

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

การประยุกต์ใช้เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดแผ่นฟิล์ม ผู้ใช้จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบ วิธีการใช้งานที่ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม (อุณหภูมิ ความชื้น และสถานะแสง) ช่วงปริมาณรังสี (Dose range) ช่วงอัตราการได้รับปริมาณรังสี (Dose rate) และชนิดของรังสีที่เหมาะสม รวมทั้ง สภาวะสมดุลอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic equilibrium) ซึ่งฟิล์มแต่ละชนิดที่ใช้ในงานประจำ (Routine) ทั่วไป ถูกกำหนดด้วยปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมจากผู้ผลิต เพื่อความถูกต้อง แม่นยำ และความน่าเชื่อถือของแผ่นฟิล์มที่ผลิตขึ้น

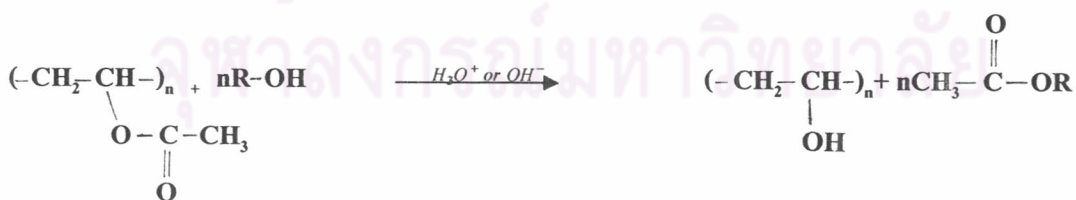
สำหรับในงานวิจัยนี้ทำการผลิตแผ่นฟิล์มจากโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และสีย้อมสกัดจากพืชธรรมชาติ คือ ดอกชบา ดอกกระเจี๊ยบ ไม้ฝาง

#### 2.1 ฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-สีย้อมธรรมชาติสกัดจากพืช

แผ่นฟิล์มที่ผลิตขึ้นมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์และสีย้อมธรรมชาติสกัดจากพืช (ดอกกระเจี๊ยบ, ดอกชบา, ไม้ฝาง)

##### 2.1.1 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol : PVA)

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่ง เตรียมมาจากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของโพลีไวนิลอะซิเตตดังนี้ (ธัญจิรา.,2538)<sup>(4)</sup>



Poly (vinyl acetate)

Poly (vinyl alcohol)

รูปที่ 2.1 แสดงการเตรียมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส

โดยทั่วไป เตรียมโพลีไวนิลอะซิเตดในแอลกอฮอล์แล้วเติมตัวเร่งและให้ความร้อน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์จะตกตะกอนออกจากสารละลาย

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์สามารถละลายน้ำได้ โดยละลายอย่างช้า ๆ ในน้ำเย็น แต่การละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น และสามารถละลายจนหมดที่อุณหภูมิ 90°C

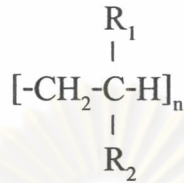
เนื่องจากค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอน (electron density) ค่าเลขอะตอมยังผล (effective atomic number) ค่าส่วนประกอบของไฮโดรเจน (hydrogen-atom content) และ ค่าพลังงานเฉลี่ยที่ทำให้อะตอมแตกตัว (average excitation potential) ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าใกล้เคียงกับตัวกลางหลายชนิดที่ใช้ในทางเคมีรังสี (radiochemistry) และชีวรังสี (radiobiology) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติตัวกลางชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดปริมาณรังสี

ตัวกลาง	ความหนาแน่นอิเล็กตรอนต่อกิโลกรัม $\times 10^{-26}$	ค่าเลขอะตอมยังผล		ส่วนประกอบอะตอมไฮโดรเจนต่อกิโลกรัม $\times 10^{-25}$	ค่าพลังงานเฉลี่ยที่ทำให้อะตอมแตกตัว (อิเล็กตรอนโวลต์)
		Zi	Zp		
Polyvinyl alcohol	3.28	6.53	5.83	5.47	64.0
Polyethylene	3.43	5.46	4.78	8.59	51.4
Polymethylmethacrylate	3.26	6.46	5.83	2.8	65.4
Polystyrene	3.24	5.79	5.28	4.62	60.5
Medium of vegetable origin (grain)	3.20	6.94	6.24	5.71	65.0
Muscle tissue	3.36	7.42	6.00	6.07	66.0
Water	3.36	7.42	6.60	6.68	68.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

