

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 สีย้อม

สีย้อมที่นำมาใช้ในการย้อมเส้นใยมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527) การที่จะนำสีย้อมใดๆมาย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำ เราจะสามารถทำให้เกิดสถานะเช่นนี้ขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการคูคติด (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้อย่างกว้างๆว่าอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิดที่ทำให้สีคูคติดเส้นใยคือ

- ก) พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)
- ข) แรงแวนเดอวัลส์ (van der waals' force)
- ค) แรงไอออน (ionic force)
- ง) พันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

กำลังแรงเหล่านี้มักไม่ทำหน้าที่เพียงลำพัง การคูคติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน สำหรับแรงยึดคติดทางเคมีที่จะให้การยึดคติดที่คืดที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์

การยึดคติดของโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลเส้นใยนอกจากจะเป็นอิทธิพลเชิงเคมีของแรงทั้ง 4 ชนิดแล้ว อิทธิพลด้านเรขาคณิตหรือด้านรูปร่าง และ ขนาดของสีก็มีผลต่อการยึดคติดอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมขี้เล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะทำการยึดคติดขึ้น เป็นต้น

2.1.1 การมองเห็นสี

การมองเห็นสีจะเกิดได้เมื่อมีองค์ประกอบสี่ประการคือ แสง วัตถุ(สี) ทัศนคติของผู้มองเห็นและ สมถที่จะวิเคราะห์หรือตีความสิ่งที่เห็น

- แสง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ต้นกำเนิดแสงอาจมาจากดวงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิด

แสงอินทิมุขย์เป็นผู้สร้างขึ้นก็ได้ ช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์สามารถรับภาพได้อยู่ในช่วงประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร ในปี ค.ศ. 1666 Sir Isaac Newton ได้ค้นพบว่าสีทั้งหมดรวมกันอยู่ในแสงธรรมชาติ โดยแสงธรรมชาติหรือแสงแดดสามารถถูกแยกออกโดยการให้แสงส่องผ่านปริซึม ซึ่งจะทำให้เกิดการแบ่งสีตามลักษณะความยาวคลื่นได้ตามตาราง 2.1 (อัญฉลาพร ไสละสูตร. 2527)

ตารางที่ 2.1 ประเภทของสีแบ่งตามความยาวคลื่น

สี	ความยาวคลื่น (nm.)
ม่วง (violet)	390 – 430
น้ำเงิน (blue)	430 – 460
น้ำเงิน – เขียว (blue – green)	460 – 500
เขียว (green)	500 – 570
เหลือง (yellow)	570 – 590
ส้ม (orange)	590 – 610
แดง (red)	610 – 700

- วัตถุ(สี) วัตถุที่ไม่มีการส่องสว่างในตัวเองจะเห็นเป็นสีได้เพราะวัตถุนั้นดูดกลืนสีอื่นที่ไม่ใช่สีที่มองเห็นแล้วสะท้อนสีที่มองเห็นออกมา ตัวอย่างเช่น วัตถุใดๆที่สามารถสะท้อนแสงที่ตกกระทบทุกความยาวคลื่นในแถบแสงสีขาวโดยที่ไม่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใดไว้เลย วัตถุนั้นก็จะได้รับการเห็นเป็นสีขาว ในทางตรงกันข้ามถ้าวัตถุไม่สะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นใดออกมาเลยโดยดูดกลืนแสงไว้ทั้งหมด วัตถุนั้นจะได้รับการมองเห็นเป็นสีดำ

- นัยน์ตา ลูกนัยน์ตามีจอรับภาพที่เรียกว่าเรตินา ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์รูปร่างป้านแท่ง และเป็นกรวย ที่มีความรู้สึกไวต่อแสงมาก ทั้งเซลล์แท่งและเซลล์กรวยจะร่วมกันทำหน้าที่วิเคราะห์แสงที่ผ่านเข้ามาในนัยน์ตาและส่งสัญญาณต่อไปยังสมองต่อไป ทางด้านหน้าของลูกนัยน์ตาดจะมีม่านตาที่ทำหน้าที่ปรับปริมาณแสงที่เข้าสู่ตาให้เหมาะสมกับการมองเห็น เมื่อแสงน้อยเกินไปม่านตาจะเปิดขยายกว้าง ในทางกลับกันเมื่อแสงมากเกินไปม่านตาก็หุบเล็กลง

- สมอง แม้ว่าภาพจะก่อรูปขึ้นที่เรตินา เราจะเห็นภาพได้ก็ต่อเมื่อสมองได้รับสัญญาณการเห็นจากตา และสัญญาณที่ถูกส่งมาจากตานี้ต้องได้รับการถอดรหัสและเปรียบเทียบกับประสบการณ์หรือความจำเดิมที่มีอยู่ในสมอง

2.1.2 การเกิดของสีข้อม

สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็น ได้เกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีข้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกว่า “โครโมฟอร์” (chromophores) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม

- 1) กลุ่มไนโตรโซ (nitroso group) : $-\text{NO}$ (หรือ $=\text{N}-\text{OH}$)
- 2) กลุ่มไนโตร (nitro group) : $-\text{NO}_2$ (หรือ $=\text{NO}.\text{OH}$)
- 3) กลุ่มเอโซ (azo group) : $-\text{N}=\text{N}-$
- 4) กลุ่มเอทิลีน (ethylene group) : $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$
- 5) กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group) : $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$
- 6) กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (carbonyl-nitrogen group) : $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{NH} \\ \diagdown \end{array}$ และ $-\text{CH}=\text{N}-$
- 7) กลุ่มซัลเฟอร์ (sulphur group) : $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{S} \\ \diagdown \end{array}$ และ $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$

กลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรแมติก โดยการดูดกลืนแสงสีขาวไว้บางแถบแสงและปล่อยออกมาในบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีข้อมมีโทนสีแตกต่างกันไป สีข้อมโดยทั่วไปนอกจากกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องมีกลุ่มอะตอมอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มอะตอม “ออกโซโครม” (auxochromes) อันได้แก่ $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{NHR}$, $-\text{NR}_2$, $-\text{SO}_2$ และ $-\text{COOH}$ เพื่อให้สีข้อมสามารถทำปฏิกิริยาขี้ดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลใดที่ปราศจากกลุ่มอะตอมออกโซโครม โมเลกุลนั้นจะแสดงสมบัติของสีออกมาได้แต่จะขาดสมบัติในการขี้ดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า “โครมาเจน” (chromagen) ยกตัวอย่างเช่น สีข้อมอะมิโนเอโอเบนซีน (aminoazobenzene dyestuff) มีสูตรโมเลกุลคือ $\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\text{N}-$ กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์คือ $-\text{N}=\text{N}-$ กลุ่มอะตอมออกโซโครมคือ $-\text{NH}_2$ และ โมเลกุลที่เรียกว่าโครมาเจน คือ $\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4$ ทั้งกลุ่มโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาแบ่งกลุ่มของสีข้อมตามสูตร โครงสร้างทางเคมีซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

2.1.3 การจำแนกสีข้อม

จำแนกสีข้อมตามลักษณะทางกายภาพได้ 2 ชนิด (อัจฉลาพร ไสละสูตร. 2527) ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่าสีข้อม(dye) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายเรียกว่าพิกเมนต์(pigment) น้ำเป็นตัวละลายที่ถูกต้องที่สุด ดังนั้น แม้ว่าสีบางตัวไม่ละลายในน้ำแต่สามารถละลายในสารตัวอื่น โรงงานผู้ผลิตจะต้องพยายามค้นคว้าหา

วิธีที่ทำให้สีตัวนั้นละลายในน้ำให้ได้ สีเมื่อละลายน้ำแล้วจะดูดซึมเข้าไปในเส้นใย บางตัวจะติดเส้นใยได้ดีพอสมควร ทนการซักและกระบวนการใช้น้ำอื่นๆ บางตัวจะมีพันธะหรือโซ่ (linkage) เชื่อมโยงอยู่ระหว่างเส้นใยกับตัวสีทำให้ติดทนทานยิ่งขึ้น

ปิกเมนต์เมื่ละลายน้ำ ย้อมเส้นใยให้เกิดสีได้แบบเดียวกับสีย้อม โดยให้ปิกเมนต์กระจายตัว (disperse) หรือบางครั้งก็ละลายในเรซิน ยึดติดเส้นใยได้โดยเชิงกล มีบางตัวเหมือนกันที่ติดเส้นใยโดยทางเคมี เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเป็นการยากที่จะทราบวาสีตัวไหนเป็นสีย้อมและตัวไหนเป็นปิกเมนต์ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีสีย้อมบางตัวที่เวลาข้อมจะต้องทำให้ละลายเสียก่อน เมื่อทำการข้อมแล้วจึงเปลี่ยนเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำภายในเส้นใยซึ่งก็จะกลายเป็นปิกเมนต์ ทำให้การแบ่งแยกเช่นนี้เกิดความสับสน

การจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี ยังมีความยุ่งยากมากขึ้นไปอีก สีเท่าที่ผลิตออกมาจำหน่ายในขณะนี้ สีในกลุ่มเคมีเดียวกันมีวิธีย้อมแตกต่างกันใช้กับเส้นใยต่างกัน เช่น สีในกลุ่มอะโซบางตัวข้อมง่าย ๆ โดยตรงเป็นสีไดเรกซ์ (direct) บางตัวจะติดได้เมื่อนำข้อมมีภาวะเป็นกรดก็เป็นสีแอซิด (acid dyes) บางตัวจำเป็นต้องมีสารบางอย่างมาช่วยจึงจะติดเส้นใยได้ก็เรียกว่าสีมอร์แดนต์ (mordant dyes) จะเห็นได้ว่าจดจำได้ยาก การจำแนกตามวิธีเดิมคือเรียกตามกระบวนการย้อมบ้าง ตามลักษณะของสีบ้าง ให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้เป็นอันมาก การจำแนกวิธีนี้จึงเป็นที่ยอมรับกันในบรรดาผู้ใช้และอุตสาหกรรมการผลิตสี แม้แต่สมาคมผู้ย้อมและผู้ผลิตสี (The Society of Dyes and Colourists) ก็ยอมรับว่าเป็นวิธีจำแนกสีที่เหมาะสมที่สุด หนังสือคอรานสี (colour index) ก็ใช้การจำแนกวิธีนี้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมีก็ยังมีประโยชน์ในการที่จะกล่าวถึงกลไกการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียด้วย จึงจะนำเสนอการจำแนกสีย้อมทั้งแบบทางโครงสร้างเคมี และ แบบการใช้งาน ดังนี้

