> M <sup>+</sup> (broad) †
1380 – 1370	CH <sub>3</sub>
1380 – 1360	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (two bands)
1370 – 1300	C – NO <sub>2</sub>
1330 – 1310	Ph – CH <sub>3</sub>

1300 – 1000	CF
1280 – 1250	SiCH <sub>3</sub>
1280 – 1180	C – N – (aromatic)
1280 – 1150	- C – O – C -
1255 – 1240	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C –
1275 – 1070	- C – O – C -
1230 – 1100	- C – N -
1160 – 1100	C = S
1200 – 1000	COH
1120 – 1030	C – NH <sub>2</sub>
1095 – 1015	Si – O – Si , Si – O – C
1000 – 970	CH = CH <sub>2</sub>
980 – 690	C = C – H
870 – 670	Aromatic ring
860 – 760	R – NH <sub>2</sub> (broad)
835 – 800	CH = C (out – of – plane)
760 – 510	CCl
730 – 675	CH = CH (cis isomers)
700 – 550	CBr
† มุมพันธะ	

## ภาคผนวก ข

### ค่า ซี โอ ดี

#### (COD, Chemical Oxygen Demand)

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสียจากปริมาณของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำนั้น ๆ ด้วยการหาปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำ ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักการว่า สารอินทรีย์สามารถถูกออกซิไดส์ได้โดยตัวเดิมออกซิเจน ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

สารเคมีที่ใช้เป็นตัวเดิมออกซิเจนในการหาค่าซีโอดีมีหลายตัว เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) โพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) เป็นต้น ในการทดลองนี้เลือกใช้โพแทสเซียมไดโครเมต เพราะมีราคาถูก และสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้ดี ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดส์หรือย่อยสลายสารอินทรีย์ทางเคมี คือความต้องการออกซิเจนของน้ำเสียที่หาได้โดยวิธีทางเคมี ดังนั้น ค่าซีโอดีจึงแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งหมดที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ และที่แบคทีเรียย่อยสลายไม่ได้ โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ โดยใช้สารที่มีความสามารถในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรด ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น จึงต้องทำการต้มภายใต้การรีฟลักซ์ (reflux)

#### ขั้นตอนการวิเคราะห์

##### 1. สารเคมี

1.1 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.25 M : เตรียมโดยชั่ง  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  98 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เดิม conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น จนปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

1.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0417 M : ชั่ง  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) 12.259 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

1.3 สารละลายกรดกำมะถัน : ผสม  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  และ conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ด้วยสัดส่วน 5.5 กรัม ของ  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ต่อ 1 กิโลกรัมของ conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ตั้งทิ้งไว้ 2 – 3 วันก่อนนำมาใช้

1.4 ผง  $\text{HgSO}_4$

1.5 Ferroin indicator solution : เตรียมโดยชั่ง 1,10-phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม และ  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  695 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร

## 2. ขั้นตอนการทดลอง

### 2.1 หาค่าซีโอดี

2.1.1 นำตัวอย่างน้ำสี 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดสำหรับหาค่า COD ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยหากตัวอย่างน้ำสีมีความเข้มข้น COD สูง จะต้องทำการเจือจางตัวอย่างน้ำสีก่อน

2.1.2 เติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.4 กรัม และ glass beads 2 – 3 เม็ด

2.1.3 เติมสารละลายกรดกำมะถัน ( มี  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ผสมอยู่ก่อนแล้ว ) 5 มิลลิลิตร อย่างช้า ๆ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2.1.4 เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0417 M 10 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต

2.1.5 เติมสารละลายกรดกำมะถัน 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.1.6 นำขวด COD ต่อกับ Condenser เปิดน้ำหล่อเย็น

2.1.7 เปิดเตาให้ความร้อน ทำการ reflux 2 ชั่วโมง ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เย็น ผสมน้ำกลั่นจนปริมาตรรวมเป็น 140 มิลลิลิตร

2.1.8 ไทเทรตไดโครเมตที่มากเกินไปด้วย FAS 0.25 M โดยใช้ 2 – 3 หยด ferroin indicator solution จุดยุติคือ จุดที่สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

### 2.2 หาคความเข้มข้นของ FAS

2.2.1 ใช้ปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0417 M 10 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.2.2 เติม conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  30 มิลลิลิตร ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เย็น

2.2.3 ไทเทรตด้วย FAS 0.25 M โดยใช้ ferroin indicator solution 2 – 3 หยด จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือจุดที่สีของสารละลายเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียว เป็นสีน้ำตาลแดง