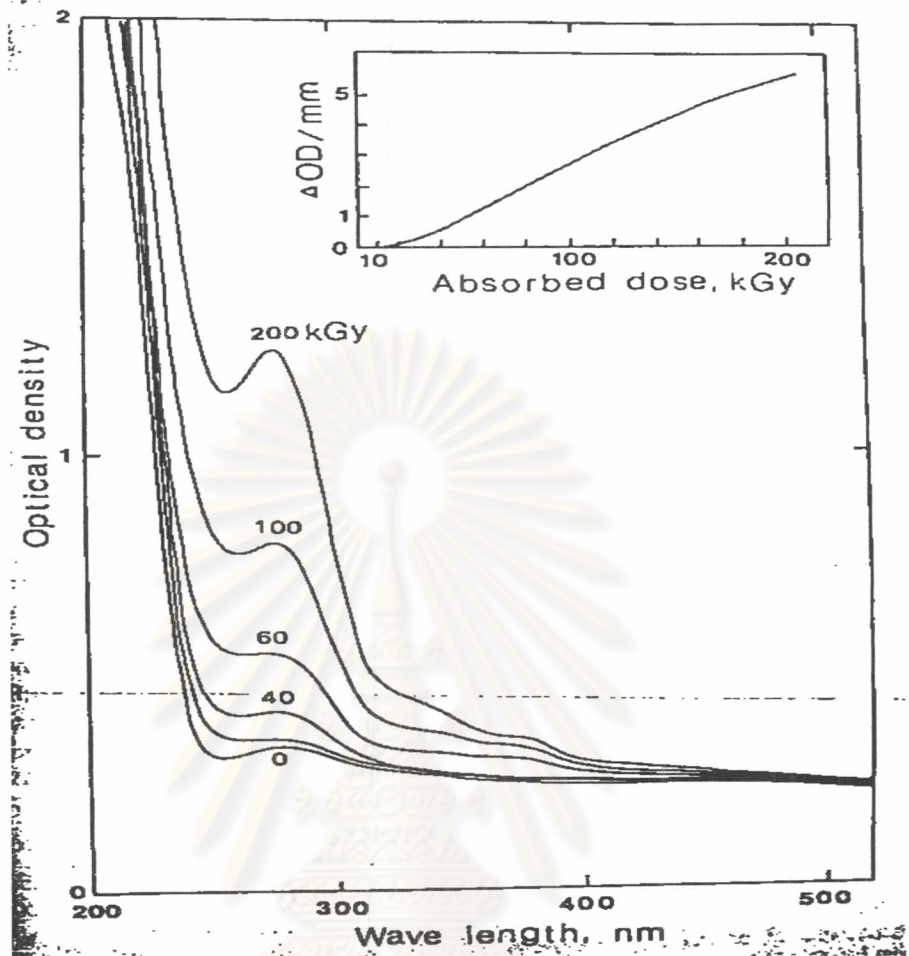
จากการศึกษา(Spinks, J.W.T., and Woods, R.J. 1990)<sup>(5)</sup> พบว่าโพลิเมอร์แต่ละชนิดที่ถูกฉายรังสีมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี แบ่งได้เป็นสองกลุ่มคือ การครอสลิงค์ (Cross-linking) และ การเสื่อมสลาย (Degradation) ของสายโมเลกุลโพลิเมอร์ สำหรับโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อถูกฉายรังสีมีผลทำให้เกิดการครอสลิงค์ (Cross-linking) ของสายโมเลกุลของโพลิเมอร์ ดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างทั่วไปของโพลิเมอร์

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสายโพลิเมอร์แต่ละชนิด เนื่องจากได้รับการฉายรังสีแบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ Cross-linking polymers และ Degrading polymers<sup>(5)</sup>

Polymer	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Radiation Induced Change
Polyethylene	H	H	Cross-linking
Polypropylene	CH <sub>3</sub>	H	Cross-linking
Poly(vinyl chloride)	Cl	H	Cross-linking
Poly(vinyl alcohol)	OH	H	Cross-linking
Polyacrylonitrile	CN	H	Cross-linking
Polyacrylates	CO <sub>2</sub> R	H	Cross-linking
Polystyrene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	H	Cross-linking
Poly(vinylidene chloride)	Cl	Cl	Degradation
Polyisobutylene	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	Degradation
Polymethylstyrene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	CH <sub>3</sub>	Degradation
Poly(methyl methacrylate)	CO <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	Degradation
Polytetrafluoroethylene			Degradation
Natural rubber			Cross-linking
Cellulose and derivatives			Degradation



รูปที่ 2.3 แสดงสเปกตรัมและกราฟการตอบสนองของฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA-film without dye) ต่อปริมาณรังสีแกมมาในช่วง 0–200 kGy<sup>(1)</sup>

จากการศึกษาของ Woon Hyuk Chung<sup>(1)</sup> พบว่าฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปราศจากสีย้อม เมื่อฉายรังสีแกมมาในช่วง 0-200 kGy มีการตอบสนองของสเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสง (Optical density) เพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่ได้รับ โดยเฉพาะที่ค่าความยาวคลื่นแสง 276 นาโนเมตร มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีอย่างชัดเจน สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยความหนา ( $\Delta OD/mm$ ) กับปริมาณรังสีได้เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.3

## 2.1.2 สีย้อม (Dyes)

<sup>(13)</sup> สีย้อมคือสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย aromatic compound เป็นโครงสร้างหลัก เช่น benzene rings, alicyclic, aryl rings ที่มีความสามารถ delocalised electron ตอบสนองต่อรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และประกอบด้วยกลุ่มเคมีอินทรีย์อีก 2 กลุ่ม ที่เรียกว่า Chromophores และ Auxochrome จากการศึกษาพบว่า สีย้อมอินทรีย์แบ่งได้สองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ สีย้อมอินทรีย์จากการสังเคราะห์ (Synthetic organic dyes) และสีย้อมอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic dyes)

### 2.1.1.1 สีย้อมอินทรีย์สังเคราะห์ (Synthetic organic dyes)

สีย้อมอินทรีย์สังเคราะห์ (Synthetic organic dyes) คือ สีย้อมได้มาจากกระบวนการทางเคมี หรือเป็นการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ที่ได้มาจากแหล่งธรรมชาติเช่นน้ำมันดิบ พีช และสัตว์ นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีจนได้สีย้อมที่มีคุณภาพดี ให้สีสดเข้มขึ้น มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม โดยทั่วไปสามารถแบ่งองค์ประกอบทางเคมีของสีย้อมอินทรีย์สังเคราะห์ได้ 2 กลุ่ม คือ

**Chromophore** คือกลุ่มอะตอมที่มีความสามารถ delocalised electrons ปกติ Chromophore ประกอบด้วยอะตอม ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และ ซัลเฟอร์ มีลักษณะโครงสร้างเป็น  $-C=C-$ ,  $-C=N-$ ,  $-C=O-$ ,  $-N=N-$ ,  $-NO_2$  และ Quinoid rings เกาะติดกับ aromatic ring ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดกลืนรังสี เช่น  $-C=C-$  เป็นระบบพันธะคู่ (conjugated systems) มีการอันตรกิริยาระหว่างพันธะคู่ เป็นสาเหตุให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เรียกว่า partially delocalised electron และเกิดปฏิกิริยาไปยังพันธะคู่ข้างเคียง และ aromatic compound อื่น ๆ จนทั่วทั้งโมเลกุล จากปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นเหตุให้สีเข้มขึ้นหรือจางลงได้