ก) การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี

1) Azo Colourants

1.1) Aromatic Diazo Compound

- Diazotization and Diazo Compounds
- The Coupling Reaction

1.2) Azo Compound

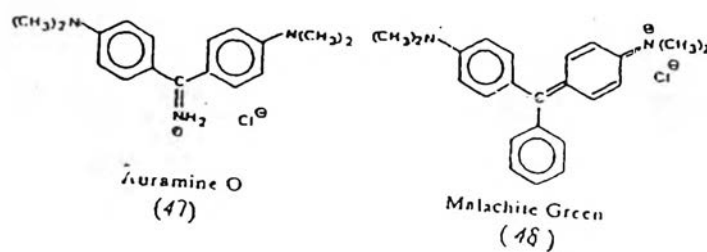
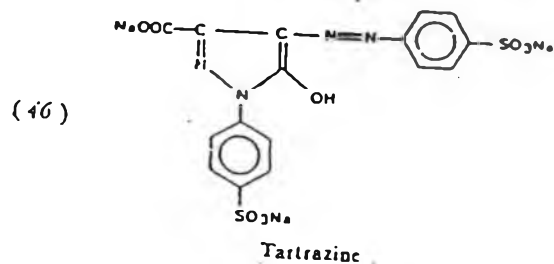
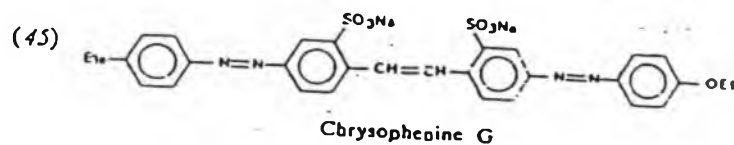
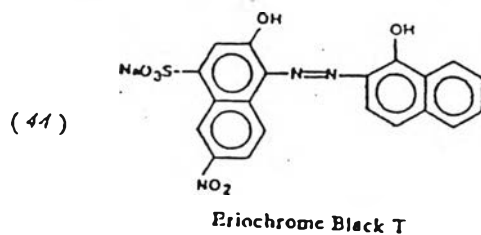
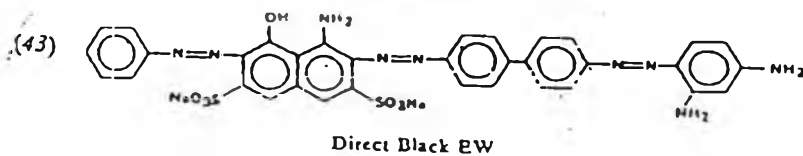
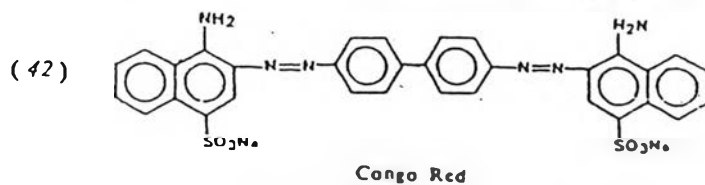
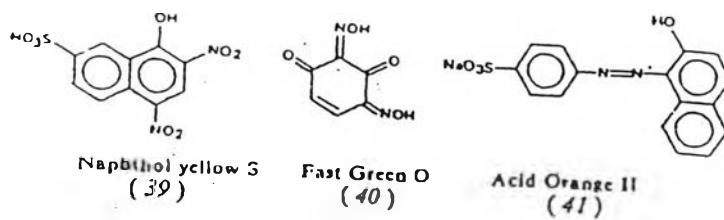
- Basic Dyes
- Acid Dyes

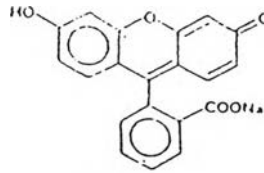
- Mordant and Premetallized Dyes
 - Azoic Dyes
- 2) Phenylmethane Dyes
 - 3) Xantene Dyes
 - 4) Indigoid Dyes
 - 5) Polycyclicquinone (Anthraquinone , etc.) Dyes
 - 5.1) Anthraquinone Group-Vat Dyes
 - Acylamino Anthraquinones
 - Condensation Product of Anthraquinone and Cyanuric Chloride
 - Anthraquinone Acridones
 - Benzanthrones
 - Anthanthrones
 - Pyranthone and Flavanthronone
 - Anthrimides
 - Carbazoles
 - Sulfur-Containing Anthraquinone Compound
 - 5.2) Naphthalenic Acid Group-Vat Dyes
 - 5.3) Ester of Anthraquinone-Vat Dyes
 - 5.4) Anthraquinonoid-Acid Dyes
 - 6) Sulfur Fusion Dyes
 - 7) Amine Oxidation Colorants
 - 8) Phthalocyanine Colorants
 - 9) Onium Dyes
 - 10) Reactive Dyes
 - 11) Pigments

การจำแนกสีขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี แสดงตัวอย่างสี และ ลักษณะ โครงสร้างดังตารางที่ 2.2

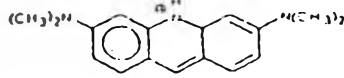
ตาราง 2.2 การจำแนกสีข้อมตามโครงสร้างทางเคมี (Rangekr. 1980)

Class	Subclass	Example	Structure
Nitro	-	Naphthol yellow S	(39)
Nitroso	-	Fast Green O	(40)
Azo	Monoazo	Acid Orange II	(41)
	Disazo	Congo Red	(42)
	Trisazo	Direct Black EW	(43)
	Polyazo	-	
	Mordant azo	Eriochrome Black T	(44)
	Stilbene azo	Chrysophenine G	(45)
	Pyrazolone azo	Tartrazine	(46)
Diphmalmethana	-	Auramine O	(47)
Triphenylmethane	-	Malachite Green	(48)
Xanthene	-	Fluorescein	(49)
Acridine	-	Acridine Orange NO	(50)
Thiazole	-	Basic Yellow T	(51)
Indamine&Indaphenol	-	Toluylene Blue	(52)
Azine	-	Sanfranine T	(53)
Oxazine	-	Capri Blue GN	(54)
Thiazine	-	Methylene Blue	(55)
Cyanine	Methine	Astrafloxine FF	(56)
	Quinoline	Kryptocyanine	(57)
Sulphur	-	Sulphur Black T	(58)
Lacine	-	Resoflavine W	(59)
Ainoketone	-	Helindon Brown CR	(60)
Hydroxy Ketone	-	Arizalin Dark Green W	(61)
Anthraquinonoid	-	Perlon Fast Green 3B	(62)
Indigoid	-	Indigo	(63)
Sulphurized vat dyes	-	Hydron Blue R	(64)

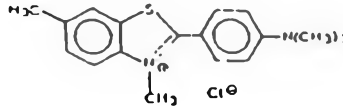




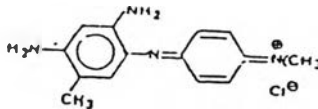
Fluorescein
(49)



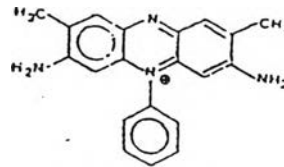
Acridine Orange NO
(50)



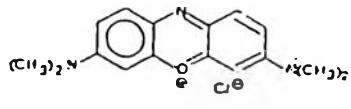
Basic Yellow T
(51)



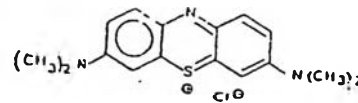
Toluyene Blue
(52)



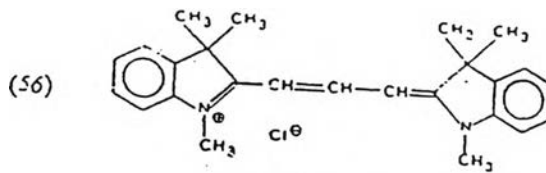
Safranine T
(53)



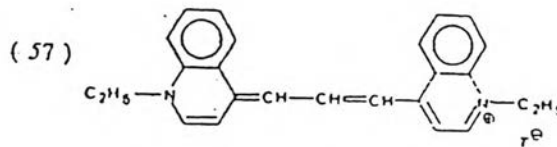
Capri Blue GN
(54)



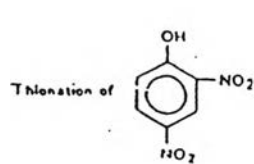
Methylene Blue
(55)



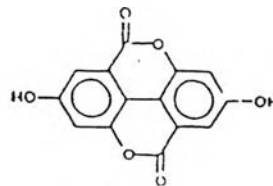
Astraflaxine FF
(56)



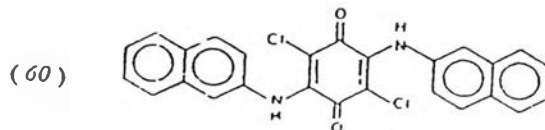
Kryptocyanine
(57)



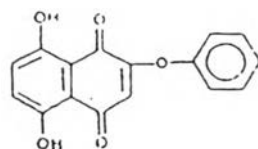
Sulphur Black T
(58)



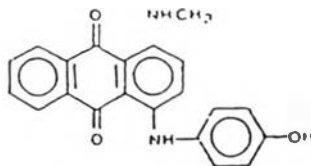
Resoravine W
(59)



Helindon Brown CR
(60)

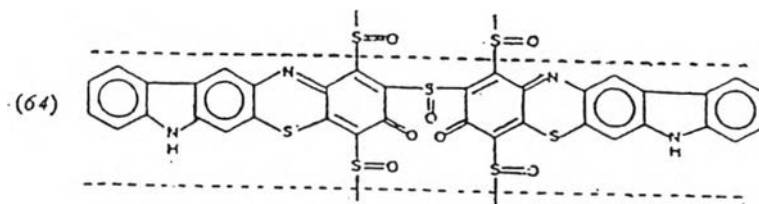


Alizarin Dark Green W
(61)