### 3. การคำนวณ

$$\text{Molarity ของ FAS} = [ \text{ปริมาณ } K_2Cr_2O_7 \text{ (mL)} \times 0.25 ] / \text{ปริมาณ FAS ที่ใช้ (mL)}$$

$$\text{COD (mg/L)} = [ (A - B) \times M \times 8,000 ] / \text{ปริมาณตัวอย่าง (mL)}$$

- โดยที่ A = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับ Blank (มิลลิลิตร)  
B = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)  
M = Molarity ของ FAS

## ภาคผนวก ก

### สีสำหรับย้อมผ้า

#### (Dyes)

สีของน้ำแม่เป็น 2 ชนิด คือ สีแท้ หรือสีจริง (true color) หมายถึง สีที่ละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ สีแท้เกิดจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ประเภทกรดสีวมืด ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายซากพืชต่าง ๆ สารอินทรีย์ประเภทนี้ เป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จนไม่สลายตัวอีกแล้ว ส่วนสีอีกชนิด คือ สีปรากฏ (apparent color) หมายถึงสีที่สามารถกำจัดออกได้ โดยวิธีการกายภาพ เช่น การกรอง เป็นต้น

สำหรับสีของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสี จะมีอนุภาคสีย้อมละลายอยู่ อนุภาคเหล่านี้จะแขวนลอยในรูปของคอลลอยด์ ซึ่งไม่สามารถกำจัดโดยวิธีการตกตะกอนทางธรรมชาติได้ ดังนั้น การเกิดสีในน้ำทิ้งที่เกิดจากคอลลอยด์เหล่านี้ จะทำให้เกิดสีแท้ในน้ำขึ้น

สีในน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการย้อมมีหลายประเภท ขึ้นกับลักษณะการใช้งานของแต่ละโรงงาน โดยสีย้อมที่นิยมใช้จำแนกได้ ดังนี้

1. สีคัสเพิส (disperse dyes) เป็นสีที่ใช้ในการย้อมเส้นใยอะซิเตท หรือเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซับน้ำได้น้อย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่เป็นละอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารช่วยกระจาย (dispersing agent) ที่เหมาะสม จะทำให้สามารถใช้ย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีชนิดอื่นช่วย

2. สีแอซิด (acid dyes) ตัวสีย้อมเกิดจากสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง อาจนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เส้นใยบริสุทธิ์ เช่น ปอ ป่าน และเส้นใยโพลีเอไมด์ เป็นต้น

3. สีอะโซอิก (azoic dyes) นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ ดังนั้น การที่สีจะจับบนเส้นใยได้ จะต้องทำการย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วจึงนำไปย้อมทับอีกครั้งด้วยเกลือไดอะโซเนียม (diazonium salt) เกลื่อนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล เกิดเป็นสารประกอบอะโซ ที่ให้สีบนเส้นใย

4. สีเบสิก (basic dyes) นิยมใช้ย้อมขนสัตว์ และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด สีชนิดนี้ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตัวสีย้อมเป็นสารอินทรีย์ประเภทโครโมฟอร์ (chromophore) ซึ่งให้แคทไอออน ดังนั้นอาจเรียกสีชนิดนี้ว่า สีแคทไอออน ซึ่งสามารถย้อมติดเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุลสีย้อมจะจับกับประจุลบของเส้นใย

5. สีไคเร็กซ์ (direct dyes) สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากสีย้อมชนิดนี้เป็นสีย้อมชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใยฝ้ายได้โดยไม่ต้องเติมสารช่วยย้อม บางครั้งจึงเรียกว่า สีย้อมฝ้าย ในปัจจุบันการย้อมด้วยสีไคเร็กซ์จะมีการใช้เกลือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้สูงขึ้น

6. สีแว๊ท (vat dyes) นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส โดยเฉพาะใยฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ จึงต้องใช้ตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสมมาทำให้ละลาย สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮโครซัลไฟด์ เมื่อสีย้อมถูกรีดิวซ์ จะให้สารประกอบลิวโค (leuco compound) ซึ่งมีสีครม และมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเข้าไปติดกับเส้นใยได้ เมื่อเส้นใยสัมผัสอากาศ สารประกอบลิวโคจะถูกออกซิไดส์กลับเป็นสีแว๊ทที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดิม ทำให้สามารถติดเส้นใยได้อย่างดีและคงทน

7. สีรีแอ็กทีฟ (reactive dyes) เป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ดีที่สุด ละลายได้ในน้ำ มีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH- ในเซลลูโลส กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ โดยมีสมบัติการละลายและดูดติดกับเส้นใย ทำให้สีสามารถเข้าไปแทรกติดอยู่กับเส้นใยได้