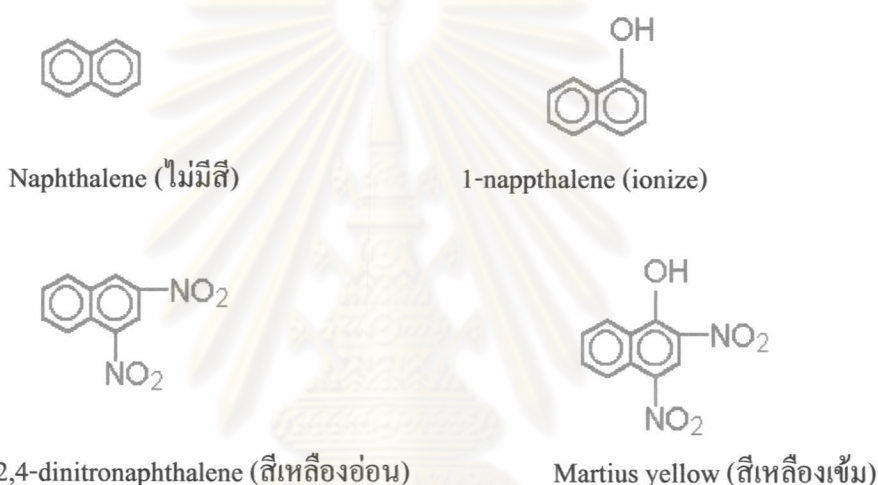
รูปที่ 2.4 แสดงการเกิด delocalised electrons ระหว่างพันธะคู่ในสายคาร์บอน (Conjugated double bonds in a carbon series)



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของ Ortho- and para- quinoid ring chromophores

**Auxochrome** เป็นกลุ่มที่เกาะติดกับ non-ionising compound มีความสามารถในการไอออนไนซ์ (ionize) แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ให้ประจุบวกได้แก่  $-NH_3$  และกลุ่มที่ให้ประจุลบได้แก่  $-COOH$ ,  $-HSO_3$ , และ  $-OH$  หรือกล่าวได้ว่า auxochrome เป็นตัวช่วยเพิ่มความเข้มสี

ตัวอย่าง โมเลกุล naphthalene ที่ถูกเกาะติดด้วยกลุ่ม  $-OH$  (auxochrome groups) ทำให้โมเลกุลเกิดการไอออนไนซ์ และเกาะติดด้วยกลุ่ม  $-NO_2$  (chromophore groups) ทำให้โมเลกุลเกิดสีและเพิ่มความเข้มสี ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ Naphthalene ถูกเกาะติดด้วยกลุ่ม auxochrome และ chromophore

ปัจจุบันสีย้อมอินทรีย์สังเคราะห์ได้รับความนิยมมาก เพราะสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ใช้งานง่าย มีสีสวยและหลากหลาย คงทนต่อสภาวะแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามจากกระบวนการสังเคราะห์ทำให้เกิดสารเคมีที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและ สีย้อมสังเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่สามารถนำมาบริโภคเพราะเป็นสารเคมีมีพิษ และเป็นเหตุให้ก่อเกิดเซลล์มะเร็งได้ (carcinogen)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.1.2.2 สีย้อมอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic dyes)

สีย้อมอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic dyes) เป็นรงควัตถุที่สามารถสกัดได้จากแหล่งธรรมชาติโดยตรงจาก พืช และ สัตว์บางชนิด โดยไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี

มนุษย์ได้ใช้สีย้อมธรรมชาติมาตั้งแต่ ก่อนคริสต์ศักราชประมาณ 1000 ปี ซึ่งสกัดสีย้อมโดยตรงจาก ผล, ดอก, เกสร, เปลือก และรากจากพืช มาใช้ในงานศิลปะ งานฝีมือ และงานสิ่งทอ เป็นต้น โดยเฉพาะในประเทศอินเดียได้ใช้สีย้อมธรรมชาติมานานเป็นประเพณีเก่าแก่ จากข้อจำกัดของสีย้อมธรรมชาติ เช่น ความคงทนของสีที่จืดจางได้ง่ายจากการซักล้างและ โศดแสง จึงทำให้สีย้อมสังเคราะห์ที่มีสีสวยงามและมีความคงทนมากกว่าถูกนำมาใช้แทน อย่างไรก็ตามสีย้อมธรรมชาติก็ยังนิยมใช้กันอยู่เพราะไม่มีพิษกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษา (Agarwal, O.P.,1980)<sup>(18)</sup> พบว่ารงควัตถุและสีย้อมธรรมชาติสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มได้หลายวิธีคือ

แบ่งกลุ่มตามแหล่งที่พบในระดับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้สองชนิดหลักคือ

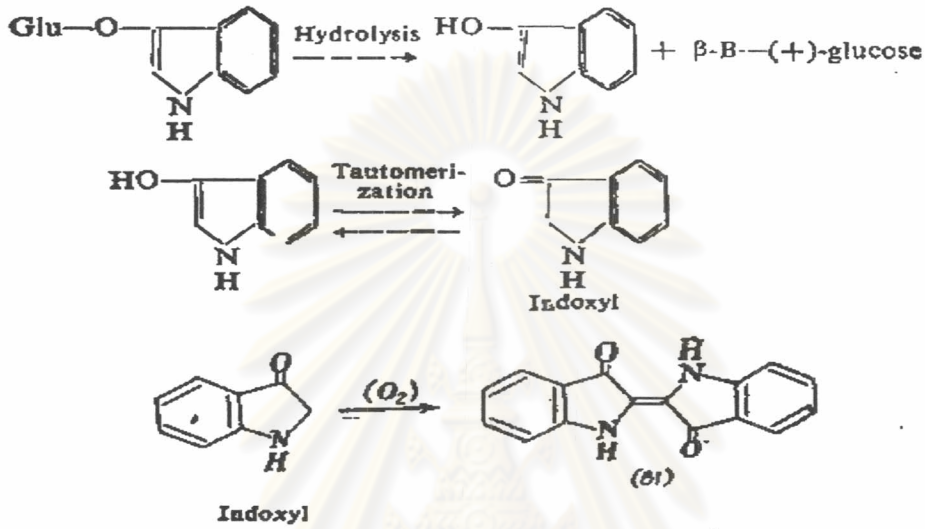
- ก. plastid pigments สามารถพบ pigment ได้ใน plastid ซึ่งเป็นสสารจำเพาะอันหนึ่งของ protoplasm ใน cytoplasm แบ่งเป็นสามชนิด คือ a) Colourless plastid หรือเรียกว่า leucoplasts (ไม่มีสี), b) Green plastids หรือเรียกว่า chlorophyll (สีเขียว) และ c) Chloroplasts เป็นสสารมีสี เช่น carotenoids (ให้สีเหลืองและส้ม)
- ข. sap pigment เป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในของเหลวของสิ่งมีชีวิต สสารสีที่หาได้จาก cell sap เช่น anthocyanins (สีแดงหรือน้ำเงินสว่าง) และ anthoxanthins (สีเหลืองจาง)