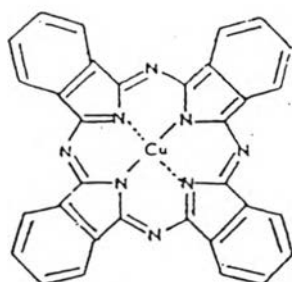


Perlon Fast Green BB
(62)

SD. 3



Hydron Blue R



Monostral Fast Blue BS
(65)

ข) การจำแนกสีข้อมตามลักษณะการใช้งาน

การจำแนกสีข้อมตามลักษณะการใช้งาน แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมี เส้นใยที่เหมาะสมกับสีข้อม และ พันธะหรือกลไกการติดสี แสดงดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 การจำแนกสีข้อมตามลักษณะการใช้งาน (Buckley , 1992)

โดย: ... 13
10

ประเภทสี ย้อม	สมบัติกาย ภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม กับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมแอซิด (acid dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะ ไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 3-5 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามีประจุบวกติดกับ สีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 °c
สีย้อมเมทัล คอมเพล็กซ์ แอซิด (metal complex acid dye)	- กระจุก - ละลายน้ำ น้อย - สีติดแน่นดี	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะ ไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 5-7 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามีประจุบวกติดกับ สีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 °c
สี ย อ ม ไค เร็กซ์ (direct dye)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- พันธะ ไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายต่างอ่อน - เดิมอิเล็กโตรไลท์โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และ สีย้อม ที่อุณหภูมิ 98 °c
สีย้อมเบสิก (basic dye)	- กระจุก - ละลายน้ำดี	- อะคริลิก	- พันธะ ไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4 - 6 - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 100- 105 °c
สี ย อ ม ดิ ส เพอร์ส (disperse dye)	- ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้ น้อยมาก - กระจายอยู่ใน น้ำเป็นอนุ ภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- อีคลีริก - โพลีเอสเทอร์ - ไนลอน - เซลลูโลส - อะซิเตด	- คอลลอยด์ ของสีย้อมติด ผิวเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4.5 - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 130 °c

ประเภทสี ย้อม	สมบัติกายภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมรีแอคทีฟ (reactive dyes)	- กระจุลบ - ละลายน้ำดี - สติคแน่น	- ฝ้าย - ขนสัตว์ - วิสคอส	- พันธะโควาเลนต์	- แ่เส้นใยในสารละลายกรด - เดิมเกลือเพื่อกระจายสีสู่เส้นใย - เดิมด่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย
สีย้อมซัลเฟออร์ (sulphur dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สติคแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- ปฏิกิริยาคัดตะกอนผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียม ซัลเฟออร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีย้อมเวท (vat dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สติคแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- ปฏิกิริยาคัดตะกอนผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียม ซัลเฟออร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีย้อมอะโซอิก (azoic dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สติคแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- ปฏิกิริยาคัดตะกอนผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียม ซัลเฟออร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์ - ดัมเพื่อให้เกิดตะกอนผลึก
สีย้อมมอร์แดนท์หรือโครม (mordant or chrome)	- กระจุลบ - ละลายน้ำดี - สติคแน่น	- ขนสัตว์	- คอลลอยด์ของสีย้อมดูดติดผิวเส้นใย	- แ่เส้นใยในสารละลายกรด - เดิมโซเดียมไดโครเมต และ สีย้อม - เพิ่มอุณหภูมิถึง 98 °c

ความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยต่างๆ ทำให้ต้องใช้สีย้อมแตกต่างกัน ตาราง 2.4 จะสรุปความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเส้นใยและ Functional groups ของเส้นใยกับชนิดของสีย้อมที่ใช้

ตาราง 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับประเภทของสีย้อมที่ใช้ (Johnson, 1989)

เส้นใย	Functional group	สีย้อมที่ใช้
ขนสัตว์	NH_2COOH , CONH	เอซิด, Metal complex, Chrome, รีแอคทีฟ
ไหม	NH_2 , COOH , CONH	เอซิด, Metal complex, เบสิก, แวด
Crupromonium Rayon	OH , COOH	ไดเรกซ์, แวด, ซัลเฟอร์
วิสคอส เรยอน	OH , COOH	ไดเรกซ์, แวด, ซัลเฟอร์, รีแอคทีฟ
ฝ้าย	OH	ไดเรกซ์, แวด, ซัลเฟอร์, รีแอคทีฟ
Secondary Cellulose Acetate	OH , OCOCH_3	ดิสเพอร์ส
Cellulose Triacetate	OCOCH_3	ดิสเพอร์ส
ไนลอน 6.6 & 6	NH_2 , COOH , CONH	เอซิด, Metal complex, ไดเรกซ์, ดิสเพอร์ส, รีแอคทีฟ
อะคริลิก	COOH , SO_3H , OSO_3H	เบสิก, ดิสเพอร์ส
โพลีเอสเตอร์	OH , COOH , COO	ดิสเพอร์ส

2.1.4 สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

ประวัติของสีย้อมรีแอคทีฟ

ในปี 1884 ได้มีการค้นพบสีย้อมที่สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้โดยตรง ได้แก่ สีแวนด์ และ สีซัลเฟอร์ ความพยายามในช่วงต่อมา คือ การทำให้สีที่ไม่ละลายน้ำเหล่านี้สามารถละลายน้ำและติด

กับเส้นใยได้ นอกจากนี้ยังมีการค้นคว้าเพื่อหาวิธีข้อมให้สีเกิดปฏิกิริยาโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลส นักค้นคว้าได้พยายามทุกวิถีทาง ตั้งแต่การใช้สารเคมีราคาแพง กระบวนการข้อมสีที่สลับซับซ้อน ใช้สารทำลายที่อันตราย แต่ความพยายามต่างๆเหล่านี้กลับไม่เกิดผลในทางเทคนิคเลย จนจนถึงช่วงต้นของทศวรรษที่ 50 คือในปีค.ศ. 1952 ได้มีการวางจำหน่ายสีไวนิลซัลโฟน (vinylsulphone) ที่ทำปฏิกิริยาคิดกับเส้นใยจำพวกขนสัตว์ (wool) ต่อมาบริษัทอิมพีเรียลเคมีคอลอินคอร์ปอเรชั่น (ICI) ประสบความสำเร็จในการคิดค้นกระบวนการข้อมเส้นใยฝ้ายด้วยสีรีแอคทีฟ และได้วางจำหน่ายสีรีแอคทีฟชนิดแรกในปีค.ศ. 1956 คือ สี Procion

คุณสมบัติทั่วไปของสีรีแอคทีฟ

สีรีแอคทีฟเป็นสีข้อมที่ละลายน้ำได้ดี สามารถข้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่อนำข้อมในน้ำข้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์ เพื่อสร้างเป็น Crosslink Compound กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้เป็นสีที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและการขัดถู

โครงสร้างเคมีของสีรีแอคทีฟ

กลุ่มเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นสีรีแอคทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั้งไปได้ดังนี้

S - D - T - X

- โดย S คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลโฟนิค ($-\text{SO}_2\text{Na}$) ซึ่งอยู่ติดกับกลุ่มโครโมฟอร์
- D คือ กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่า กลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophore)
- T คือ กลุ่มอะดอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างกลุ่มสีรีแอคทีฟกับกลุ่มโครโมฟอร์ (Bridging group) เช่น กลุ่ม $-\text{NH}-$, $-\text{NHCO}-$, $-\text{SO}_2-$, $-\text{NHSO}_2-$ และ $-\text{NCH}_2-$ เป็นต้น
- X คือ กลุ่มรีแอคทีฟ (Reactive group) ซึ่งจะเป็นกลุ่มที่ทำให้สีทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใย

ในบางกรณี กลุ่มสิริแอคทีฟก็จะติดกับกลุ่มโครโมฟอร์โดยตรง ไม่ต้องมีตัวเชื่อมก็ได้และกลุ่มรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะเป็นสาร heterocyclic ring ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบของ heterocyclic ring มีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยา และคุณสมบัติอื่นๆของสี จากส่วนประกอบดังที่กล่าวมานี้ พบว่า มีสองส่วนที่สำคัญ คือ สารที่ทำให้เกิดสี (Chromophore) และกลุ่มรีแอคทีฟ(Reactive group) โดยส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้จะป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิกิริยาของสิริแอคทีฟ

ในกระบวนการฟอกย้อมสิริแอคทีฟ มีจุดประสงค์สำคัญคือ การทำให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้มากที่สุด และเกิดการไฮโดรไลสในน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้ไม่เพียงเพื่อเป็นการประหยัดเท่านั้น ยังทำให้เส้นใยไม่คุดสีที่ไฮโดรไลสแล้วเข้าไปในเส้นใยซึ่งจะทำให้ไม่คงทนเมื่อผ่านกระบวนการใช้น้ำ เพราะถ้าให้สีไฮโดรไลสมาก การซักในขั้นสุดท้ายก็ทำให้สะอาดหมดจดได้ยาก จึงจำเป็นต้องซักเอาสีพวกนี้ออกให้หมด เพื่อจะทำให้สีไม่คุดเวลาใช้

การไฮโดรไลสของสีนั้น คือ การทำปฏิกิริยาของสีกับไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำ มักเป็นปฏิกิริยาที่แข่งขันกับการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย ปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยสามารถเกิดได้ก็ต่อเมื่อ สีสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้น ความเร็วของปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใยของสี อัตราส่วนของความเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย และระหว่างสีกับน้ำ จะมีค่าคงที่สำหรับสีหนึ่งๆแม้ในช่วงค่อนข้างกว้างของพีเอชที่เป็นค่า

ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยขึ้นกับ

- 1 อัตราส่วนของความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยต่อความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับน้ำ
- 2 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ระหว่างสีที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยและสีที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ
- 3 สัมประสิทธิ์การแพร่ของสีเข้าไปในเส้นใย
- 4 ปริมาณน้ำ พบว่ายิ่งปริมาณน้ำน้อยจะเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย

5 พื้นที่ผิวของเส้นใยสำหรับให้สีได้ถูกดูดซึม

จะเห็นว่าคุณสมบัติพื้นฐานของสีมีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสีกับเส้นใย ดังนั้นวิธีการย้อมสำหรับสีแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันไป และ ตัวแปรที่ใช้ควบคุมก็จะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถแบ่งสิริแอคทีฟได้เป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของตัวแปรที่ใช้ควบคุมการย้อมได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สิริแอคทีฟที่ใช้ต่างเป็นตัวควบคุม (Alkali-controlable reactive dyes)

สีข้อมในกลุ่มนี้ต้องการอุณหภูมิในการข้อมประมาณ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส สีข้อมกลุ่มนี้มีลักษณะที่สำคัญคือ จะมีสีข้อมหลงเหลืออยู่น้อยในน้ำหลังการข้อมซึ่งมีสารละลายเกลือที่เป็นกลางอยู่ และยังไม่ได้เติมด่าง สีข้อมเหล่านี้จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นเมื่อมีการเติมด่าง ดังนั้นระดับการทำปฏิกิริยาจะสามารถควบคุมได้ด้วยปริมาณด่างที่เติมให้ ตัวอย่างของสีกลุ่มนี้จะมีกลุ่มรีแอคทีฟพวก dichlorotriazine chlorodifluoropyrimidine dichloroquinoxalinmct vinylsulphone

กลุ่มที่ 2 สิริแอคทีฟที่ใช้เกลือเป็นตัวควบคุม (Salt-cotrollable reactive dye)

สีข้อมในกลุ่มนี้ต้องใช้อุณหภูมิในการข้อมประมาณ 80 องศาเซลเซียล จนถึงน้ำเดือด สีข้อมกลุ่มนี้จะมีหลงเหลือมากในน้ำหลังการข้อมที่พีเอชเป็นกลาง ดังนั้นระดับเกลือที่เติมให้จึงมีความสำคัญมากต่อระดับการทำปฏิกิริยาของสีในการข้อม สามารถใช้เป็นตัวควบคุมการข้อมสีได้ สีข้อมประเภทนี้มักจะมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาดำเช่นสีข้อมที่มีกลุ่มรีแอคทีฟ trichloropyrimidine aminochlorotriazine หรือ bis (aminochlorotriazine) ส่วนสีข้อม aminofluorotriazine (Cibacron) มีลักษณะที่จัดอยู่ในกลุ่มเช่นกัน แต่การข้อมสีข้อมกลุ่มนี้กลับมีประสิทธิภาพดีเมื่อข้อมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล หรือต่ำกว่า โดยใช้กระบวนการข้อมแบบเท (batchwise)

กลุ่มที่ 3 สิริแอคทีฟที่ใช้อุณหภูมิเป็นตัวควบคุม (Temperature-controllabe reactive dyes)

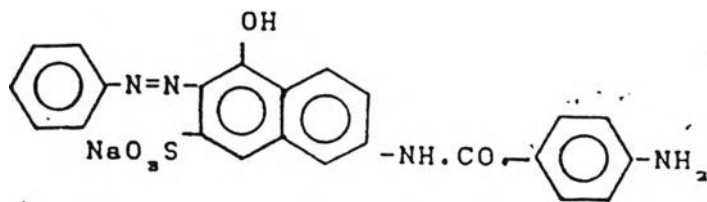
สีข้อมกลุ่มนี้จะมีคุณสมบัติทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือด ในสภาวะที่ไม่มีความร้อน แม้ว่าการใช้งานจริงสามารถใช้สภาวะการข้อมเดียวกับสีในกลุ่ม 2 ร่วมกับการใช้ด่าง ที่อุณหภูมิ 80 ถึง 100 องศาเซลเซียล สีข้อมประเภทนี้มีระดับการทำปฏิกิริยาของแต่ละสีเอง สารช่วยข้อมอื่นๆ ไม่มีความจำเป็นเท่าใดนัก การข้อมให้ได้ผลดีเพียงแต่ควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่านั้นก็พอ ในปัจจุบันสีข้อมในกลุ่มนี้มีเพียงสีในกลุ่ม Kayacelon React ซึ่งมีโครงสร้างกลุ่มรีแอคทีฟเป็น bis (aminonicotinotriazine) เป็นองค์ประกอบ

2.1.5 สีข้อมไดเรกซ์ (Direct dyes)

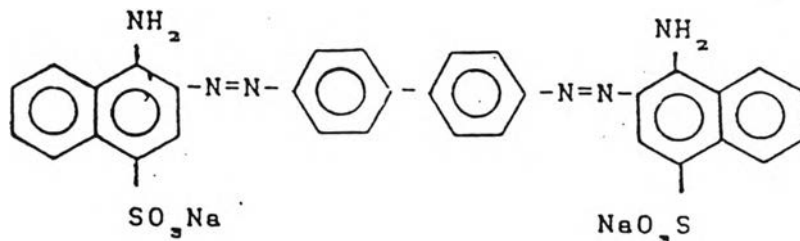
สีไดเรกซ์ส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลโฟเนต (sulphonate) ประเภทเอโซ (azo) ที่สามารถละลายน้ำได้ในบรรดาสีที่ใช้ข้อมสิ่งทอ สีไดเรกซ์เป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุดสีแต่ละตัวในกลุ่มนี้มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานไม่เท่ากัน ซึ่งมีสมบัติเฉพาะในการซึมติดเส้นใยได้ในตัวเอง (substantivity) จึงเหมาะสมกับการ

ย้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน เป็นต้น สีไคเร็กซ์ผลิตออกจำหน่ายครั้งแรกในพ.ศ. 2427 โดยบริษัทบอททิจเจอร์ (BoitiGer) มีสีแดงเรียกว่า คองโก เรด (congo red) สามารถย้อมผ้าได้ทันทีไม่ต้องย้อมผ้าด้วยสารช่วยติดเหมือนตัวอื่นๆซึ่งใช้กันอยู่ก่อนจึงเรียกว่า สีไคเร็กซ์ หรือ สีย้อมโดยตรง อย่างไรก็ตามบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตออกใช้งานนั้นจะมีชื่อการค้าแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิต เช่น Durazol(ไอ. ซี. ไอ.) Solar(ไบเออร์) Solophenyl(ซีบา-ไวกี้) Tavidirect(จีแรวัทรไคย์สดีฟ) เป็นต้น และใช้กันอยู่มี 7 กลุ่มแบ่งตามโครงสร้างทางเคมีดังนี้

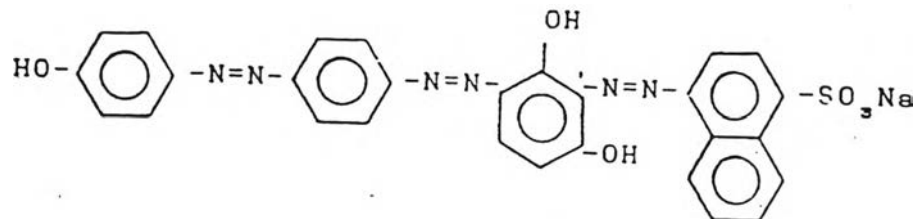
1.กลุ่มโมนาโซ (Monazo) ตัวอย่างได้แก่ diazomine scarlet 5B (C.I. direct red 14) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



2.กลุ่มบีสเอโอ (Bisazo) ตัวอย่างได้แก่ original congo red (C.I. direct red 28) มีสูตรโครงสร้างดังนี้

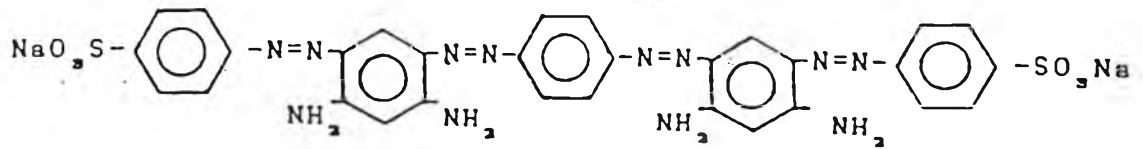


3.กลุ่มทริสเอโซ (Trisazo) ตัวอย่างได้แก่ congo brown R (C.I. direct brown 21) มีสูตรโครงสร้างดังนี้

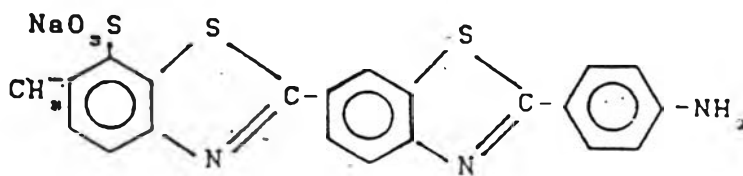


4.กลุ่มโพลีเอโซ หรือ เททระคิสเอโซ (polyazo or tetrakis azo) ตัวอย่างได้แก่ chloazol brown

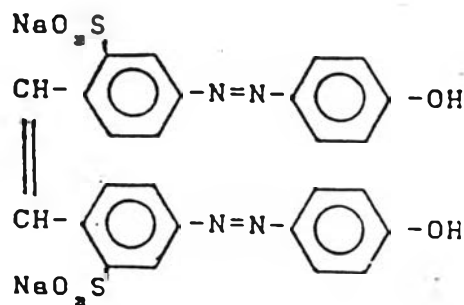
GM (C.I. direct brown 44) มีสูตร โครงสร้างดังนี้



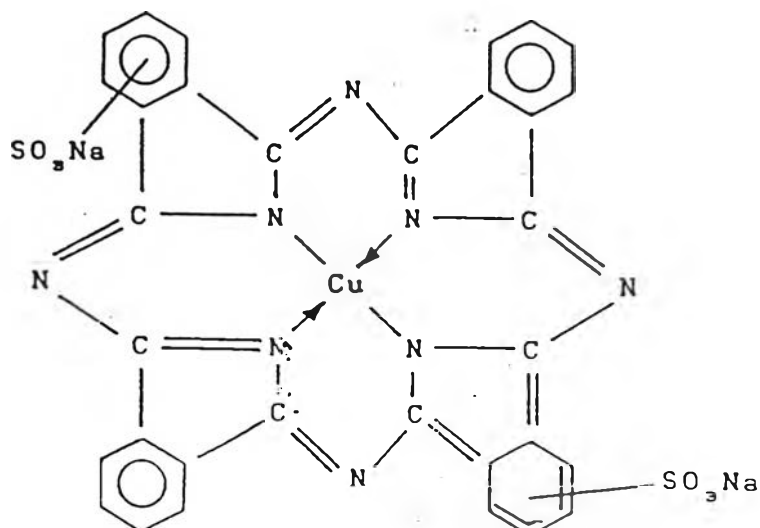
5.กลุ่มไทเอโซล (thiazole) เป็นกลุ่มที่เตรียมได้จากพริมูลิน (primuline) มีสูตร โครงสร้างทั่วไป ดังนี้