แบ่งกลุ่มรงควัตถุตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานดังนี้คือ

- ก. Polyene pigments เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีโครงสร้างสาย hydrocarbons เป็นพันธะคู่ต่อกันอยู่เป็นจำนวนมากเช่น carotenoids
- ข. Pyan หรือ pylylium pigments เป็นกลุ่มรงควัตถุที่ประกอบด้วยหน่วยโครงสร้าง benzpyran เช่น anthocyanins ที่มีโครงสร้าง 2-phenylbenzpyrylium chloride
- ค. Pyrone pigments เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มี  $\gamma$ -pyrone และ benzo- $\gamma$ -pyrone เป็นโครงสร้างพื้นฐาน เช่น flavones (anthoxanthins) และ flavonols
- ง. Pyrole pigments เป็นกลุ่มรงควัตถุที่ประกอบด้วยหน่วยโครงสร้าง pyrole เช่น haemin และ chlorophyll

รงควัตถุสีและสีย้อมธรรมชาติส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มเคมีอินทรีย์ ได้แก่ polymethine, ketone, imine, quinones, anthraquinoids, flavones, flavonols, indigoids และ naphthaquinone โดยแบ่งกลุ่มรงควัตถุสีธรรมชาติที่สำคัญมีดังนี้คือ

ก. Indigoid dyes<sup>(17)</sup>

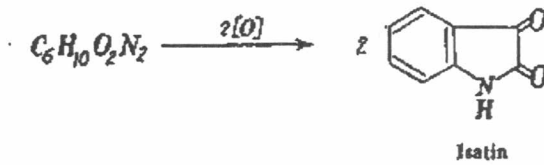


รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างสีย้อม Indigoids

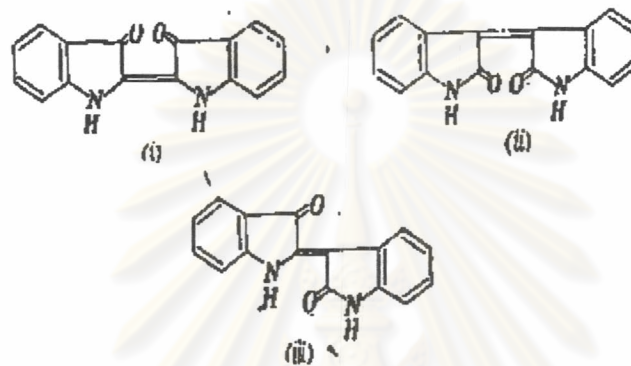
Indigo ที่เรียกกันว่า Indigotin สามารถสกัดได้จากพืชจำพวก Indigofera tinctoria (tyrian purple) และ Isatis tinctoria (blue dyes woad) จากสาร glycoside indican ในพืช ถูก hydrolysed โดย dilute acids แยกได้เป็น glucose และ indoxyl จากนั้น Indoxyl เกิดปฏิกิริยากับอากาศได้ indigotin ดังรูปที่ 2.7

คุณสมบัติทั่วไป มีสีน้ำเงินเข้ม (deep blue colour) ไม่ละลายน้ำ มีสีซีดจางลงเมื่อถูก reduce ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (reduce agent มีหลายชนิดเช่น sodium hydrosulphite, calcium hydrosulphite และ formaldehyde-sulphoxylate) เมื่อสีย้อมเกิดปฏิกิริยา oxidation กับอากาศ ทำให้สีย้อมที่ไม่มีสี เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอีกครั้ง และยังสามารถอธิบายความเข้มของสีได้จากปรากฏการณ์ resonance hybride of structure ดังรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9





รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของ Indigoid dyes

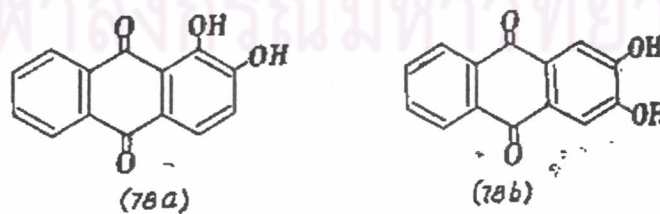


รูปที่ 2.9 แสดงการเกิด resonance hybride of structure ของ Indigoid dyes

#### ข . Anthraquinone dyes<sup>(17)</sup>

สีย้อมอินทรีย์ธรรมชาติที่มีสีแดงส่วนใหญ่ประกอบด้วยโครงสร้าง Antraquinone เป็นพื้นฐาน สามารถสกัดได้จากพืชจำพวก madder และ สัตว์หรือแมลงบางชนิด

จากรูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของ alizarin หรือเรียกว่า dihydroxy anthraquinone โดย alizarin ประกอบด้วยวง benzene สองวง วงหนึ่งไม่มีการแทนที่ ส่วน benzene อีกวงหนึ่งมีการแทนที่ด้วยสองหมู่ hydroxyls ที่วง benzene เดียวกันในตำแหน่ง ortho position มีความเป็นไปได้ทั้งสองโครงสร้างคือ a และ b

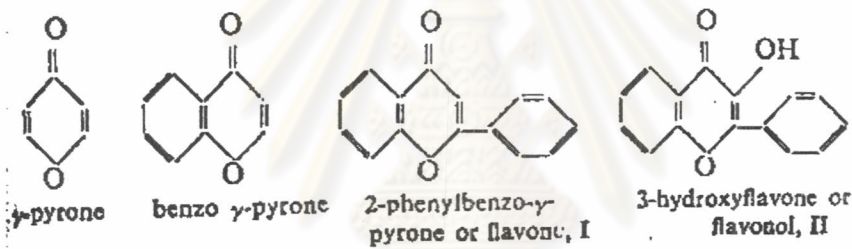


รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของ dihydroxy anthraquinone

คุณสมบัติทั่วไป aizarin มีลักษณะสีเหลืองซีด เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีฤทธิ์ต่างจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง และให้สีแดงใสกับตัวกัดฟอกโลหะ (metallic mordants) โดยความเข้มของสีขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกัดฟอกสี เช่น  $Al^{+3}$  ให้สีแดงเข้ม,  $Sn^{+2}$  ให้สีแดง,  $Sr^{+2}$  ให้สีม่วงแดง,  $Cr^{+3}$  ให้สีม่วงน้ำตาล,  $Fe^{+2}$  ให้สีม่วงดำ และ  $Fe^{+3}$  ให้สีดำน้ำตาล

### ก. Flavones<sup>(18)</sup>

Flavones หรือ เรียกว่า anthoxanthins เป็นสารประกอบอินทรีย์ไม่มีสี เมื่อถูกแทนที่ด้วย hydroxyl และ methoxy group ได้รงควัตถุสีเหลืองที่พบได้ในพืช กล่าวคือ โครงสร้างพื้นฐานของ flavones และ flavnols ประกอบด้วยหน่วย  $\gamma$ -pyrone และ benzo- $\gamma$ -pyrone (chromone) เมื่อ benzo- $\gamma$ -pyrone ถูกแทนที่ด้วย phenyl group ที่ตำแหน่งสอง ได้เป็น 2-phenyl benzo- $\gamma$ -pyrone (flavone) จากนั้นถูกแทนที่ด้วย hydroxyl group ได้เป็น 3-hydroxyflavone หรือ flavonal



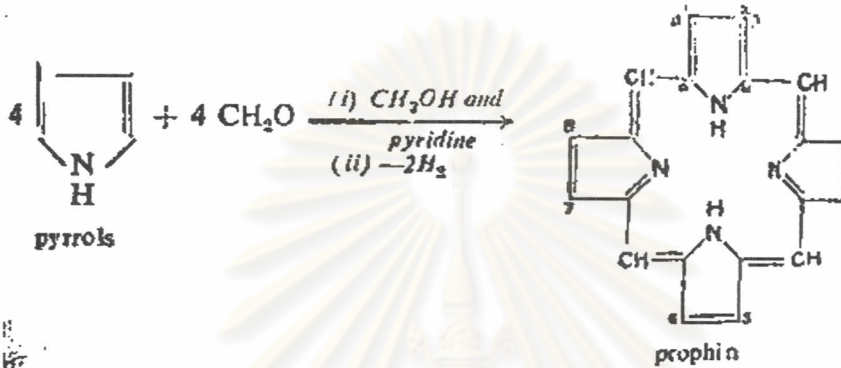
รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของ  $\gamma$ -pyrone, benzo- $\gamma$ -pyrone, flavone, flavonal

คุณสมบัติทั่วไป มีลักษณะเป็นผลึกสามารถละลายในน้ำ, mineral acids, alkalis, alcohol และเกิดตกตะกอนใน means of lead acetate และยังให้สีเขียวเข้มหรือสีน้ำตาลกับสารละลาย ferric chloride โดยให้สีเข้มในสารละลายกรดมากกว่าสารละลายด่าง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ง. Pyrrole pigments<sup>(18)</sup>

Pyrrole pigments ประกอบด้วยกลุ่ม pyrrole 4 กลุ่ม เป็นโครงสร้างหลัก หรือเรียกโครงสร้างนี้ว่า porphyrins ดังรูปที่ 2.12 ส่วนใหญ่รงควัตถุสีนี้ประกอบอยู่ในสสารจำพวก haemin และ chlorophyll



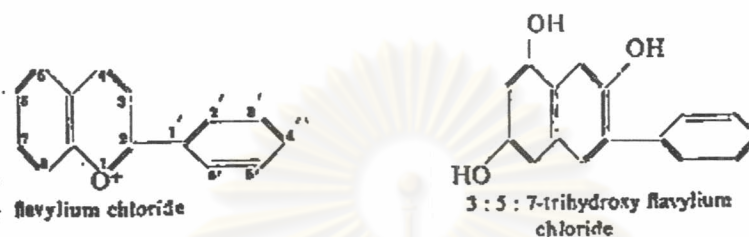
รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของกลุ่ม pyrrole และ porphyrin

porphyrins เกิดจากหน่วย pyrrole 4 กลุ่มเชื่อมต่อกันด้วยกลุ่ม methine (-CH=) และมีการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่ตำแหน่ง  $\beta$  ของกลุ่ม pyrrole จากการแทนที่ของกลุ่มทางเคมี เช่น methyl, ethyl, vinyl เป็นต้น ทำให้เกิดกลุ่ม porphyrins แตกต่างกันหรือเรียกว่า porphins เช่น actinoporphyrin, octamethylporphyrin, mesoporphyrin, rhodoporphyrin และพบว่าโดยทั่วไปโมเลกุล porphin ประกอบด้วย membered ring 18 วง และระบบพันธะคู่เชื่อมต่อกันอย่างซับซ้อน (complete conjugated system of double bonds) จากลักษณะโครงสร้างโมเลกุลกล่าวทำให้เกิดการ resonate ของโมเลกุลได้หลากหลาย (large number of resonating structure) จึงสามารถนำมาพิจารณาถึงเสถียรภาพ และ shade ของสี

คุณสมบัติทั่วไปมีลักษณะเป็นก้อนผลึกมี shade สีตั้งแต่น้ำตาลแดงถึงม่วงดำมันเงา ขึ้นอยู่กับค่า pH และความเข้มข้นของรงควัตถุสี โดยปกติมีสีน้ำตาลแดงเมื่อละลายในสารละลายมีฤทธิ์เป็นด่าง มีสีแดงในสารละลายมีฤทธิ์เป็นกลางและมีสีม่วงแดงในสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด และสามารถละลายใน pyridine และ dioxan แต่ไม่ละลายใน acetone, ether, petroleum ether, alcohol, chloroform