6.กลุ่มที่ได้จากสทิลเบน (stilbene) ตัวอย่างเช่น diphenyl chrysoine G (C.I. direct yellow 19) มีสูตร โครงสร้างทั่วไปดังนี้



7.กลุ่มฟทาโลไซยานิน (phthalocyanine) ตัวอย่างได้แก่ durazon blue 8G (C.I. direct blue 8G) มีสูตร โครงสร้างทั่วไปดังนี้



ทฤษฎีการข้อมสีไคเร็กซ์

การข้อมสีไคเร็กซ์กับผ้าใยเซลลูโลสเป็นการดูดติดทางกายภาพเพราะ โครงสร้างของเซลลูโลส ไม่มีกลุ่มเคมีตอนปลายที่จะรวมตัวกับเกลือในโครงสร้างสีได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้าง โมเลกุลกับการดูดติดเส้นใยนั้นพอสรุปได้ดังนี้

1. สีข้อมจะต้องมี โครงสร้าง โมเลกุลที่มีลักษณะเป็นแนวตรง และ อยู่ในระนาบเดียวกัน
2. โมเลกุลสีต้องมีหมู่เคมีที่ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้
3. ควรมีจำนวนหมู่เคมีที่ช่วยทำให้ตัวสีละลายได้พอเหมาะ
4. หมู่เคมีจะทำให้ตัวสีละลายได้นั้น จับอยู่ที่โครงสร้างของตัวสีด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งเป็น หมู่เคมีที่จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน
5. ระยะของหมู่เคมีที่จะก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนนั้น ควรอยู่ใกล้กันกับเซลลูโลสมากที่สุด
6. การรวมตัวกัน โดยพันธะคู่ จะช่วยเสริมให้โมเลกุลเข้ามาเรียงตัวในแนวเดียวกัน ได้มากขึ้น และยังสามารถทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นที่ตอนปลายของสายโมเลกุลที่รวมตัวกันนี้ได้ด้วย

จากหลักการนี้ การข้อมสีไคเร็กซ์นี้สามารถอธิบายลำดับขั้นตอนของการข้อมได้ 3 ลำดับขั้น โดยสรุปดังนี้

1. สีจะถูกดูดซึมติดที่ผิวของเส้นใย
2. สีจะถูกดูดซึมเข้าไป แล้วกระจายสู่ใจกลางของเส้นใย
3. สีจะถูกดูดยึดติดที่จุดที่ให้สีติดในเส้นใยได้

2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

2.2.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible Interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้าน โครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ประเภทซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน คือ

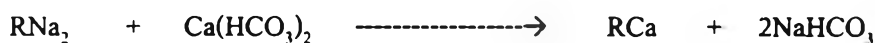
- 1) กำจัด ไอออนต่างๆออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- เป็นต้น นอกจากนี้ในบางครั้งเรจิน อาจใช้กำจัดโลหะหนักต่างๆออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้ต้องใช้เรจินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะหนักที่ใช้เรจินกำจัดออกได้ ได้แก่ อาเซนิก แบริยม แคดเมียม โคบอลต์ ทองแดง ทอง ตะกั่ว เซเลเนียม

เงิน วานาเดียม สังกะสี นิกเกิล

2) ทำให้ไอออนต่างๆมีความเข้มข้นสูงมาก ๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดจากสารละลายจะหลุดออกมา กับสารรีเจนเนอเรนต์ (Regenerant) ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชั่น (Regeneration) เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่า ปริมาตรสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมเจือจางมาก มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆเท่า

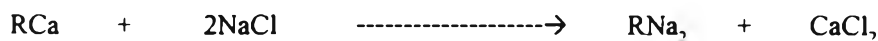
กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำ และในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralization) เพื่อใช้ในการทำไอน้ำและในงานอุตสาหกรรมบางชนิด สำหรับในการกำจัดน้ำทิ้งนั้นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ใช้กันมากในการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงาน ชุบโลหะ และ ใช้ในการกำจัดแอมโมเนีย

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับ Softener อาจเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



เมื่อ R เป็นหมู่ไอออนของเรซินซึ่งมี Na^+ เป็นส่วนเคลื่อนที่ได้ของหมู่ไอออนของเรซิน ใช้แลกเปลี่ยนไอออนพวกที่อยู่ในน้ำคือ Ca^{2+} ในปริมาณที่สมดุลกัน

เรซินเมื่อใช้ไปชั่วระยะเวลาหนึ่งจะหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชั่น สำหรับเรซินที่อยู่ในรูปของ Na^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกง (NaCl) ซึ่งมี Na^+ อยู่เป็นจำนวนมาก เรซินที่ผ่านการรีเจนเนอเรชั่นแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก สมการเคมีเขียนดังนี้



โดยสารละลายเกลือแกงจะต้องมีความเข้มข้นในปริมาณมาก เพื่อให้สมดุลกับปฏิกิริยากลับทิศทาง

2.2.2 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน(Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน การสังเคราะห์เซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย hydroxy-cellulose และ COOH-Group 15% มีลักษณะเป็นผงไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็น Hydrophilic แต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็น Hydrophobic เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์การยึดเกาะกันของโครงตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ไอออนอยู่ตามตำแหน่งต่างๆบนโครงร่างตาข่ายซึ่งมีระยะประมาณ 15 \AA ดังนั้นไอออนที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถผ่านเรซินแบบสังเคราะห์ได้ จะสามารถผ่านสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

จากลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส พบว่าโมเลกุลของเซลลูโลสมี Hydroxyl Group ที่คาร์บอนอะตอมที่ตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ซึ่งเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยามากที่สุด สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีขนาดประมาณ $15 - 20 \mu$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงร่างของเซลลูโลสและองค์ประกอบอื่นๆ แต่จะไม่มีผลต่อคุณสมบัติของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน การปรับปรุงลักษณะโครงสร้าง และ ฟังก์ชันกรุปในเซลลูโลส ทำได้โดยใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนให้สูงขึ้น

ในการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ปฏิกิริยาจะประกอบด้วย เปลี่ยน alkali cellulose ด้วยสารประกอบคลอรีน การเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ทำโดยการประสานพันธะของเซลลูโลสด้วย di-(2-ethylamine)sulfate, 1,4-butanedisulfate, 1,3-dichloro-2-propanal, divinyl sulfone และ formaldehyde ซึ่งจะเป็นหมู่ไอออนที่เกาะจับอยู่บนโครงร่าง(active group) โดยมี dichloroacetic acid เป็น cross-link agent ที่ใช้เป็นตัวแสดง exchange group การสังเคราะห์ Quaternary cellulose ion exchanger สามารถทำได้โดยใช้ methyl iodide หรือ ethyl bromide ซึ่งละลายในเมทิลแอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยากับ DEAE Cellulose

2.3 องค์ประกอบในเซลลูโลส

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในเซลลูโลสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. Lignin

2. Holocellulose

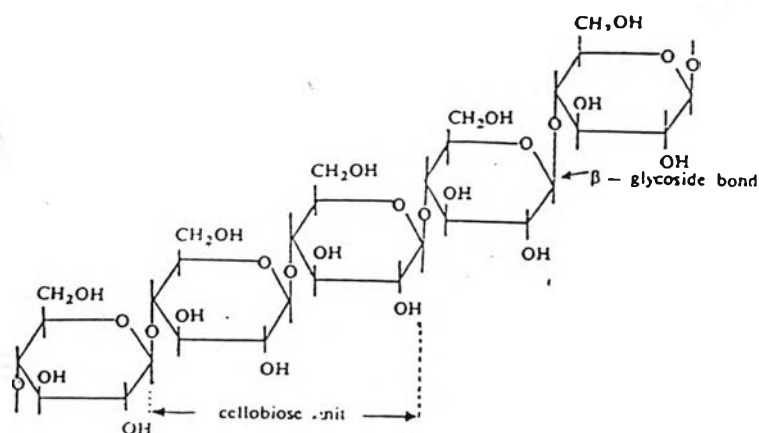
- Cellulose
- Hemicellulose

2.3.1. เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นโพลีแซ็กคาไรด์ สารประกอบที่มีมากที่สุดในธรรมชาติเพราะเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์ของพืช ตัวอย่างเช่น เนื้อไม้จะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 50 % นอกจากนั้นยังเกิดในรูปของเส้นใยเช่นฝ้าย จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของ D-glucose ซึ่งจะเชื่อมกันด้วยพันธะ β -glucoside และความยาวของโซ่จะประกอบด้วย D-glucose ตั้งแต่ 300 ถึง 2500 หน่วย ซึ่งถ้าไฮโดรไลส์เซลลูโลสเพียงบางส่วนจะได้เซลไบโอส แต่ถ้าไฮโดรไลส์เต็มที่จะได้ D-glucose

คุณสมบัติของเซลลูโลสคือ ไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรือ สารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ดีในกรด หรือด่างแก่ จึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามการละลายในกรดหรือด่างได้เป็น 3 ชนิด

1. α -cellulose เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 %
2. β -cellulose เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 %
3. γ -cellulose เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 % และสามารถละลายได้ดีในกรดเจือจาง