### จ. Anthocynins<sup>(18)</sup>

Anthocynins เป็นส่วนประกอบกลุ่มหนึ่งของ glycosidic มีรงควัตถุสีตอบสนองได้หลายสี เช่น สีแดง, สีม่วง, สีส้มเงิน ที่สกัดได้จากดอกไม้ ผลไม้ (berries) ลำต้น ใบไม้ และรากไม้ (beet-root)

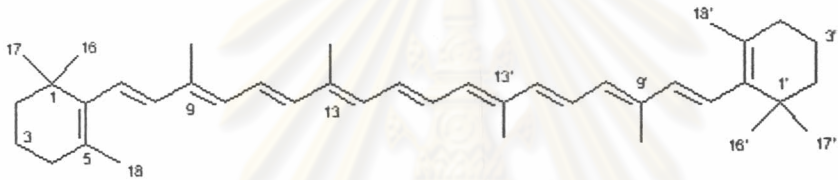
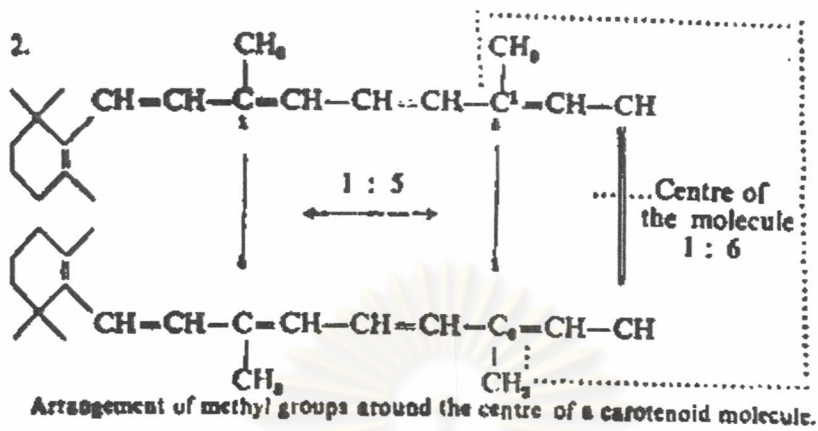


รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะโครงสร้างของ fravylium chloride และ 3:5:7-trihydroxy-fravylium chloride

การสังเคราะห์ Anthocyanins มีปัจจัยสำคัญมาจากการสะสมของน้ำตาลที่สภาวะแสงแดด (แสง UV มีผลให้เกิดการสังเคราะห์มากกว่าแสงแดด) อุณหภูมิต่ำ แร้งน้ำ มีสภาวะไนโตรเจนในดินน้อย และการได้รับออกซิเจนของพืช

Anthocyanins มีลักษณะโมเลกุลแม่เป็น fravylium chloride หรือ 2-phenyl-benzopyrylium chloride โดยมีที่มาจากโมเลกุล 3:5:7-trihydroxy-fravylium chloride และเนื่องจาก Anthocyanins มีจำนวน และตำแหน่งการเชื่อมต่อของกลุ่ม hydroxyl, methoxy และการสะสมน้ำตาลของพืช แตกต่างกัน มีผลให้เกิดสีแตกต่างกัน

คุณสมบัติ Anthocyanina สามารถละลายในน้ำ โดยปกติมีอยู่ใน cell-sap ในรูปของเหลว เป็น amphoteric ในธรรมชาติ มีสีแดงในเกลือกรด มีสีน้ำเงินในเกลือด่าง และมีสีม่วง ในสภาวะที่เป็นกลาง ดังนั้นพบว่า shades ของสีขึ้นอยู่กับความเป็นกรด เป็นด่างและเป็นกลางของสารละลาย



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Carotenoids

ฉ. Carotenoids<sup>(18)</sup>

Carotenoids เป็นรงควัตถุที่สามารถสกัดได้จากทั้งพืชและสัตว์ มี shade สีตั้งแต่สีเหลืองถึงสีแดง มีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วย aliphatic, alicyclic หรือ aromatic และมีหน่วย isoprene เรียงประกอบอยู่ในสายโมเลกุล (ปกติมีอยู่แปดหน่วย) มีสอง methyl group เกาะอะตอม carbon ที่ตำแหน่ง 1:6 ส่วนกลางของโมเลกุล ขณะที่ส่วนด้านข้างของโมเลกุลมีสอง methyl group เกาะที่ตำแหน่ง 1:5 ของโมเลกุล

โมเลกุล Carotenoids ส่วนมากมี carbon 40 อะตอม มีพันธะคู่ต่อเชื่อมกัน ประมาณ 7-11 คู่ เป็นส่วน chromophore ของโมเลกุล มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ทั้งสภาวะกรด และด่าง แต่ละลายใน chloroform, ether และ ไขมัน สามารถถูก Oxidised โดยบรรยากาศที่มีออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุให้สีจางลง เนื่องจากพันธะในโมเลกุลอึดตัวมากขึ้น และ Carotenoids สามารถละลายใน ether หรือ chloroform ให้สีน้ำเงินเข้มกับกรด Sulphuric เข้มขึ้น

### 2.1.3 การตอบสนองของสีย้อมอินทรีย์เนื่องจากได้รับรังสี

จากการมีงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับสีย้อมอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นพบว่าสีย้อมอินทรีย์บางชนิดมีการตอบสนองต่อรังสีแบ่งได้ 3 กรณี คือสีย้อมอินทรีย์ในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรดและด่าง (aqueous solution), สีย้อมอินทรีย์ในสารละลายอินทรีย์ (organic solution) และสีย้อมอินทรีย์กับโพลีเมอร์ในรูปของแผ่นฟิล์ม (dyed polymeric film)