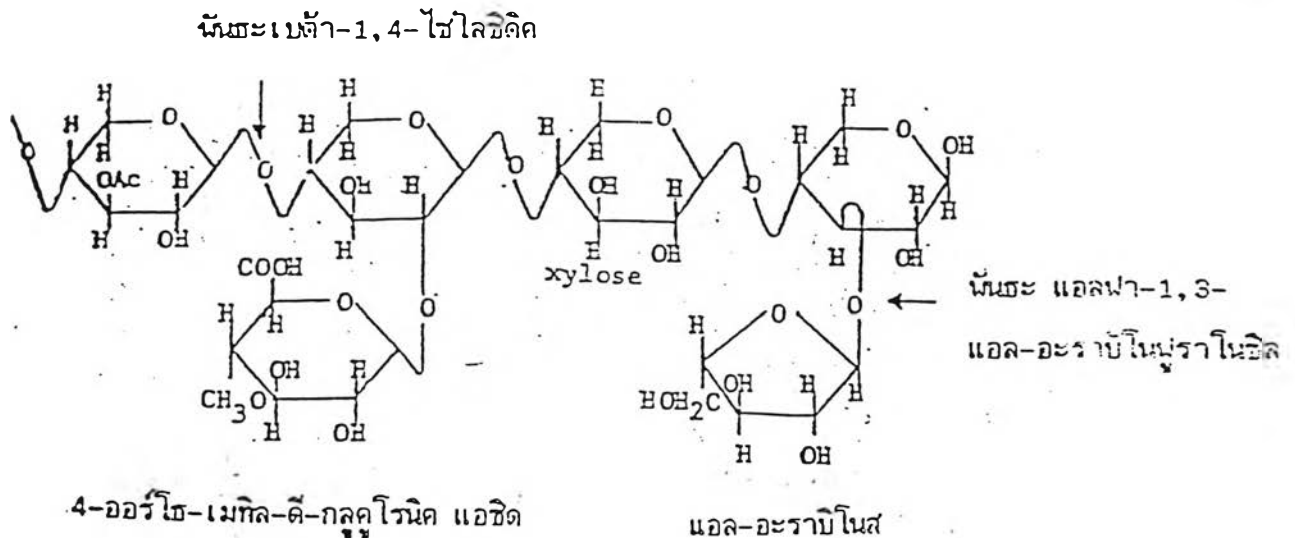


รูปที่ 2.1 ลักษณะ โครงสร้างของเซลลูโลส (Bailey , 1986)

2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (Pentoses) ที่มีลักษณะเป็น Heterogenous โดยประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์หลายชนิดรวมกัน ลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขาแตกต่างจากเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30 – 50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือ Xylan นอกจากนี้ก็ยังมี glucan , mannan , galactan , hemicellulose เมื่อถูกย่อยสลายจะได้น้ำตาลที่เป็นเพนโตสและเฮกโตส ได้แก่ ไซโล แมนโนส กาแลคโตส อะราบิโนส

สำหรับ xylan ที่เป็นองค์ประกอบหลักของ เฮมิเซลลูโลสนั้น เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลส ที่ต่อกันด้วยพันธะเบตา -1,4 xylosidic linkage อาจเป็นเส้นตรงเฉพาะไซโลอย่างเดี่ยวหรือมีกิ่งก้านสาขา ที่มีโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆปะปนอยู่ เช่น L-arabinofuranose เชื่อมต่อกับ ดีไซโลสที่มีตำแหน่ง 0-3 และ D-glucuronic acid หรือ 4-O-methyl-glucuronic acid ซึ่งต่อกับ ดีไซโลสที่มีตำแหน่ง 0-2 ดังแสดงใน รูป 2.2



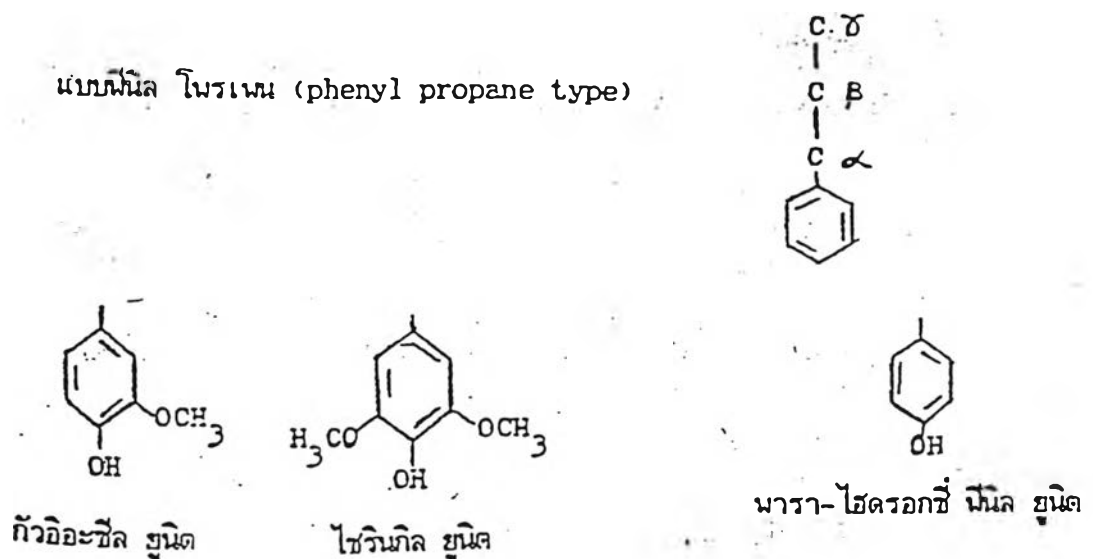
2.3.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินจัดอยู่ในพวก Heterogeneous organic polymer จะอยู่ในโครงสร้างของพืชโดยอยู่รอบๆเซลลูโลส และป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย

ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) ที่ประกอบไปด้วยหมู่ methoxyl group-OCH₃, หมู่ hydroxyl group-OH และส่วนที่เป็น phenolic โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาวซึ่งมีอยู่หลายแบบซึ่งประกอบด้วยหน่วยเหล่านี้ คือ

- ฟีนิล โพรเพน (Phenyl Propane)
- กัวอีอะซิล ยูนิต (Guaiacyl Unit)
- ไซริงกิล ยูนิต (Syringyl Unit)
- พารา-ไฮดรอกซี ฟีนิล ยูนิต (Para-Hydroxyphenyl Unit)

ลักษณะหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนินแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน (ปราณี , 2537)

ลักษณะการจับ(link) ของหน่วยฟีนิลโพรเพน อาจเชื่อมกันที่ตำแหน่ง α , α หรือ β กับ side chain ของหน่วยอื่นหรือที่ตำแหน่ง 4 และ 5 ของวงแหวนฟีนิล (phenyl ring) ได้รูปร่างเป็นเส้นตรง วงกลม หรือ มีกิ่งก้านสาขาก็ได้

2.4 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง

2.4.1 ชานอ้อย

ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากโรงงานน้ำตาล ในปีหนึ่งๆ ร้อยละ 30 ของชานอ้อยที่ผลิตได้ในประเทศเป็นพลังงานความร้อนในโรงงานน้ำตาล ชานอ้อยที่เหลือมีจำนวนมากเป็นแหล่งใหญ่ของไฟเบอร์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนไม้ใบกว้างในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุหลายประเภท เช่น การผลิตเยื่อกระดาษ การผลิตแผ่นไม้ประดิษฐ์ เป็นต้น นอกจากนี้ ชานอ้อยสามารถใช้ผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น ใช้ผลิตไฟฟ้า เป็นชานอ้อยอัดแท่ง ถ่านอัดแท่งและผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว เป็นต้น

1. การใช้ประโยชน์จากชานอ้อย

ประเทศไทยมีชานอ้อยเหลืออยู่หลังจากทำเป็นพลังงานความร้อนแล้วหลายล้านตันในแต่ละปี จึงได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของชานอ้อยในรูปแบบอื่นๆ ได้แก่

- การทำกระดาษ
- การทำแผ่นไม้ประดิษฐ์
- การทำ α -cellulose เพื่อผลิตเรยอน
- การทำพลาสติกจากลิกนินของชานอ้อย
- การสกัด Xylitol
- ใช้เป็นอาหารสัตว์

2. องค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของชานอ้อย

ลำต้นอ้อยประกอบด้วยข้อและปล้องเป็นระยะๆ สลับกัน ภายในลำต้นอ้อยประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ประเภท คือ

1. เนื้อเยื่อที่อยู่รอบนอก ได้แก่ Epidermis, Cortex และ Pericycle
2. เนื้อเยื่อประเภทท่อลำเลียง ได้แก่ Vasculas Fiber Bundles
3. เนื้อเยื่อประเภทสะสมอาหาร ได้แก่ Parenchyma

เมื่ออ้อยเข้าหีบในโรงงาน จะถูกสกัดเอาน้ำอ้อยออก ส่วนที่เหลือคือชานอ้อยซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำ ไฟเบอร์ และสารที่ละลายน้ำได้ปนอยู่นิดหน่อย ส่วนประกอบพวกนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของอ้อย การตัด และ ประสิทธิภาพของโรงงาน

ค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบเหล่านี้มี

ความชื้น (Moisture)	46-52 %
ไฟเบอร์ (Fiber)	43-52 %
Soluble Solid (ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล)	2-6 %

ส่วนประกอบที่เป็นไฟเบอร์จะไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วย Cellulose, Pentosans และ Lignin ขนาดของไฟเบอร์และพารามิเตอร์แตกต่างกันไปตามแหล่งของอ้อย ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ค่าเฉลี่ยของความยาวไฟเบอร์อยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.7 มม. ส่วนความยาวของพารามิเตอร์มีค่าประมาณ 0.2 ถึง 0.4 มม. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยใช้วิธีวิเคราะห์ของ Technical Association of The Pulp and Paper Industry Standard ชานอ้อยที่จะนำมาวิเคราะห์ถูกคองปนและเลือกเอาขนาด 40-60 msh. ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย (ปรีชา , 2532)

องค์ประกอบ	สัดส่วน (% ON THE EVEN-DAY BASIC)
Holocelulose	82.52
α-Cellulose	44.05
Pentosans	27.21
Lignin (ash free)	19.76
Ash	1.60
Alcohol Benzene solubility	3.06

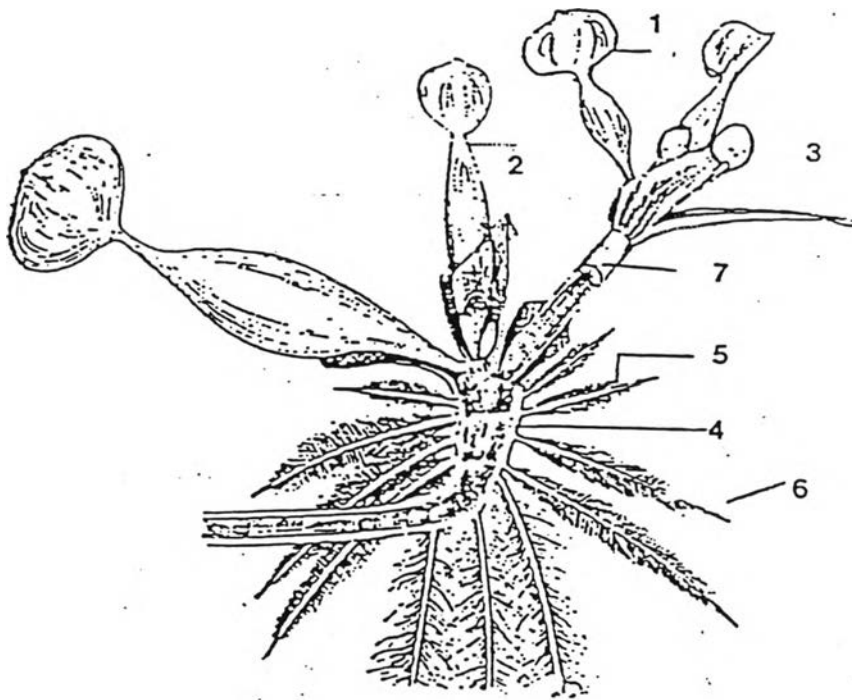
2.4.2 ผักตบชวา

ผักตบชวา (Water Hyacinth) เป็นวัชพืชลอยน้ำ ซึ่งจัดเป็นพืชประเภทไบเลียงเดียวยู่ในวงศ์ Pontederiaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ พบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2367 โดย Karl Von Matins และมีการแพร่ระบาดไปยังประเทศไทยด้วย เนื่องจากมีการนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย ในปีพ.ศ. 2444 พบว่าปัจจุบันมีการแพร่กระจายของผักตบชวาอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำต่างๆใน 74 จังหวัดทั่วประเทศ

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นวัชพืชข้ามปี ประกอบด้วยลำต้นที่มีราก (Rhizomatons System) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-6 ซม. และยาวประมาณ 30 ซม. ลำต้นมีสีม่วงแดง มีขนาดแตกต่างกัน ประกอบด้วยกลุ่มใบเรียงกันเป็นกลีบชั้น (Roettes) ก้านใบมีลักษณะกลมพองออก ภายในมีเนื้อพรุนคล้ายฟองน้ำ เป็นเครื่องพยุงให้ต้นลอยน้ำได้ ผักตบชวามีระบบเป็นรากฝอย โดยแตกออกจากข้อบนลำต้น มีความยาวตั้งแต่ 10-90 ซม. และมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซึมธาตุอาหารต่างๆที่ปะปนในน้ำ ส่วนดอกมีสีม่วงฟ้า ลักษณะเป็นช่อมีประมาณ 6-12 ดอก ดังแสดงในรูป 2.4

ผักตบชวาจัดเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้เร็วที่สุด โดยสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งแบบใช้เพศและไม่ใช้เพศ แต่โดยทั่วไปมักขยายพันธุ์โดยแตกหน่อเป็นต้นใหม่ โดยสามารถเพิ่มการครอบคลุมพื้นที่ได้เป็น 2 เท่า ทุกระยะเวลา 62 วัน หรือเพิ่มจำนวนจาก 10 ต้น เป็น 6 แสนต้น ภายในเวลาเพียง 8 เดือน สำหรับการขยายพันธุ์โดยใช้เพศจะผสมเกสรภายในตัวเองแต่บางครั้งสามารถผสมข้ามต้นได้จะเกิดขึ้นเฉพาะฤดูแล้ง



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบต่างๆของผักตบชวา (ปราณี . 2537)

- | | | |
|----------|----------------|-----------|
| 1.แผ่นใบ | 2.ท่อนพองลำต้น | 3.ลิกอวล์ |
| 4.เหง้า | 5.ชนราก | 6.หวมกราก |
| 7.ลำต้น | | |

องค์ประกอบของผักตบชวา

ต้นผักตบชวา 100 กก. หลังจากตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 5 กก. คือ เป็นน้ำหนักของกากแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่า ผักตบชวาประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และ แร่ธาตุอื่น ดังแสดงในตาราง 2.6

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบในผักตบชวาแห้ง (ปราณี , 2537)

องค์ประกอบ	สัดส่วน (%)
ลิกนิน	12-13
เซลลูโลส	43-44
เพนแซน	14-15
เถ้า	20-21
คาร์บอน	32-35
ไฮโดรเจน	5.4-5.8
ไนโตรเจน	2.8-3.5
โซเดียม	1.5-2.5
โปแตสเซียม	2.0-3.5
แคลเซียม	0.6-1.3

2.4.3 เส้นใยลูกปาล์ม

ปาล์มเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวลำต้นตรง มีผลเป็นทะลายมีลักษณะคล้ายต้นมะพร้าวหรือต้นจาก นิยมปลูกเพื่อเอาน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ ปาล์มน้ำมันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elacis guineensis* (Jacq) ประเทศที่ผลิตและส่งออกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในโลกคือประเทศมาเลเซีย ในประเทศไทยเริ่มปลูกปาล์ม น้ำมันเป็นการค้าอย่างจริงจังเมื่อกลางปี 2511 ที่จังหวัดสตูลและกระบี่ และขยายออกไปสู่จังหวัดอื่นๆในภาคใต้ ผลผลิตโดยตรงของปาล์มคือ น้ำมันปาล์มมี 2 ชนิด ชนิดที่ได้จากเปลือกปาล์มเรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ(crude oil) และชนิดที่ได้จากเนื้อปาล์มเรียกว่า น้ำมันเนื้อปาล์ม(palm kernel oil) ของหนือที่ได้จากปาล์มน้ำมันที่มีการนำมาใช้เป็นประโยชน์มีดังนี้

1. กากเปลือกปาล์ม (Palm press fiber) เป็นส่วนที่เหลือหลังจากการหีบเปลือกปาล์ม มีปริมาณประมาณ 7.05 % ของทะลายน้ำมันสด ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานปาล์มน้ำมัน

2. กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (Palm kernel meal) เป็นส่วนที่เหลือหลังจากสกัดน้ำมันเนื้อปาล์ม กากส่วนนี้มีปริมาณ 2.95 % ของน้ำหนักสดทั้งหมดของทะลายน้ำมัน เนื้อในเมล็ดปาล์ม ยังมีอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากการสกัดน้ำมันโดยสารละลายทางเคมีจากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เรียกกากเนื้อในเมล็ดปาล์มนี้ว่า solvent extract palm kernel meal

3. กากปาล์มน้ำมันที่ได้จากการหีบปาล์มทั้งหมด (Palm oil fiber) เป็นกากปาล์มที่มีมากในประเทศไทย สามารถใช้เลี้ยงสัตว์ได้

4. ของเหลือที่เป็นของเหลวจากโรงงานปาล์มน้ำมัน (Palm oil sludge) เป็นส่วนเหลือจากโรงงานที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียได้ง่าย

เส้นใยลูกปาล์มที่ใช้ในการทดลองนี้คือ กากปาล์มน้ำมันที่ได้จากการหีบปาล์มทั้งหมด ซึ่งมีองค์ประกอบดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 ตารางแสดงองค์ประกอบของเส้นใยลูกปาล์ม (Low , 1978)

องค์ประกอบ	สัดส่วน(%)
เซลลูโลส	39.9
เฮมิเซลลูโลส	28.9
ลิกนิน	20.3
เถ้า	3.6

2.5 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีย้อมด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในการกำจัดสีย้อมเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากประเทศเหล่านี้มีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่าง ๆ มาก ดังนั้นจึงมีกากผลผลิตเหล่านี้เป็นจำนวนมาก วัสดุที่มีการนำมาทดลองใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่มีสารละลายสี ได้แก่ ไม้เลื่อย (Sawdust) ชานอ้อย (Bagasse) ชังข้าวโพด (Corn Cob) ดินเหนียว (Clay) ขี้เถ้าลอย (Fly Ash) High Molecular Weight Amine ปูนขาว (Lime) และ กากถั่วเหลือง (Soybean Hull)

Asfour และ คณะ, 1985 ทำการวิจัยโดยใช้ขี้เถ้าไม้เนื้อแข็งที่มีความชื้น 13% เป็นตัวดูดซับสีของสารละลายเจือจางของสีย้อม การทดลองทำเป็น Batch โดยใช้สารละลายสี Astrazone Blue (Basic Blue FRR69) ศึกษาผลของการกวน อุณหภูมิ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสี และ ขนาดของอนุภาคขี้เถ้า ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสี จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการกำจัดสีของขี้เถ้าในสารละลายสีที่มีความเข้มข้น 200 mg/dm^3 สูงถึง 85% ที่เวลาสัมผัส 100 นาที อุณหภูมิ 80°C โดยใช้ขี้เถ้าไม้เนื้อแข็งที่มีขนาด \varnothing 200-500 mm

ตาราง 2.8 แสดงความสามารถในการดูดซับสีของขี้เถ้าไม้เนื้อแข็ง

ความเร็วรอบในการกวน(รอบ/นาที)	100	200	400	800
ความสามารถในการดูดซับสี (q; mg dye/g wood)	40	48	55	65
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น(mg/dm^3)	100	150	200	250
ความสามารถในการดูดซับสี (q; mg dye/g wood)	42	48	58	65
ขนาดของอนุภาค(mm)	63-125	125-250	250-500	500-1000
ความสามารถในการดูดซับสี (q; mg dye/g wood)	75	60	57	50
อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	25	40	60	80
ความสามารถในการดูดซับสี (q; mg dye/g wood)	85	70	68	60

Gupta และ Bhattacharya, 1985 ศึกษาการกำจัดสีของโรงงานฟอกเยื่อกระดาษโดยใช้ ขี้เถ้าลอย (Fly Ash), Kemamine T 1902D (High molecular weight amine) และ ปูนขาว (Lime) โดยทำการทดลองแบบ Batch จากผลการทดลองพบว่า ขี้เถ้าลอยสามารถกำจัดสีได้ 94% ส่วนสารเอมีนมีความสามารถในการกำจัดสีได้ดีกว่าขี้เถ้าลอยคือ ประมาณ 97% แต่มีราคาสูงกว่ามาก และสำหรับปูนขาว กำจัดสีได้ 90%

Nassar และ El-Geundi, 1991 ศึกษาค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกเยื่อด้วย

ตัวดูดซับที่มาจากธรรมชาติ วัสดุธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวดูดซับ คือ คินเหนียว ชานอ้อย และ ชังข้าวโพด เปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) สีที่ใช้ในการทดลองได้แก่ Telon Blue ANL (acid dye : $\lambda_{max} = 600 \text{ nm}$) , Maxilon Red BL-N (Basic dye : $\lambda_{max} = 535 \text{ nm}$) and Astrazone Blue FRA (Basic dye : $\lambda_{max} = 585 \text{ nm}$) การทดลองทำเป็น Batch โดยใช้ตัวดูดซับที่มีปริมาณเท่ากันในแต่ละ Batch แล้วแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายสี ที่อุณหภูมิ 23-27°C คัดค่าใช้จ่ายของวัสดุแต่ละชนิดเทียบกับ Activated carbon ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากัน ได้ผลดังตาราง 2.11

ตาราง 2.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์

สารละลายสี	ตัวดูดซับ	ค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบ เมื่อใช้กำจัดสี 1 kg
Maxilon Red	ผงถ่านกัมมันต์	1.000
	คินเหนียว	0.024
	ชังข้าวโพด	0.083
	ชานอ้อย	0.103
Astrazone Blue	ผงถ่านกัมมันต์	1.000
	คินเหนียว	0.017
	ชังข้าวโพด	0.039
	ชานอ้อย	0.041
Telon Bkue	ผงถ่านกัมมันต์	1.000
	คินเหนียว	0.030
	ชังข้าวโพด	0.029
	ชานอ้อย	0.052

Meyer และ คณะ, 1992 ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมโดยใช้วัสดุทางธรรมชาติมาเป็นตัวดูดซับ วัสดุที่ใช้ได้แก่ ถ่านหินบาร์บีคิว (barbecue charcoal) พีชเส้นใย (vermiculite) ขี้เลื่อย (sawdust) ชังข้าวโพด (maize stack) ทราย (sand) ผักเน่า (peatmoss) และ เปลือกข้าว (rice husks) ในการทดลองได้มีการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุแต่ละชนิด พบว่า วัสดุทุกชนิดสามารถกำจัดสีได้มากกว่า 50 % แต่วัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ถ่านหินบาร์บีคิวและเปลือก

ข้าว มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 67 % และ 65 % ตามลำดับ จากผลการทดลองในขั้นต้น ได้นำ ถ่านหินบาร์บิคิวมาทดลองหาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านหินบาร์บิคิวโดย แปรค่าพีเอชจาก 4 ถึง 9 พบว่าในช่วงพีเอชระหว่าง 5 ถึง 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านหินบาร์บิคิวค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ ได้ทำการทดลองแบบ fixed-bed reactor เพื่อบ่งชี้ความสามารถในการดูดซับ ของถ่านหินบาร์บิคิวโดยให้น้ำไหลจากบนลงล่าง และมีเวลากักน้ำเท่ากับ 1.6 ชั่วโมง พบว่าถ่านหิน จะอิ่มตัวเต็มที่เมื่อวันที่ 25 ของการทดลอง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 82 %

Low และ คณะ, 1993 ทำการวิจัยโดยใช้เส้นใยลูกปลาล์มในการกำจัด ทองแดง (Cu^{2+}) การวิจัยทำ เป็น Batch Experiments และมีการปรับปรุงคุณภาพในการกำจัดโลหะหนักของเส้นใยลูกปลาล์มด้วยวิธี ทางเคมี จากผลการทดลองพบว่า เส้นใยลูกปลาล์มสามารถใช้ในการกำจัดทองแดงได้ โดยเส้นใยที่ผ่านการ ปรับปรุงคุณภาพแล้ว สามารถกำจัดทองแดงได้ 90% การดูดซับทองแดงนี้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ของน้ำเสียที่จุดเริ่มต้น และการกำจัดโลหะหนักจะกระทำได้ดีที่พีเอชสูง

Laszlo และ Dintzis, 1994 ทำการวิจัยปรับปรุงเสถียรภาพทางกายภาพ และความสามารถใน การแลกเปลี่ยนไอออนบวกของกากถั่วเหลือง (Soybean Hull) และ ชานอ้อย(Sugar beet fiber) ด้วยการ สร้าง Crosslink โดยใช้ Epichlorohydrin และ เบส ทดสอบเสถียรภาพของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยวิธี ทางเคมี 3 วิธี คือ NDF Test (Natural Detergent Fiber Treatment) , Soxhlet Treatment และ Sodiumborate buffer Treatment พบว่า กากถั่วเหลืองและชานอ้อย ที่ไม่ได้ผ่านการสร้าง Crosslink มี ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่ง ในขณะที่กากถั่วเหลืองและชานอ้อย ที่ ผ่านการสร้างCrosslink มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงน้อยมาก ไม่เกิน 1% เมื่อ ทดสอบด้วยวิธี NDF และ Soxhlet ไม่เกิน 20% และ 30% ตามลำดับ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Sodium borate buffer พบว่า กากถั่วเหลือง และ ชานอ้อยที่ผ่านการบำบัดด้วย Epichlorohydrin จะมีความ สามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.9 meq/g (dry weight) และ 1.3 meq/g (dry weight) ตาม ลำดับ

Mehna และ คณะ, 1995 ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อกระดาษ (Pulp Mill Effluent) โดยใช้เชื้อรา Trametes Versicolor Strain B7 ร่วมกับผลผลิตทางการเกษตรและสาร อื่นๆ คือ กลูโคส แอทานอล คาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส และ ชานอ้อย ผลการทดลองสรุปได้ว่า

พืเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วยเชื้อราชนิดนี้คือ 4.5 ถึง 5.0 และ อุณหภูมิ 25 °C ถึง 30°C ในการทดลองใช้ความเข้มข้นสีเท่ากับ 18.500 หน่วย สามารถกำจัดสีได้ 92% และกำจัด COD ได้ 69%

Laszlo, J.A., 1996 ทำการวิจัยโดยใช้ซานอ้อยกำจัดสีในน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม โดยนำซานอ้อยที่ผ่านการทำ Quaternized และ Crosslinked ด้วย N-(3-chloro-2-hydroxypropyl) trimethylammonium chloride และ Epichlorohydrin เป็นเรซินที่ใช้ในการกำจัดสีเปรียบเทียบกับ Delinified Bagasse Resin และ Quarternary ammonium Cellulose (QA52) สีที่ใช้ในการวิจัยคือ Remazol Brilliant Red (F3B) ทำการทดลองแบบ Batch จากการวิจัยพบว่า Quaternized-Crosslinked Bagasse มีความสามารถในการกำจัดสีในสถานะที่เป็นเบสดีกว่า QA52 และ Delinified Bagasse ดังนี้ ในสารละลายที่มีความเป็นเบสมากขึ้น (NaOH เข้มข้น 0.1, 0.25, 0.5 และ 1.0 mol) ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ Quaternized-Crosslinked Bagasse ลดลงจาก 80% เป็น 25% ส่วน QA52 และ Delinified Bagasse Resin ประสิทธิภาพลดลงจาก 70% เป็น 10% และ 85% เป็น 5% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เรซินที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ดีที่สุด คือ กำจัดได้ 95% ภายในเวลา 5-15 นาที ควรมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 μm

Li และ Hang, 1996 ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม โดยใช้ขบวนการ TiO_2 -Sensitized Photooxidation โดยนำตัวอย่างน้ำเสียมาสัมผัสกับรังสีอุลตราไวโอเลต (UV) ที่ความยาวคลื่น 350 nm และมี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สีส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทดลอง สามารถย่อยสลายได้ด้วย Senitized Photooxidation โดยกำจัดสีได้ 95% นอกจากนี้พบว่า COD TOC และ BOD มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน คือ ในขณะที่ COD และ TOC ในน้ำเสียลดลงระหว่างเกิดปฏิกิริยา BOD จะเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า กระบวนการ TiO_2 -Sensitized Photooxidant สนับสนุนการย่อยสลายสีในน้ำทิ้ง

Gang และ Xu, 1997 ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีของก้านดอกทานตะวัน โดยใช้สีเบสิก 2 สี คือ Methylene Blue และ Basic Red 9 และ สีไคเร็กซ์ 2 สี คือ Direct Blue และ Congo Red ทำการทดลองโดยแปรค่าความเข้มข้นของสี ขนาดอนุภาคของวัสดุ และ ส่วนต่างๆของก้านดอกทานตะวัน จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการดูดซับสีเบสิกทั่ว 2 สีสูงมาก คือเท่ากับ 205 และ 317 mg/g ของสี Methylene Blue และ Basic Red 9 ต่อวัสดุ ตามลำดับ สำหรับสีไคเร็กซ์มีความสามารถ

ในการดูดซับสีเท่ากับ 26.8 และ 37.8 mg/g ของสี Direct Blue และ Congo Red ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับสีของส่วนต่างๆของก้านดอกทานตะวันยังแตกต่างกันอีกด้วย ที่แก่นของก้านซึ่งเป็นส่วนที่นุ่ม และมีรูพรุน จะมีความสามารถในการดูดซับสีเป็น 2 เท่าของเปลือก นอกจากนี้ ขนาดอนุภาคของวัสดุมีผลต่อการดูดซับสีด้วย อนุภาคขนาดเล็กจะมีความสามารถในการดูดซับสีมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ โดยสรุป อัตราการดูดซับสีเบสิคทั้ง 2 ชนิดจะมากกว่าสีไคเรกซ์ คือ ภายในเวลา 30 นาที สีเบสิคถูกกำจัดได้ 80%