กรณีสีย้อมอินทรีย์ที่อยู่ในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรดและด่าง เมื่อได้รับรังสีแกมมา จะเกิดการฟอกสีขึ้น (Colour bleaching) เป็นผลให้ค่า absorbance ของสารละลายลดลง เช่น Triphenylmethene dye cyanides (McLaughlin et al., 1965), Triphenylmethane Dye (Nasef B. El Assay et al., 1995), Methylene blue (Day and Stein., 1957), Bromophenol blue (Abdel Rahim et al., 1991), xylene orange (Gupta and Hart., 1971), Triphenyl-tetrazolium chloride (Glennier., 1990) โดยกลไกในการเกิดปฏิกิริยา (mechanism) เป็นผลมาจาก Radiolysis ของน้ำ (Kriminskaya et al., 1991 ; Kovacs et al., 1994) และพบว่าการฟอกสีที่เกิดขึ้นเนื่องจาก H และ OH radical ทำอันตรกิริยากับสีย้อม (เมื่ออยู่ในรูปสารละลายที่ไม่มีอากาศละลายอยู่) และเกิดจาก  $\text{HO}_2^\bullet / \text{O}_2^-$  และ OH radical ทำอันตรกิริยากับสีย้อม (เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีอากาศละลายอยู่) และพบว่า H radical ทำให้เกิด reversible reductive decoloration ส่วน  $\text{HO}_2^\bullet / \text{O}_2^-$  และ OH radical ทำให้เกิด reversible oxidative decoloration (Cropper., 1959 ; Gupta and Hart., 1971 ; Suzuki et al., 1975 ; Abdel-Rehim et al., 1986, 1987 ; Anta and Santos, 1958 ; Khabrov and Koalov, 1987 ; Khaborov et al., 1980 ; Kovacs et al., 1998)

กรณีที่สองศึกษา M.F. Barakat และคณะ<sup>(6)</sup> ทดลองนำสีย้อมอินทรีย์ละลายในสารละลายอินทรีย์ เช่น Diazine green (acetone), Methyl red (acetone), Methyl orange (acetone), Dithizone (ethanol), Phenol red (ethanol), Congo red (DMF, ethanol), P-ethoxychrysoidine (DMF, ethanol) ฯลฯ นำสารละลายที่ได้ไปอบด้วยรังสีแกมมาในช่วง 0-120 kGy ผลที่ได้พบว่าให้เปอร์เซ็นต์การฟอกสีเปลี่ยนไป (the change of the percent color bleaching) สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การฟอกสีที่เปลี่ยนไป (เข้มขึ้นหรือจางลง) ได้ดังนี้

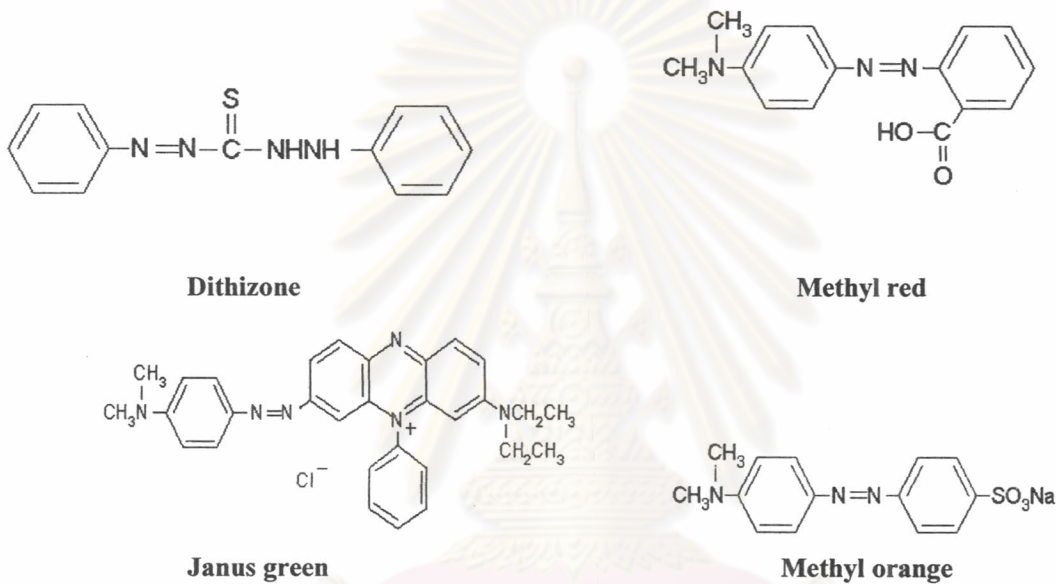
$$\% \text{ colour bleaching} = \frac{A_0 - A_x}{A_0} \times 100$$

$$\% \text{ colour increase} = \frac{A_x - A_0}{A_0} \times 100$$

$A_0$  คือ ค่า absorbance ที่ปริมาณรังสีเท่ากับศูนย์ (ไม่ได้รับรังสี)

$A_x$  คือ ค่า absorbance ที่ปริมาณรังสีเท่ากับ X

จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การฟอกสีของสีย้อมอินทรีย์ในสารละลายสีย้อมอินทรีย์ที่ศึกษา มีการตอบสนองต่อรังสีแกมมาเป็นเส้นตรงและมีความไว (sensitivity) ในการฟอกสีแตกต่างกัน กลไกในการฟอกสียังไม่ทราบชัด แต่พบว่าโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมอินทรีย์แต่ละชนิดมีความไวต่อปริมาณรังสีแตกต่างกัน โครงสร้างโมเลกุลที่ไวต่อปริมาณรังสี เช่น สีย้อม Dithizone ที่มีความไวต่อปริมาณรังสีมากกว่าสีย้อมชนิดอื่น เช่น methyl red, methyl orange, p-ethoxychrysoidine, และ janus green เนื่องจากสีย้อม dithizone มีสาย aliphatic bridge ก่อนข้างยาววางอยู่ตรงกลางระหว่าง benzene ring ประกอบด้วยหมู่ NHNH และ หมู่  $=C=S$  ต่ออยู่ด้านข้าง (Wyant., 1964 ; Lal., 1994) ดังภาพประกอบ



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างโครงสร้างสีย้อมอินทรีย์

กรณีสีย้อมที่เตรียมในรูปแบบฟิล์ม เช่น Diazine green/PVC, Methyl red/PMMA, Methyl orange/PMMA, Dithizone/PS, Pentatydroxy flavone/PS (M.F. Barakat., et al) จากรายงานของ Barakat และคณะพบว่าสีย้อมสามารถวัดค่า absorbance ที่เปลี่ยนไป (มากขึ้นหรือลดลง) เมื่อได้รับรังสีแกมมา ในช่วง 0-120 kGy และพบว่า Diazine green/PVC และ Methyl red/PMMA มีการตอบสนองต่อรังสีที่ปริมาณรังสี 40 kGy และ 20 kGy ขึ้นไปตามลำดับ เป็นผลจาก protective effect of the polymer matrix on the dye

## 2.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-สีย้อมธรรมชาติสกัดจากพืช

การเตรียมฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-สีย้อมธรรมชาติสกัดจากพืช(ดอกชบาแดง, ดอกกระเจี๊ยบ, ไม้ฝาง) ควรเตรียมฟิล์มด้วยสัดส่วนของโพลีเมอร์และสีย้อมที่เหมาะสม จากนั้นเทสารละลายลงบนแผ่นกระจกที่มีขนาดเท่ากันทุกครั้งเตรียม และปรับระดับน้ำของแผ่นกระจกให้อยู่ระนาบเดียวกันเพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ ตัดฟิล์มที่เตรียมได้บนแผ่นกระจกตามขนาดที่ต้องการ แล้วจึงลอก ก่อนนำฟิล์มไปใช้ (หลังจากลอก)ควรเก็บในที่มืดหรือในถุงดำเพื่อป้องกันแสง หลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูง (ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส) และความชื้นสูง (ความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำการทดลองประมาณ 66 %) จากนั้นทดสอบความสม่ำเสมอของแผ่นฟิล์มโดยคำนวณค่า SD. และ %CV (ไม่เกิน 2 %) <sup>(15)</sup> จากค่าการดูดกลืนแสง (A), ความหนา (t) และค่า A/t ของฟิล์มที่เตรียมขึ้น และทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ของฟิล์มต่อไป

## 2.3 คุณสมบัติของแผ่นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-สีย้อมธรรมชาติสกัดจากพืช

2.3.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorption spectra) เป็นการทดสอบการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ผลิตขึ้น โดยนำฟิล์มที่ยังไม่ได้ฉายรังสีและฉายที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ กัน นำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer เพื่อดูรูปร่างของสเปกตรัมและการตอบสนองกับแสงในช่วงคลื่นความยาวคลื่นต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยนี้วิเคราะห์สเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นแสงตั้งแต่ 400 ถึง 600 นาโนเมตร เพื่อหาค่าความยาวคลื่นแสงที่มีการดูดกลืนแสง (Absorption หรือ OD) มากที่สุด (Maximum Absorption) หรือเรียกว่าจุดยอด (Peak) สำหรับฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-สีย้อมธรรมชาติที่ผลิตมีลักษณะของสเปกตรัมต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และความบริสุทธิ์ของสีย้อมที่สกัดได้ การเลือกใช้ค่าความยาวคลื่นแสงเพื่อทดสอบคุณสมบัติการตอบสนองต่อปริมาณรังสีและเสถียรภาพของฟิล์มจึงเลือกค่าดูดกลืนแสงสูงสุดหรือเหมาะสม และตอบสนองต่อปริมาณรังสีได้ดี

2.3.2 การตอบสนองต่อปริมาณรังสี (Dose Response Characteristics) เป็นการแสดงค่าการตอบสนองของแผ่นฟิล์มต่อปริมาณรังสีต่าง ๆ โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปกับปริมาณรังสีที่ฟิล์มได้รับ มีการตอบสนองเป็นเส้นตรง ส่วนมากนิยมเขียนการตอบสนองของแผ่นฟิล์มต่อปริมาณรังสีอยู่ในรูปค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไป  $\Delta A$  ต่อหนึ่งหน่วยความหนา (t, มิลลิเมตร : mm) เฉลี่ย โดยที่ค่า  $\Delta A = A_0 - A_r$  เมื่อ  $A_r$  คือการดูดกลืนแสงเมื่อฟิล์มได้รับรังสี และ  $A_0$  คือ



ค่าการดูดกลืนแสงก่อนฟิล์มได้รับรังสี และแสดงการตอบสนองต่อปริมาณรังสี ด้วยเปอร์เซ็นต์การฟอกสี (bleaching)  $\left(\frac{(A_0 - A_{ir})}{A_0} \times 100\right)$  หรือเปอร์เซ็นต์การเพิ่มสี (%increasing)  $\left(\frac{(A_{ir} - A_0)}{A_0} \times 100\right)$

**2.3.3 ผลต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental effect)** การจางลงหรือเข้มขึ้นของสีบนแผ่นฟิล์มพลาสติกเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ แสง (day-light, UV-light) ความชื้น และปริมาณออกซิเจน เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้คงที่ และ หลีกเลี่ยงปัจจัยที่ทำให้เสถียรภาพแผ่นฟิล์มไม่ดี โดยการเก็บฟิล์มไว้ในที่มีดและในซองพลาสติกป้องกันอากาศเข้า

**2.3.4 เสถียรภาพของฟิล์ม (Stability)** เป็นการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มก่อนฉายและหลังฉายที่ทิ้งไว้ในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ กัน ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

ถ้าฟิล์มที่ผลิตขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงของสีก่อนได้รับรังสีมาก แสดงว่าฟิล์มดังกล่าวไม่เหมาะสมที่นำมาเป็นเครื่องวัดปริมาณรังสี เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ทำให้ค่าการวัดปริมาณรังสีมีค่าไม่ถูกต้อง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีหลังฉายรังสี ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดในการนำฟิล์มมาใช้งาน เช่น การอ่านผลของฟิล์มควรอยู่ในช่วงเวลาใดหลังจากฟิล์มได้รับรังสีแล้วจึงทำให้ค่าของผลการอ่านไม่แตกต่างจากการอ่านผลทันทีหลังจากได้รับรังสี ใช้พิจารณาว่าฟิล์มที่ผลิตขึ้นสามารถนำกลับมาอ่านใหม่ได้ในช่วงเวลาใด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย