

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 การมองเห็นสี

การมองเห็นสีจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีองค์ประกอบสี่ประการคือ แสง วัตถุ(สี) นัยน์ตาของผู้มองเห็น และสมองที่จะวิเคราะห์หรือตีความสิ่งที่เห็นส่วนแสง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ค้นกำเนิดแสงอาจมาจากดวงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิดแสงอื่นที่มนุษย์เป็นผู้สร้างขึ้นก็ได้ ช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์สามารถรับภาพได้อยู่ในช่วงประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร ในปี ค.ศ. 1666 Sir Isaac Newton ได้ค้นพบว่าสีทั้งหมดรวมกันอยู่ในแสงธรรมชาติ โดยแสงธรรมชาติหรือแสงแคดสามารถถูกแยกออกโดยการให้แสงส่องผ่านปริซึม ซึ่งจะทำให้เกิดการแบ่งสีตามลักษณะความยาวคลื่นคือ สีม่วง สีนํ้าเงิน สีนํ้าเงิน-เขียว สีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง

2.2 สีย้อม

สีย้อมที่นำมาใช้ในการย้อมเส้นใยมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527) การที่จะนำสีย้อมใดๆ มาย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำ เราจะสามารถทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติดเส้นใยได้เอง (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้อย่างกว้างๆ ว่าอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิดที่ทำให้สีย้อมติดเส้นใยคือ

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

กำลังแรงเหล่านี้มักไม่ทำหน้าที่เพียงลำพัง การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน สำหรับแรงยึดติดทางเคมีที่จะให้การยึดติดที่ดีที่สุด ได้แก่ พันธะ โควาเลนต์

การยึดติดของโมเลกุลของสีเชื่อมกับโมเลกุลเส้นใยนอกจากจะเป็นอิทธิพลเชิงเคมีของแรงทั้ง 4 ชนิดแล้ว อิทธิพลด้านเรขาคณิตหรือด้านรูปร่างและขนาดของสีก็มีผลต่อการยึดติดอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีเชื่อมยังเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะทำให้การติดสีดีขึ้น เป็นต้น

2.2.1 การเกิดของสีเชื่อม

สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกตินมองเห็น ได้เกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีเชื่อม 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) : $>\text{C}=\text{C}<$
- 5) กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group) : $>\text{C}=\text{O}<$
- 6) กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (carbonyl-nitrogen group) : $\text{C}=\text{NH}$ และ $-\text{CH}=\text{N}-$
- 7) กลุ่มซัลเฟอร์ (sulphur group) : $>\text{C}=\text{S}$ และ $>\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{C}<$

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแสงสีขาวไว้บางแถบแสงและปล่อยออกมาในบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีเชื่อมมีโทนสีแตกต่างกันไปสีเชื่อมโดยทั่วไปนอกจากกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องมีกลุ่มอะตอมอีกชนิดหนึ่งได้แก่ กลุ่มอะตอม “ออกโซโครม” (auxochromes) อันได้แก่ $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{NHR}$, $-\text{NR}_2$, $-\text{SO}_3$ และ $-\text{COOH}$ เพื่อให้สีเชื่อมสามารถทำปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลใดที่ปราศจากกลุ่มอะตอมออกโซโครม โมเลกุลนั้นจะแสดงสมบัติของสีออกมาได้แต่จะขาดสมบัติในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า “โครมาเจน” (chromagen) ยกตัวอย่างเช่น สีเชื่อมอะมิโนเอโซเบนซีน (aminoazobenzene dyestuff) มีสูตรโมเลกุลคือ $\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\text{N}-$ กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์คือ $-\text{N}=\text{N}-$ กลุ่มอะตอมออกโซโครมคือ $\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$ และ โมเลกุลที่เรียกว่าโครมาเจน คือ $-\text{N}=\text{N}-$ ทั้งกลุ่มโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาแบ่งกลุ่มของสีเชื่อมตามสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

2.2.2 การจำแนกสีย้อม (อัจฉราพร, 2527)

จำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพได้ 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่าสีย้อม (dyes) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายเรียกว่าพิกเมนต์ (pigments) น้ำเป็นตัวละลายที่ถูกต้องที่สุดดังนั้น แม้ว่าสีบางตัวไม่ละลายในน้ำแต่สามารถละลายในสารตัวอื่น โรงงานผู้ผลิตจะต้องพยายามค้นหาวิธีที่ทำให้สีตัวนั้นละลายในน้ำให้ได้ สีเมื่อละลายน้ำแล้วจะดูดซึมเข้าไปในเส้นใย บางตัวจะติดเส้นใยได้ดีพอสมควร ทนการซักและกระบวนการใช้น้ำอื่นๆ บางตัวจะมีพันธะหรือโซ่ (linkage) เชื่อมโยงอยู่ระหว่างเส้นใยกับตัวสีทำให้ติดทนทานยิ่งขึ้น

พิกเมนต์ไม่ละลายน้ำ ย้อมเส้นใยให้เกิดสีได้แบบเดียวกับสีย้อมโดยให้พิกเมนต์กระจายตัว (disperse) หรือบางครั้งก็ละลายในเรซิน ยึดติดเส้นใยได้โดยเชิงกล มีบางตัวเหมือนกันที่ติดเส้นใยโดยทางเคมี เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเป็นการยากที่จะทราบว่าเป็นสีย้อมและตัวไหนเป็นพิกเมนต์ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีสีย้อมบางตัวที่เวลาจะย้อมจะต้องทำให้ละลายเสียก่อน เมื่อทำการย้อมแล้วจึงเปลี่ยนเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำภายในเส้นใยซึ่งก็จะกลายเป็นพิกเมนต์ ทำให้การแบ่งแยกเช่นนี้เกิดความสับสน

การจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี ยังมีความยุ่งยากมากขึ้นไปอีก สีเท่าที่ผลิตออกมาจำหน่ายในขณะนี้ สีในกลุ่มเคมีเดียวกันมีวิธีย้อมแตกต่างกันใช้กับเส้นใยต่างกัน เช่น สีในกลุ่มเอโซ บางตัวย้อมง่าย ๆ โดยตรงเป็นสีไดเรกต์ (direct dyes) บางตัวจะติดได้เมื่อน้ำย้อมมีภาวะเป็นกรดก็เป็นสีแอซิด (acid dyes) บางตัวจำเป็นต้องมีสารบางอย่างมาช่วยจึงจะติดเส้นใยได้ก็เรียกว่าสีมอร์ดนต์ (mordant dyes) จะเห็นได้ว่าจดจำได้ยาก การจำแนกตามวิธีเคมีคือเรียกตามกระบวนการย้อมบ้าง ตามลักษณะของสีบ้าง ให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้เป็นอันมาก การจำแนกวิธีนี้จึงเป็นที่ยอมรับกันในบรรดาผู้ใช้และอุตสาหกรรมการผลิตสี แม้แต่สมาคมผู้ย้อมและผู้ผลิตสี (The Society of Dyers and Colourists) ก็ยอมรับว่าเป็นวิธีจำแนกสีที่เหมาะสมที่สุด หนังสือครรชนีสี (colour index) ก็ใช้การจำแนกวิธีนี้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมีก็ยังมีประโยชน์ในการที่จะกล่าวถึงกลไกการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียด้วย จึงจะนำเสนอการจำแนกสีย้อมทั้งตามโครงสร้างเคมี และ ตามลักษณะการใช้งาน 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

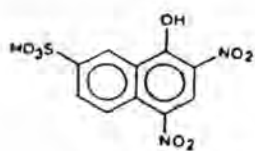
5.4) Anthraquinonoid-Acid Dyes

- 6) Sulfur Fusion Dyes
- 7) Amind Oxidation Colorants
- 8) Phthalocyanine Colorants
- 9) Onium Dyes
- 10) Reactive Dyes
- 11) Pigments

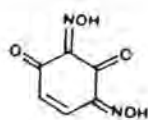
การจำแนกสีขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี แสดงตัวอย่างสี และ ลักษณะโครงสร้างดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี (Rangnekar, 1980)

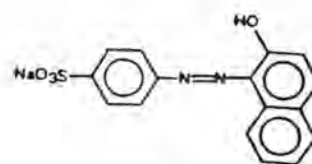
Class	Subclass	Example	Structure
Nitro	-	Naphthol yellow S	(39)
Nitroso	-	Fast Green O	(40)
Azo	Monoazo	Acid Orange II	(41)
	Bisazo	Congo Red	(42)
	Trisazo	Direct Black EW	(43)
	Polyazo	-	
	Mordant azo	Eriochrome Black T	(44)
	Stilbene azo	Chrysophenine G	(45)
	Pyrazolone azo	Tartrazine	(46)
Dipharmethana	-	Auramine O	(47)
Triphenylmethane	-	Malachite Green	(48)
Xanthene	-	Fluorescein	(49)
Acridine	-	Acridine Orange NO	(50)
Thiazole	-	Basic Yellow T	(51)
Indamine&Indophenol	-	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)
Lactone	-	Resoflavine W	(59)
Aminoketone	-	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)
Phthalocyanine	-	Monastral Fast Blue BS	(65)



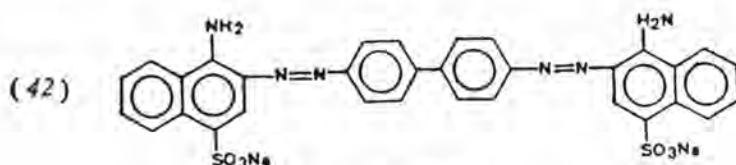
Naphthol yellow S
(39)



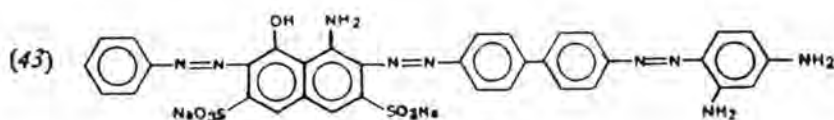
Fast Green O
(40)



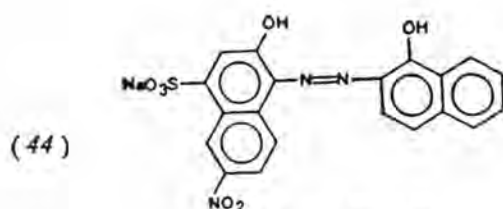
Acid Orange II
(41)



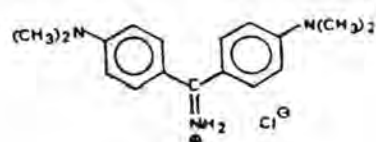
Congo Red



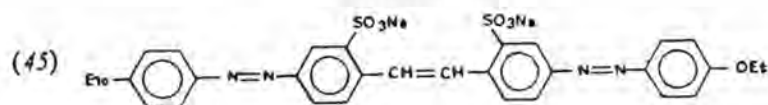
Direct Black EW



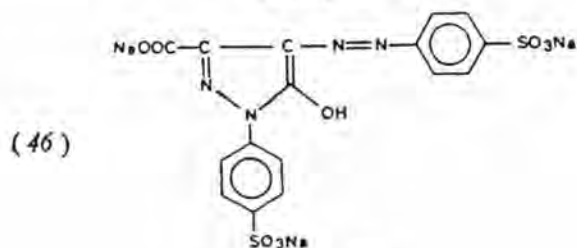
Eriochrome Black T



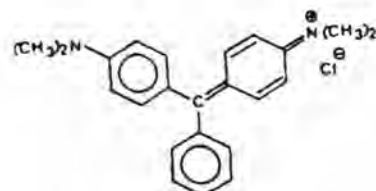
Auramine O
(47)



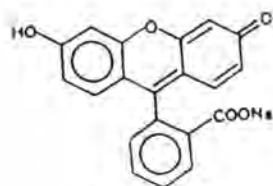
Chrysophenine G



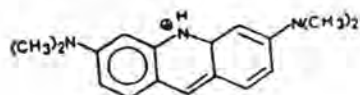
Tartrazine



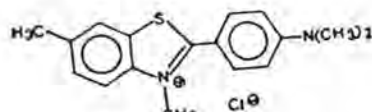
Malachite Green
(48)



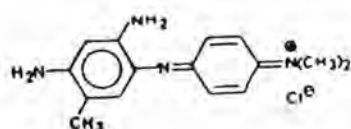
Fluorescein
(49)



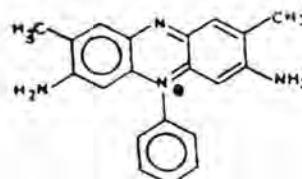
Acridine Orange NO
(50)



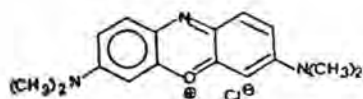
Basic Yellow T
(51)



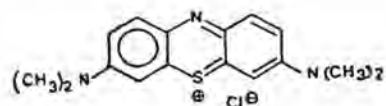
Toluylene Blue
(52)



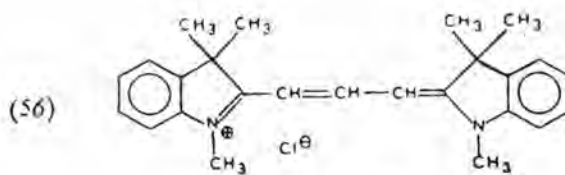
Safranin T
(53)



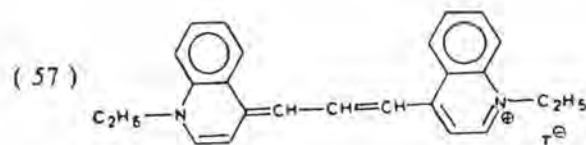
Capri Blue GN
(54)



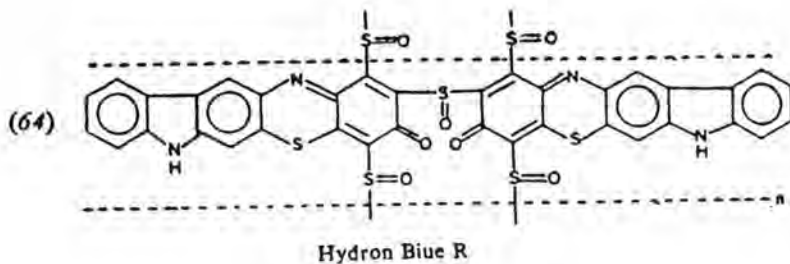
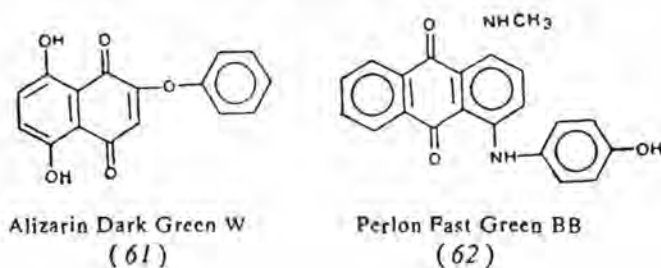
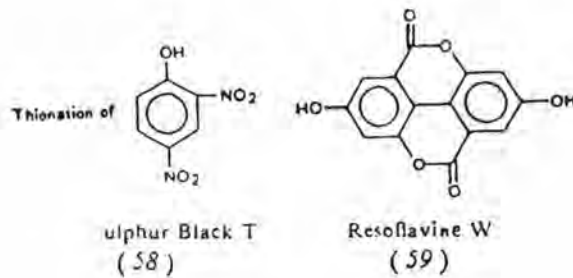
Methylene Blue
(55)



Astraflaxine FF



Kryptocyanine



ข) การจำแนกสีข้อมตามลักษณะการใช้งาน

การจำแนกสีข้อมตามลักษณะการใช้งาน แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมี เส้นใยที่เหมาะสมกับสีข้อม และ พันธะหรือกลไกการติดสี แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน (Buckley, 1992)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมแอซิด (acid dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 3-5 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50 - 110 °C
สีย้อมเมทัลคอมเพล็กซ์แอซิด (metal complex acid dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำน้อย - สีติดแน่นดี	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 5-7 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50 - 110 °C
สีย้อมไดเรกต์ (direct dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายค่างอ่อน - เติมอิเล็กโตรไลต์โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และ สีย้อมที่อุณหภูมิ 98 °C
สีย้อมเบสิก (basic dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี	- อะคริลิก	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4 - 6 - เติมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 100-105 °C
สีย้อมดิสเพอร์ส (disperse dyes)	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยมาก - กระจายอยู่ในน้ำเป็นอนุภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- อีคลีริค - โพลีเอสเตอร์ - ไนลอน - เซลลูโลส - อะซิเตด	- คอลลอยด์ของสีย้อมดูดติดผิวเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4.5 - เติมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 130 °C

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ประเภทสี ย้อม	สมบัติทางกาย ภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมรีแอคทีฟ (reactive dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดแน่น	- ฝ้าย - ขนสัตว์ - วิตคอต	- พันธะโควาเลนต์	- แห้งเส้นใยในสารละลายกรด - เติมเกลือเพื่อกระจายสีสู่เส้นใย - เติมค่า่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย
สีย้อมซัลเฟอร์ (sulphur dyes)	- เป็นคอลลอยด์ หลังเกิดปฏิกิริยา ในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิตคอต	- ปฏิกิริยาตกตะกอนผลึก ภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายค่า่างที่มีโซเดียม ซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโทรไลต์
สีย้อมแวท (vat dyes)	- เป็นคอลลอยด์ หลังเกิดปฏิกิริยา ในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิตคอต	- ปฏิกิริยาตกตะกอนผลึก ภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายค่า่างที่มีโซเดียม ซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโทรไลต์
สีย้อมเอโซอิก (azoic dyes)	- เป็นคอลลอยด์ หลังเกิดปฏิกิริยา ในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิตคอต	- ปฏิกิริยาตกตะกอนผลึก ภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายค่า่างที่มีโซเดียม ซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโทรไลต์ - คัมเพื่อให้เกิดตะกอนผลึก
สีย้อมมอร์แดนต์หรือโครม (mordant or chrome)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดแน่น	- ขนสัตว์	- คอลลอยด์ ของสีย้อมดูด ติดผิวเส้นใย	- แห้งเส้นใยในสารละลายกรด - เติมโซเดียมไดโครเมต และ สีย้อม - เพิ่มอุณหภูมิถึง 98 °C

ความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยต่างๆ ทำให้ต้องใช้สีย้อมแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเส้นใยและหมู่ไอออนของเส้นใยกับชนิดของสีย้อมที่ใช้

ตาราง 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับประเภทของสีย้อมที่ใช้ (Johnson, 1989)

เส้นใย	Functional group	สีย้อมที่ใช้
ขนสัตว์	NH ₂ , COOH, CONH	เอซิด, Metal complex, Chrome, รีแอคทีฟ
ไหม	NH ₂ , COOH, CONH	เอซิด, Metal complex, เบสิด, แวต
Crupromonium Rayon	OH, COOH	ไดเรกต์, แวต, ซัลเฟอร์
วิสคอส เรซอน	OH, COOH	ไดเรกต์, แวต, ซัลเฟอร์, รีแอคทีฟ
ฝ้าย	OH	ไดเรกต์, แวต, 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, ไดเรกต์, ดิสเพอร์ส, รีแอคทีฟ
อะคริลิก	COOH, SO ₃ H, OSO ₃ H	เบสิด, ดิสเพอร์ส
โพลีเอสเตอร์	OH, COOH, COO	ดิสเพอร์ส

2.2.3 สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

ประวัติของสีรีแอคทีฟ

ในปี 1884 ได้มีการค้นพบสีย้อมที่สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้โดยตรง ได้แก่ สีแวนด์ และ สีซัลเฟอร์ ความพยายามในช่วงต่อมา คือ การทำให้สีที่ไม่ละลายน้ำเหล่านี้สามารถละลายน้ำและติดกับเส้นใยได้ นอกจากนี้ยังมีการค้นคว้าเพื่อหาวิธีย้อมให้สีเกิดปฏิกิริยาโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลส นักค้นคว้าได้พยายามทุกวิถีทาง ตั้งแต่การใช้สารเคมีราคาแพง กระบวนการย้อมสีที่สลับซับซ้อน ใช้สารทำลายที่อันตราย แต่ความพยายามต่างๆ เหล่านี้กลับไม่เกิดผลในทางเทคนิคเลย จวบจนช่วงต้นของทศวรรษที่ 50 คือในปีค.ศ. 1952 ได้มีการวางจำหน่ายสีไวนิลซัลโฟน (vinylsulphone) ที่ทำปฏิกิริยาติดกับเส้นใยจำพวกขนสัตว์ (wool) ต่อมาบริษัทอิมพีเรียลเคมีคอลอินคอร์ปอเรชัน (ICI) ประสบความสำเร็จในการคิดค้นกระบวนการย้อมเส้นใยฝ้ายด้วยสีรีแอคทีฟ และได้วางจำหน่ายสีรีแอคทีฟชนิดแรกในปีค.ศ. 1956 คือ สี Procion

คุณสมบัติทั่วไปของสีรีแอคทีฟ

สีรีแอคทีฟเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH^- ในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์ เพื่อสร้างเป็นสารประกอบครอสส์ลิงก์ (Crosslink Compound) กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้เป็นสีที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและการขัดถู

โครงสร้างเคมีของสีรีแอคทีฟ

กลุ่มเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นสีรีแอคทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปได้ดังนี้

S – D – T – X

- โดย S คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลโฟเนต $(-\text{SO}_2\text{Na})$ ซึ่งอยู่ติดกับกลุ่มโครโมฟอร์
- D คือ กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่า กลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophore)
- T คือ กลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างกลุ่มสีรีแอคทีฟกับกลุ่มโครโมฟอร์ (Bridging group) เช่น กลุ่ม $-\text{NH}-$, $-\text{NHCO}-$, $-\text{SO}_2-$, $-\text{NHSO}_2-$ และ $-\text{NCH}_3-$ เป็นต้น
- X คือ กลุ่มรีแอคทีฟ (Reactive group) ซึ่งจะเป็นกลุ่มที่ทำให้สีทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใย

ในบางกรณี กลุ่มสีรีแอคทีฟก็จะติดกับกลุ่มโครโมฟอร์โดยตรง ไม่ต้องมีตัวเชื่อมก็ได้ และกลุ่มรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะเป็นสาร heterocyclic ring ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบของ heterocyclic ring มีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยา และคุณสมบัติอื่นๆ ของสี จากส่วนประกอบดังที่กล่าวมานี้ พบว่า มีสองส่วนที่สำคัญ คือ สารที่ทำให้เกิดสี (Chromophore) และกลุ่มรีแอคทีฟ (Reactive group) โดยส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสีรีแอคทีฟ

ในกระบวนการฟอกย้อมสีรีแอคทีฟ มีจุดประสงค์สำคัญคือ การทำให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้มากที่สุด และเกิดการไฮโดรไลสในน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้ไม่เพียงเพื่อเป็นการประหยัดเท่านั้น ยังทำให้เส้นใยไม่คุดสีที่ไฮโดรไลสแล้วเข้าไปในเส้นใยซึ่งจะทำให้ไม่คงทนเมื่อผ่านกระบวนการใช้น้ำ เพราะถ้าให้สีไฮโดรไลสมาก การซักในขั้นสุดท้ายก็ทำให้สะอาดหมดจดได้ยาก จึงจำเป็นต้องซักเอาสีพวกนี้ออกให้หมด เพื่อจะทำให้สีไม่ตกเวลาใช้

การไฮโดรไลสของสีนั้น คือ การทำปฏิกิริยาของสีกับไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำ มักเป็นปฏิกิริยาที่แข่งขันกับการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย ปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยสามารถเกิดได้ก็ต่อเมื่อ สีสามารถซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้น ความเร็วของปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการซึมเข้าไปในเส้นใยของสี อัตราส่วนของความเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย และระหว่างสีกับน้ำ จะมีค่าคงที่สำหรับสีหนึ่งๆ แม้ในช่วงค่อนข้างกว้างของพีเอชที่เป็นค่า

ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยขึ้นกับ

1. อัตราส่วนของความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยต่อความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับน้ำ
2. ความเข้มข้นสัมพัทธ์ระหว่างสีที่ถูกซึมเข้าไปในเส้นใยและสีที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ
3. สัมประสิทธิ์การแพร่ของสีเข้าไปในเส้นใย
4. ปริมาณน้ำ พบว่ายิ่งปริมาณน้ำน้อยจะเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย
5. พื้นที่ผิวของเส้นใยสำหรับให้สีได้ถูกซึม

จะเห็นว่าคุณสมบัติพื้นฐานของสีมีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสีกับเส้นใย ดังนั้นวิธีการย้อมสำหรับสีแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันไป และตัวแปรที่ใช้ควบคุมก็จะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถแบ่งสีรีแอคทีฟได้เป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของตัวแปรที่ใช้ควบคุมการย้อมได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สีรีแอคทีฟที่ใช้ค่าเป็นตัวควบคุม (Alkali-controllable reactive dyes)

สีย้อมในกลุ่มนี้ต้องการอุณหภูมิในการย้อมประมาณ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส สีย้อมกลุ่มนี้มีลักษณะที่สำคัญคือ จะมีสีย้อมหลงเหลือในน้ำหลังการย้อมซึ่งมีสารละลายเกลือที่เป็นกลางอยู่ และยังไม่ได้เค็มค่า สีย้อมเหล่านี้จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นเมื่อมีการเค็ม

ค่า ดังนั้นระดับการทำปฏิกิริยาจะสามารถควบคุมได้ด้วยปริมาณค่าที่เติมให้ ตัวอย่างของสีกลุ่มนี้จะมีกลุ่มรีแอคทีฟพวก dichlorotriazine chlorodifluoropyrimidine dichloroquinoxalinmet vinylsulphone

กลุ่มที่ 2 สีรีแอคทีฟที่ใช้เกลือเป็นตัวควบคุม (Salt-controllable reactive dyes)

สีข้อมในกลุ่มนี้ต้องใช้อุณหภูมิในการข้อมประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนถึงน้ำเดือด สีข้อมกลุ่มนี้จะมีหลงเหลือมากในน้ำหลังการข้อมที่พอเป็นกลาง ดังนั้นระดับเกลือที่เติมให้จึงมีความสำคัญมากต่อระดับการทำปฏิกิริยาของสีในการข้อม สามารถใช้เป็นตัวควบคุมการข้อมสีได้ สีข้อมประเภทนี้มักจะมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาค้ำเช่นสีข้อมที่มีกลุ่มรีแอคทีฟ trichloropyrimidine aminochlorotriazine หรือ bis (aminochlorotriazine) ส่วนสีข้อม aminofluorotriazine (Cibacron) มีลักษณะที่จัดอยู่ในกลุ่มเช่นกัน แต่การข้อมสีข้อมกลุ่มนี้กลับมีประสิทธิภาพดีเมื่อข้อมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า โดยใช้กระบวนการข้อมแบบเท (batchwise)

กลุ่มที่ 3 สีรีแอคทีฟที่ใช้อุณหภูมิเป็นตัวควบคุม (Temperature-controllable reactive dyes)

สีข้อมกลุ่มนี้จะมีคุณสมบัติทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือด ในสถานะที่ไม่มีค่า แม้ว่าการใช้งานจริงสามารถใช้สถานะการข้อมเดียวกับสีในกลุ่ม 2 ร่วมกับการใช้ค่าที่อุณหภูมิ 80 ถึง 100 องศาเซลเซียส สีข้อมประเภทนี้มีระดับการทำปฏิกิริยาของแต่ละสีเอง สารช่วยข้อมอื่นๆ ไม่มีความจำเป็นเท่าใดนัก การข้อมให้ได้ผลดีเพียงแต่ควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่านั้นก็พอ ในปัจจุบันสีข้อมในกลุ่มนี้มีเพียงสีในกลุ่ม Kayacelon React ซึ่งมีโครงสร้างกลุ่มรีแอคทีฟเป็น bis (aminonicotinotriazine) เป็นองค์ประกอบ

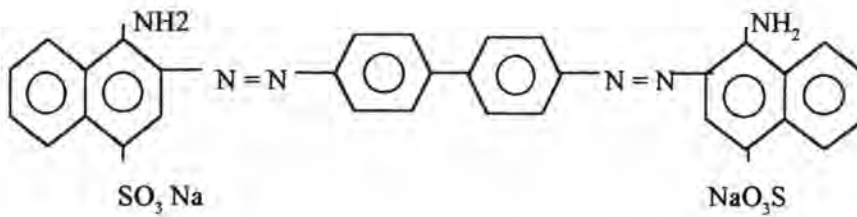
2.2.4 สีข้อมไครเรกต์ (Direct dyes) (Trotman, 1975 อ้างถึงใน ชัยยุทธ, 2531)

สีไครเรกต์ส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลโฟเนต (sulphonate) ประเภทเอโซ (azo) ที่สามารถละลายน้ำได้ ในบรรดาสีที่ใช้ข้อมสิ่งทอ สีไครเรกต์เป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุดสีแต่ละตัวในกลุ่มนี้มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานไม่เท่ากัน ซึ่งมีสมบัติเฉพาะในการซึมติดเส้นใยได้ในตัวเอง (substantivity) จึงเหมาะสมกับการข้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน เป็นต้น สีไครเรกต์ผลิตออกจำหน่ายครั้งแรกในพ.ศ. 2427 โดยบริษัทบอททิงเจอร์ (Bottiger) มีสีแดงเรียกว่า คองโก เรด (congo red) สามารถข้อมผ้าได้ทันทีไม่ต้องข้อมผ้าด้วยสารช่วยติดเหมือนตัวอื่นๆ ซึ่งใช้กันอยู่ก่อนจึงเรียกว่า สีไครเรกต์ หรือสีข้อมโดยตรง อย่างไรก็ตามบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตออกใช้งานนั้นจะมีชื่อการค้าแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิต เช่น Durazol (ไอ. ซี. ไอ.) Solar (ไบเออร์) Solophenyl (ซียา-โกกี) Tavidirect (จีเรวัตร์ ไคย์สตัฟ) เป็นต้น และใช้กันอยู่มี 7 กลุ่ม แบ่งตาม โครงสร้างทางเคมีดังนี้

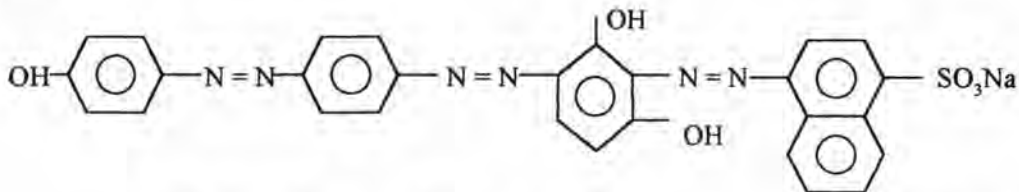
1. กลุ่มโมนาโซ (Monazo) ตัวอย่างได้แก่ diazomine scarlet 5B (C.I. direct red 14) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



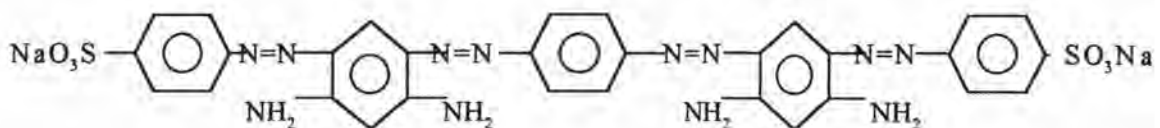
2. กลุ่มบีสเอโซ (Bisazo) ตัวอย่างได้แก่ original congo red (C.I. direct red 28) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



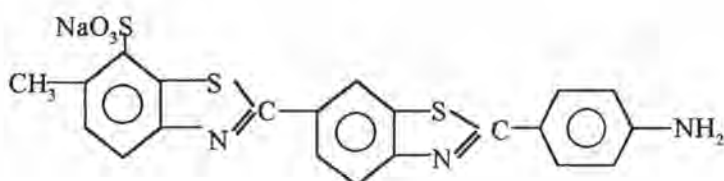
3. กลุ่มทริสเอโซ (Trisazo) ตัวอย่างได้แก่ congo brown R (C.I. direct brown 21) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



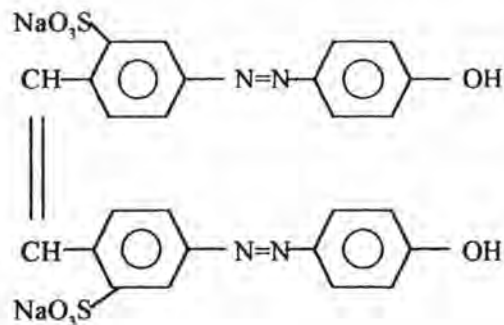
4. กลุ่มโพลีเอโซ หรือ เททระคิสเอโซ (polyazo or tetrakis azo) ตัวอย่างได้แก่ chloazol brown GM (C.I. direct brown 44) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



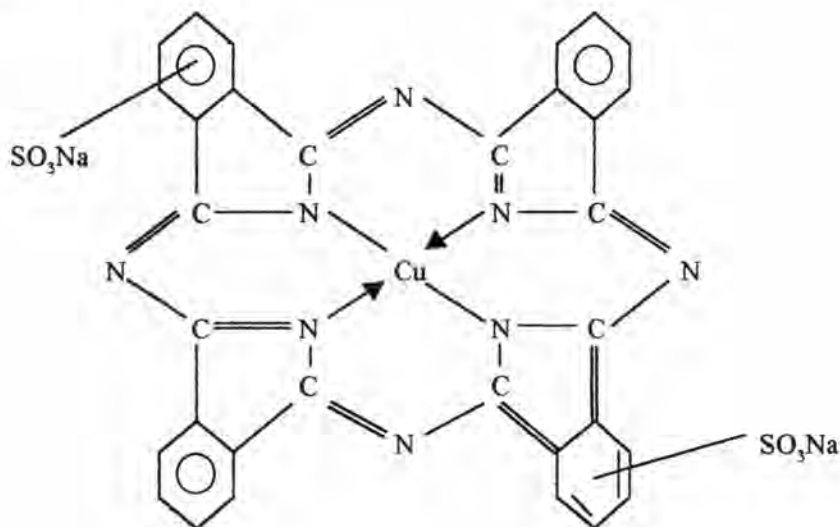
5. กลุ่มไทเอโซล (thiazole) เป็นกลุ่มที่เตรียมได้จากพริมูลิน (primuline) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



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



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



ทฤษฎีการย้อมสีไครเรนท์

การย้อมสีไครเรนท์กับผ้าใยเซลลูโลสเป็นการดูดติดทางกายภาพเพราะ โครงสร้างของ เซลลูโลสไม่มีกลุ่มเคมีคอนปลายที่จะรวมตัวกับเกลือในโครงสร้างสีได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างโมเลกุลกับการดูดติดเส้นใยนั้นพอสรุปได้ดังนี้

1. สีย้อมจะต้องมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นแนวตรง และ อยู่ในระนาบเดียวกัน
2. โมเลกุลสีต้องมีหมู่เคมีที่ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้
3. ควรมีจำนวนหมู่เคมีที่ช่วยทำให้ตัวสีละลายได้พอเหมาะ

4. หมู่เคมีจะทำให้ตัวสีละลายได้นั้น จับอยู่ที่โครงสร้างของตัวสีด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งเป็นหมู่เคมีที่จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน
5. ระยะของหมู่เคมีที่จะก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนนั้น ควรอยู่ใกล้กันกับเซลล์โลสมากที่สุด
6. การรวมตัวกันโดยพันธะคู่ จะช่วยเสริมให้โมเลกุลเข้ามาเรียงตัวในแนวเดียวกันได้มากขึ้น และยังอาจทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นที่ตอนปลายของสายโมเลกุลที่รวมตัวกันนี้ได้ด้วย

ดังนี้

จากหลักการนี้ การย้อมสีไครเรทนี้สามารถอธิบายลำดับขั้นตอนของการย้อมได้ 3 ลำดับขั้น

1. สีจะถูกดูดซึมติดที่ผิวของเส้นใย
2. สีจะถูกดูดซึมเข้าไป แล้วกระจายสู่ใจกลางของเส้นใย
3. สีจะถูกดูดซึมติดที่จุดที่ทำให้สีติดในเส้นใยได้

2.2.5 ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการได้แก่ น้ำที่ใช้ดำเนินการฟอกย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ น้ำส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ
 - น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีค่าความเข้มข้นของสีสูง
 - น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีค่าความเข้มข้นของสิ่งสกปรกจะต่ำกว่าน้ำเสียประเภทแรก
2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำจะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง จะไปเพิ่มปริมาตรของน้ำย้อมและถูกรวมเป็นน้ำเสีย
3. น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในเวลาอันสั้น โดยใช้ น้ำหล่อเย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ได้
4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน

2.3 การจำแนกวิธีการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม

การกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมได้ถูกพัฒนาต่อๆ กันมา จากเดิมซึ่งโรงงานต่างๆ ไปมักจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยในสมัยก่อนสีที่ถูกปล่อยออกมา มีปริมาณน้อยทำให้ยังไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอได้เพิ่มจำนวนได้เพิ่มจำนวนมากขึ้นตามการเพิ่มประชากร อีกทั้งยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฟอกย้อม ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรที่ทันสมัย การเติมสารเคมีช่วยเพิ่มคุณภาพของผ้า จนกระทั่งการพัฒนาสีที่ใช้ในการย้อมผ้าเพื่อให้สีติดผ้ามากขึ้น ทำให้น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมประกอบด้วยสารเคมีและสีย้อมมากมายหลายชนิดจนไม่สามารถใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพชนิดแอกทิเวเต็ดสแตนด์ในการกำจัดสีให้ลดลงได้ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการกำจัดสีหลายวิธีดังนี้

2.3.1 การกำจัดสีโดยวิธีทางกายภาพ

การกำจัดสีโดยวิธีทางกายภาพเป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองต่อไป นอกจากนี้อาจใช้วิธีกายภาพตามหลังกระบวนการบำบัดแบบชีวภาพก็ได้ ตัวอย่างของการกำจัดสีโดยวิธีกายภาพ ได้แก่ กระบวนการการสร้างตะกอนโดยใช้สารเคมีซึ่งสามารถกำจัดสีอินทรีย์ สารสี และสารประกอบอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกของกระบวนการดังกล่าวเกิดจากอนุภาคหรือสิ่งปนเปื้อนจะถูกดูดติดผิวฟล็อกโดยขั้วขวางการเกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โรงฟอกย้อมส่วนมากนิยมใช้สารประกอบในการทำให้เกิดกระบวนการการสร้างตะกอนและฟล็อกกูเลนชัน ได้แก่ ปูนขาว สารส้ม เหล็กเฟอริกหรือโพลิอิเล็กโทรไลต์ แล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน ซึ่งพบว่ามีข้อเสียเนื่องจากการใช้สารเคมีปริมาณมากในการกำจัดสี เช่น มีตะกอนทางเคมีเกิดขึ้นปริมาณมากทำให้ต้องเพิ่มวิธีการกำจัดตะกอนอีกขั้นหนึ่งและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามมา ดังนั้นการที่จะใช้วิธีการการสร้างตะกอนและฟล็อกกูเลนชันในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมที่ควรคำนึงถึงคือ การประเมินปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ให้มีปริมาณพอเหมาะกับลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้น

2.3.2 กระบวนการทางเคมี

2.3.2.1 การออกซิเดชัน (oxidation)

- การเติมคลอรีน (chlorination)

สีข้อมหลายชนิดถูกกำจัดได้โดยใช้สารเคมีเป็นตัวออกซิไดซ์ สารเคมีที่ใช้กันมากในการกำจัดสีขั้นต้นคือ คลอรีนในรูปของเหลวหรือก๊าซ ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นที่สองต่อไป อย่างไรก็ตามการใช้คลอรีนปริมาณมากเกินไปจะทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

- การเติมโอโซน

โอโซนเป็นตัวออกซิแดนท์ที่ดีกว่าคลอรีนและพบว่ากลไกที่ได้จากการออกซิไดซ์น้ำเสียที่มีสีโดยการใช้โอโซนนั้นไม่ทำให้เกิดมลพิษ

2.3.2.2 การรีดักชัน

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการรีดักชันของสีชนิดเอโซ (azo) โดยสีจะถูกสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงเกิดเป็นสารประกอบอะโรมาติกอามีน ซึ่งสารเคมีที่เกิดขึ้นนี้ถูกพบว่าหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะเป็นพิษมากกว่าตัวสีข้อมเอง

2.3.2.3 การดูดซับผิว

กระบวนการดูดซับผิวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำที่ต่ำๆ โดยวัสดุที่นิยมใช้กันคือ ถ่านกัมมันต์

2.3.3 กระบวนการทางชีวภาพ

2.3.3.1 กระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์

เป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม เนื่องจากค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการอื่น ในปัจจุบันเนื่องจากมีสีปนมากับน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมในปริมาณมากจนไม่สามารถใช้ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์กำจัดสีที่เกิดขึ้นให้อยู่ในระดับต่ำได้ นอกจากนี้ยังมีปัญหาอื่นๆ ที่เกิดจากการใช้ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์คือ เป็นการยากที่จะทำให้จุลชีพชินกับสารอาหาร เนื่องจากน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้อมบ่อย

2.3.3.2 กระบวนการแอนไอออน

กระบวนการแอนไอออนสามารถใช้อยู่หลายโมเลกุลที่ข้อมให้อยู่ในรูปอะโรมาติกอามีน ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการแอนไอออนนี้ถูกปล่อยออกไปจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงควรเพิ่มกระบวนการแอนไอออนตามหลังเพื่อกำจัดสารอะโรมาติกอามีน

2.3.4 กระบวนการอื่นๆ

นอกจากกระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นยังมีกระบวนการกำจัดโดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่อีกเช่น กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (RO) การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) การแลกเปลี่ยนไอออน แต่ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูง

2.4 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

2.4.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible Interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ประเภทซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน คือ

- 1) กำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , Cl^- เป็นต้น นอกจากนี้ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะหนักต่างๆ ออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้ต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะหนักที่ใช้เรซินกำจัดออกได้ ได้แก่ อาเซนิก แบเรียม แคลเซียม โคบอลต์ ทองแดง ทอง ตะกั่ว เซเลเนียม เงิน วานาเดียม สังกะสี นิกเกิล
- 2) ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดจากสารละลายจะหลุดออกมากับสารรีเจนเนอเรนต์ (Regenerant) ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่า ปริมาณสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมเจือจางมาก มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆ เท่า

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำ และในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralization) เพื่อใช้ในการทำไอน้ำและในงานอุตสาหกรรม

บางชนิด สำหรับในการกำจัดน้ำเสียนั้นกระบวนการแลกเปลี่ยน ไอออน ใช้กันมากในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานขุบโลหะ และ ใช้ในการกำจัดแอมโมเนีย

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยน ไอออนสำหรับ Softener อาจเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



เมื่อ R เป็นหมู่ไอออนของเรซินซึ่งมี Na^+ เป็นส่วนเคลื่อนที่ได้ของหมู่ไอออนของเรซินใช้แลกเปลี่ยน ไอออนพวกที่อยู่ในน้ำคือ Ca^{2+} ในปริมาณที่สมดุลกัน

เรซินเมื่อใช้ไปชั่วระยะหนึ่งจะหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยน ไอออน แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชัน สำหรับเรซินที่อยู่ในรูปของ Na^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกง (NaCl) ซึ่งมี Na^+ อยู่เป็นจำนวนมาก เรซินที่ผ่านการรีเจนเนอเรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานได้ อีก สมการเคมีเขียนดังนี้



โดยสารละลายเกลือแกงจะต้องมีความเข้มข้นในปริมาณมาก เพื่อให้สมดุลกับปฏิกิริยากลับทิศทาง

2.4.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยน ไอออน

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน ไอออน เรซินจะมีโครงร่างคล้ายตาข่ายสามมิติ โดยมีกลุ่ม ไอออนที่มีประจุอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนตาข่าย เรียกว่า Matrix ส่วนหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่บนตำแหน่งต่างๆ ของตาข่าย เรียกว่า Function Group ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน โครงสร้างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างไรปรากฏ และรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและไม่แตกหักโดยง่าย (รูปที่ 3.2) โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากและชนิดเดียวกันต่อกันเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสาน เพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน (รูปที่ 3.3) ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินขึ้นอยู่กับระดับการประสานโครงร่าง (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ถ้าปริมาณของตัวประสานมาก โครงสร้างของเรซินจะแข็งและทึบ ถ้าปริมาณของตัวประสานน้อย โครงสร้างของเรซินจะอ่อนและโปร่ง

ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Exchange Capacity) และกำหนดลักษณะอื่นๆ ของเรซินด้วย เช่น ความชื้นในเรซิน เป็นต้น คือเรซินจะต้องมีความพรุนพอเพียงที่จะทำให้ไอออนต่างๆ เคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวก จึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ เรซินที่มีระดับการประสานโครงร่างต่ำเกินไป จะมีความพรุนมาก ทำให้หือมน้ำได้มากแต่สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงประสานต่ำ

การบวมหรือการพองน้ำของเรซิน (Swelling) เรซินที่ทำจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มีความสามารถดูดน้ำหรือของเหลวรอบตัวมันได้ และทำให้เรซินขยายตัวหรือบวมขึ้น การบวมของเรซินเกิดจากการไฮเดรชัน (Hydration) ของหมู่ไอออนที่ยึดติดกับโครงร่าง และไอออนอิสระ และเกิดจากความดันออสโมติก (Osmotic Pressure) การไฮเดรชันของไอออนแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยไอออนที่มีขนาดเล็ก (เมื่อแห้ง) จะมีขนาดใหญ่เมื่อเกิดไฮเดรชัน ถ้าเรซินบรรจุไอออนที่มีขนาดใหญ่ (ขณะไฮเดรชัน) ก็จะเกิดการบวมสูง เช่นเดียวกับเรซินที่อยู่ในสารละลายเจือจางเรซินจะบวมตัวเพื่อพยายามลดความเข้มข้นภายในเพื่อให้สมดุลกับภายนอก ในทางกลับกันเรซินจะหดตัวเมื่อสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่า เช่นในขณะการทำรีเจนเนอเรชัน แต่การบวมตัวของเรซินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชนิดของสารละลาย ระดับการประสานโครงร่าง เรซินที่มีระดับการประสานโครงร่างต่ำๆ จะทำให้ปริมาณของเรซินเพิ่มขึ้นได้มาก ดังนั้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่คิดต่อปริมาตรจึงมีค่าลดหรือเพิ่มตามการลดหรือเพิ่มของระดับการประสานโครงร่าง

หมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น ถ้าส่วนโครงสร้าง Matrix มีประจุลบประจำตัว หมู่ไอออนจะมีประจุบวก เรียกว่า Cation Exchanger คือเป็นสารแลกเปลี่ยนประจุบวก ถ้าโครงสร้าง Matrix มีประจุบวกประจำตัว หมู่ไอออนจะมีประจุลบคือเป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ เรียกว่า Anion Exchanger

เรซินสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน จึงมีโครงสร้างเป็นสารพวก Polystyrene ที่รวมตัวอยู่กับ Divinylbenzene โดยหมู่ไอออนของ Cation Exchanger จะเป็นพวก Sulfonic, Carboxylic หรือ Phosphonic ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchange) จะเป็นพวกที่มีหมู่ไอออนเป็นพวก Quaternary Ammonium, Primary Amine, Secondary Amine

2.4.3 การจำแนกประเภทเรซินตามความเป็นกรดหรือด่าง

เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซินตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด คือ เรซินแบบกรดแก่ เรซินแบบกรดอ่อน เรซินแบบด่างแก่ และเรซินแบบด่างอ่อน (มันติน, 2532)

1) เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Resin)

มีหมู่ซัลโฟนิก (SO_3^-) เป็นหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า โดยมี H^+ หรือ Na^+ เป็นไอออนอิสระ หน้าที่ของเรซินแบบกรดแก่ จะใช้ไอออนบวกของตัวเองแลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} เป็นต้น เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริก

เรซินแบบกรดแก่มีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. เรซินในรูป H^+ สามารถแยก Na^+ จากเกลือแกงได้ อำนวยเช่นนี้เรียกว่า Salt Splitting
3. การรบกวนของไอออนบวกที่ต้องการกำจัด เช่น Ca^{2+} เกิดขึ้นน้อย
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว
5. เรซินมีความคงตัว และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 100-120 องศาเซลเซียส และอาจใช้ได้นานถึง 20 ปีหรือมากกว่า โดยมีการสูญเสียความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
6. การเปลี่ยนรูปของ Na^+ ในเรซินเป็น H^+ ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเพียง 7 %
7. เหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์ (Demineralization)

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำ ประมาณ 25-45% ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรชัน
2. เรซินถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และทำให้เรซินเกิดการบวมและมีความชื้นสูงขึ้น โดยเฉพาะเรซินที่มีระดับของการประสาน โครงร่างต่ำ

2) เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acid Resin)

เรซินแบบกรดอ่อนมีหมู่คาร์บอกซิลิก (COO⁻) เป็นหมู่ที่มีประจุไฟฟ้า โดยมี H⁺ หรือ Na⁺ เป็นไอออนอิสระ เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดอะคริลิก มีหน้าที่ใช้ไอออนบวกของเรซิน (H⁺ หรือ Na⁺) แลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากรน้ำ

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อดี คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงถึง 90% โดยเฉพาะถ้าเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปของ H⁺ เพราะเรซินมีความชอบ (Affinity) สูง
2. ชีตความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ประมาณ 2 เท่า
3. เรซินทนต่อสารออกซิแดนท์ เช่น คลอรีน ได้ดี
4. เรซินในรูป H⁺ สามารถกำจัดความเป็นด่างออกจากรน้ำได้โดยไม่ต้องเติมกรด
5. เรซินสามารถใช้รีเจนเนอเรชันจากการรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ได้
6. มีการรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วหนีได้มาก

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อเสีย คือ

1. เรซินใช้ได้ในสภาวะจำกัด เช่น ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชสูงเท่านั้น
2. เรซินไม่มีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting) แต่แยกเกลือของกรดอ่อนได้ เช่น NaHCO₃
3. การเปลี่ยนรูป H⁺ ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นเกือบถึง 2 เท่า
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้า และขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำดิบ
5. เรซินเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำได้ง่าย ทำให้เกิดการรั่ว (Leakage) ของไอออนที่ต้องการกำจัดออก

3) เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Resin)

เรซินแบบด่างแก่มีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Quaternary Amine และไอออนอิสระมักเป็น Cl⁻ หรือ OH⁻ มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนด่างแก่ หน้าที่ของเรซินแบบด่างแก่คือใช้ไอออนลบของเรซินแลกกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, CO₂ และ SiO₂

เรซินแบบด่างแก่แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Type 1 มีค่าความเป็นด่างและความคงทนสูง มีความสามารถในการจับซิลิกาได้ดี
2. Type 2 มีชีตความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูง

เรซินแบบต่างแก็มีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. เรซินมีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting)
3. มีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว

เรซินแบบต่างแก็มีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำเพียง 18-33% ทำให้สิ้นเปลืองสารรีเจนเนอเรนต์
2. มีความคงทนต่ำ ทำให้อายุการใช้งานสั้น
3. ในกรณีที่น้ำเสียมีกรดฮิวมิคจากการเน่าเปื่อยของพืช สามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำรีเจนเนอเรชันได้
4. เรซินเปลี่ยนเป็นค่าอ่อนได้ง่าย ทำให้สูญเสียขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

4) เรซินแบบค่าอ่อน (Weak Basic Resin)

เรซินแบบค่าอ่อนมีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Primary, Secondary หรือ Tertiary Amino และไอออนอิสระมักเป็น Cl^- หรือ OH^- หรือไม่มีก็ได้ การกำจัดไอออนลบของเรซินแบบนี้จะต่างจากเรซินอีก 3 ประเภท เนื่องจากกลไกการทำงานเป็นลักษณะ Adsorption ไม่ใช่การแลกเปลี่ยนประจุ เรซินชนิดนี้จะกำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl , H_2SO_4 , HNO_3 และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น CO_2 และ SiO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นจากการที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน โดยทั่วไปเรซินชนิดนี้มักใช้กำจัด Cl^- และ SO_4^{2-}

เรซินแบบค่าอ่อนมีข้อดี คือ

1. ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงเกือบ 100% ทำให้เปลืองสารเคมีน้อย
2. สารรีเจนเนอเรนต์อาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
3. สามารถทนต่อกรดฮิวมิคได้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสูง

เรซินแบบค่าอ่อนมีข้อเสีย คือ ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชต่ำเท่านั้นและมีอัตราในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ

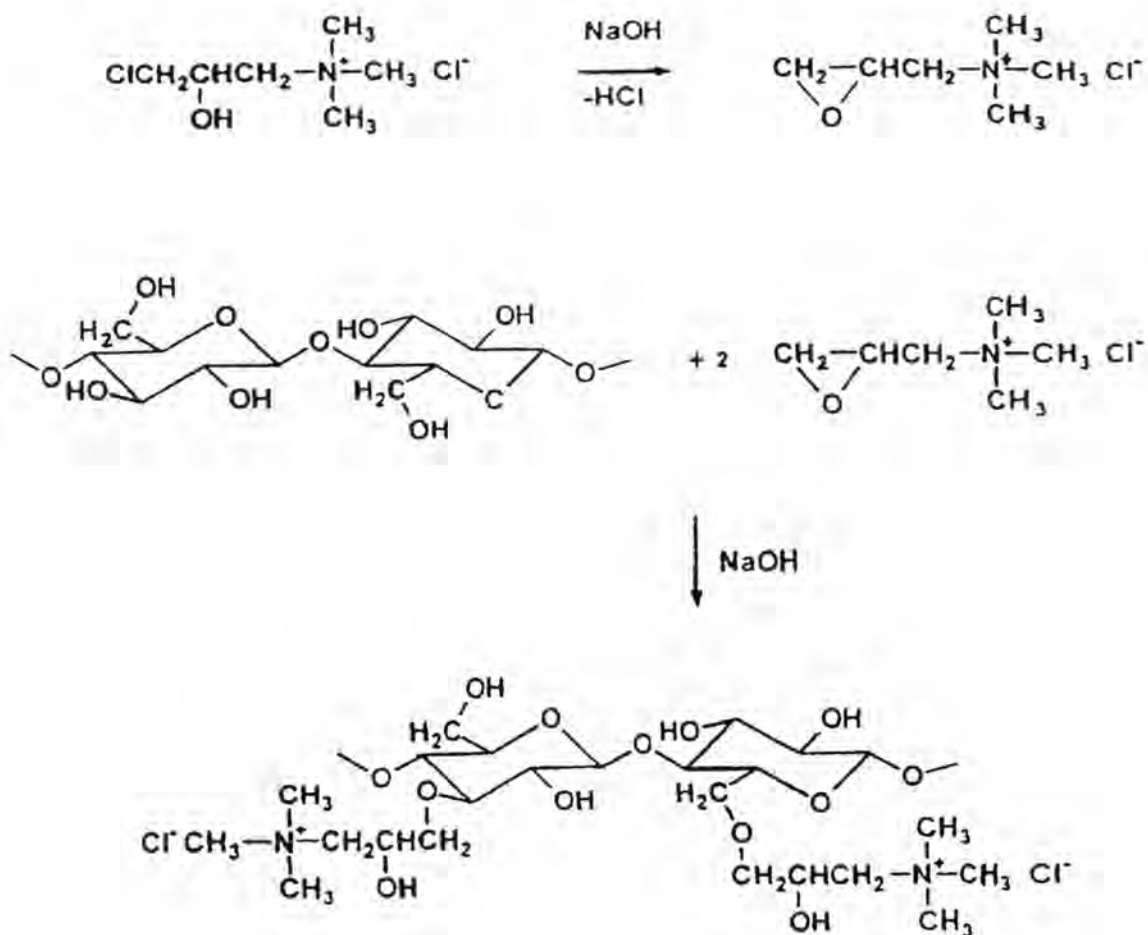
2.4.4 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน การสังเคราะห์เซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทำโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็น Hydrophilic แต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็น Hydrophobic เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์การยึดเกาะกันของโครงตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ไอออนอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงร่างตาข่าย

การทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสเป็นการสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีหนึ่ง ขั้นตอนการทำขั้นแรกคือการทำควอร์เทอร์ไนซ์ (Quaternizing) โดยใช้สารนอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรเพนไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-Chloro-2-hydroxypropane)Trimethylammonium Chloride; CHMAC) เพื่อไปจับกับเซลลูโลส กลายเป็นกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ จากนั้นคือขั้นตอนการทำครอสส์ลิงก์ (Crosslinking) เพื่อให้เกิดโครงร่างตาข่ายยึดโครงสร้างของเรซินได้ดีขึ้นโดยใช้สารอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วทำให้อยู่ในรูปของคลอไรด์โดยกรดไฮโดรคลอริก ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ได้จะเป็นเรซินแบบค่างแก่ (Laszlo, 1996) ซึ่งจะใช้ไอออนลบของค่างแก่กับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก ปฏิกิริยาที่เกิดในการทำควอร์เทอร์ไนซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.5 สมดุลการดูดซับ

การดูดซับจากสารละลายมีผลต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของสารดูดซับ ในกระบวนการดูดซับตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับมีแนวโน้มที่จะหลุดออกสู่สารละลาย เมื่อปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับและที่หลุดออกจากสารดูดซับมีจำนวนเท่ากัน นั่นคืออัตราของการดูดซับ และการหลุดออกจากผิวสารดูดซับเข้าสู่สภาวะคงที่ (Equilibrium State) ซึ่งเรียกว่า สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) ที่สมดุลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนพื้นผิวของสารดูดซับ สมดุลนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมด ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุลโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย การแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของสารดูดซับซึ่งจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการทำควอร์เทอร์ไนซ์ (Shi, 1999)

2.6 ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

รูปร่างของไอโซเทอมการดูดซับแสดงถึงลักษณะเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและลักษณะการดูดซับบนผิวของสารดูดซับ ซึ่งมียหลายรูปแบบเป็นผลมาจากการพัฒนาทางทฤษฎี และการสังเกตจากการทดลอง โดยแบบที่นิยมใช้กันทั่วไปดังนี้

2.6.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Isotherm) มีสมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงมัวร์คือ

1. โมเลกุลดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นที่ผิวของสารดูดซับ
2. มีโมเลกุลเดียวในบริเวณดูดซับ

3. พื้นที่ของบริเวณดูดติดผิวมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
4. พลังงานการดูดติดผิวมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดติดผิวจากสารละลายโดยสารดูดติดผิวแสดงดังสมการ

$$C_e/Q_e = 1/K_L + (a_L/K_L)C_e$$

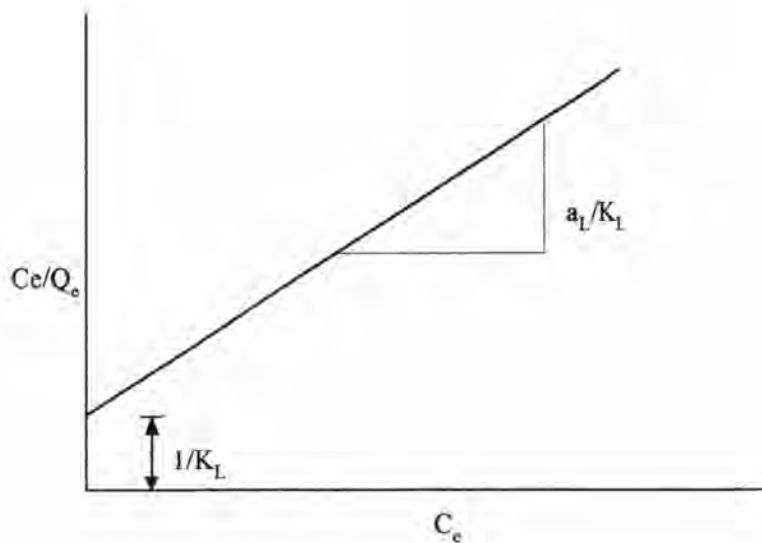
a_L คือ ค่าคงที่ Langmuir isotherm (ลิตร.มิลลิกรัม)

K_L คือ ค่าคงที่ Langmuir equilibrium (ลิตร/กรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นที่จุดสมดุลในของเหลว (มิลลิกรัม/ลิตร)

Q_e คือ ความเข้มข้นที่จุดสมดุลในของแข็ง (มิลลิกรัม/กรัม)

จากสมการค่า K_L/a_L คือค่าความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุ (q_{max}) (Shi, 1999) หรือคือค่าส่วนกลับของความชันที่ได้จากการเขียนกราฟโดยให้แกนนอนคือ C_e และแกนตั้งคือ C_e/Q_e ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยจากส่วนกลับของความชันของกราฟแต่ละเส้นจะได้ค่าความสามารถสูงสุดในการดูดติดผิวของวัสดุ



รูปที่ 2.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์

2.6.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm) เป็นสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X/m = K_F C_e^{1/n}$$

โดยที่

X/m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

m = น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

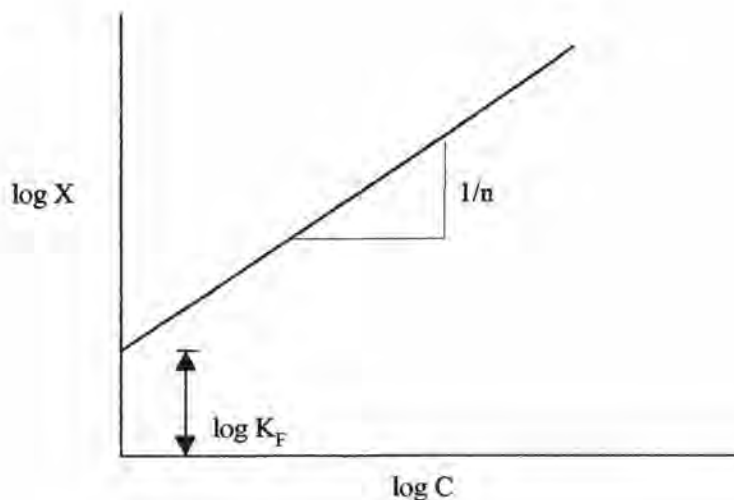
K_F = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

สมการข้างต้นสามารถเขียนในรูปแบบลอการิทึม ได้เป็น

$$\log(X/m) = \log K_F + 1/n \log C_e$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/m)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรง ซึ่งมีความชัน $1/n$ และ $\log K_F$ เป็นจุดตัดแกน y ของ $\log(X/m)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยถ้าค่า $n < 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี ถ้า $n > 1$ แสดงถึงการดูดซับที่เป็นสมการเส้นตรง และถ้า $n = 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ดี



รูปที่ 2.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (สัจจวิถ, 2539)

2.7 องค์ประกอบในเซลลูโลส

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในเซลลูโลสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. Lignin

2. Holocellulose

- Cellulose

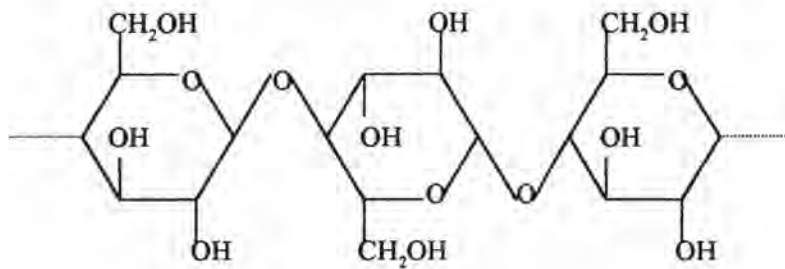
- Hemicellulose

2.7.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วย $C_6H_{10}O_5$ เป็นจำนวนมากต่อเข้าด้วยกันเซลลูโลสอาจเขียนแทนด้วยสูตร $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่ง n แทนด้วยจำนวนหน่วย n มีค่า 1,000 – 3,000 ดังนั้นเซลลูโลสทั่วไปมีน้ำหนักโมเลกุล 160,000 – 480,000 สารประกอบที่มีมากที่สุดในธรรมชาติเพราะเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์ของพืช ตัวอย่างเช่น เนื้อไม้จะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 50 % นอกจากนั้นยังเกิดในรูปของเส้นใยเช่น ฝ้าย จักว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ คุณสมบัติของเซลลูโลสคือ ไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์หรือ สารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ดีในกรด หรือด่างแก่ จึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามการละลายในกรดหรือด่างได้เป็น 3 ชนิดคือ

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

โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของ D-glucose ซึ่งจะเชื่อมกันด้วยพันธะ β -glucoside และความยาวของโซ่จะประกอบด้วย D-glucose ตั้งแต่ 300 ถึง 2500 หน่วย ซึ่งถ้าไฮโดรไลสเซลลูโลสเพียงบางส่วนจะได้เซลไบโอส แต่ถ้าไฮโดรไลสเต็มที่จะได้ D-glucose



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส (ปิยนุช, 2536)

2.7.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (Pentoses) ที่มีลักษณะเป็น Heterogenous โดยประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์หลายชนิดรวมกัน ลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขาแตกต่างจากเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30 – 50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือ Xylan นอกจากนี้ก็ยังมี glucan, mannan, galactan, hemicellulose เมื่อถูกย่อยสลายจะได้น้ำตาลที่เป็นเพนโตสและเฮกโตส ได้แก่ ไซโล แมนโนส กาแลคโตส อะราบีโนส เฮมิเซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในค่าंगและถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส

สำหรับ xylan ที่เป็นองค์ประกอบหลักของ เฮมิเซลลูโลสนั้น เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลโลสที่ต่อกันด้วยพันธะเบตา -1,4 xylosidic linkage อาจเป็นเส้นตรงเฉพาะไซโลโลอย่างเดียวหรือมีกิ่งก้านสาขาที่มีโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ ปะปนอยู่ เช่น L-arabinofuranose เชื่อมต่อกับ ไซโลโลสที่มีตำแหน่ง 0-3 และ D-glucuronic acid หรือ 4-O-methyl-glucuronic acid ซึ่งต่อกับ ไซโลโลสที่มีตำแหน่ง 0-2

2.7.3 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

- ฟีนิลโพรเพน (Phenyl Propane)
- กัวอีอะซิล ยูนิต (Guaiacyl Unit)
- ไซริงกิล ยูนิต (Syringyl Unit)
- พารา-ไฮดรอกซีฟีนิล ยูนิต (Para-Hydroxyphenyl Unit)

ลักษณะหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนินแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 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

2.8 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง

2.8.1 ช้างข้าวโพด

ช้างข้าวโพดประกอบด้วยเซลลูโลสและสารเพนโตซาน (pentosans) ซึ่งเป็นสารประกอบของ แป้งและน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ ข้าวโพดมีชื่อสามัญว่าคอร์น (corn) ส่วนชื่อทางพฤกษศาสตร์เรียกว่า ซีมียัส (Zea mays) ข้าวโพดเป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้า ข้าวโพดต้นหนึ่งๆ อาจมีฝักมากกว่า 1 ฝัก (ear) ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ข้าวโพดมีผลผลิตรวมในประเทศไทยแต่ละปีประมาณ 4,000,000 ตัน/ปี เมื่อนำมาแปรรูปแล้วจะมีส่วนเหลือทิ้งคือช้างข้าวโพดซึ่งมี

ปริมาณ 1 ใน 3 ของผลผลิตข้าวโพด หากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรม ก็จะมีวัตถุประสงค์เพื่อหลีกเลี่ยงจากการเกษตรที่หาได้ไม่ยากและมีปริมาณมากพอ โดยในประเทศไทยมีแหล่งเพาะปลูกคือ

ภาคเหนือ ได้แก่ เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ พิจิตร โลก

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ศรีสะเกษ ชัยภูมิ

ภาคกลาง ได้แก่ สระบุรี ลพบุรี

ภาคตะวันตก ได้แก่ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี

ภาคตะวันออก ได้แก่ สระแก้ว จันทบุรี

ซึ่งข้าวโพดมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้คือ เซลลูโลส 36.5 % ลิกนิน 10.4% เพนโตเซน 28.1 % (จันทนา, 2538) ซึ่งซึ่งข้าวโพดจัดว่าเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในวงการอุตสาหกรรม ซึ่งพอจะรวบรวมได้โดยสังเขปดังนี้ ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมทำไม้อัด ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตเบา ใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ด ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตยาเกี่ยวกับโรคผิวหนัง ใช้เป็นส่วนประกอบในการทำแป้งฟู้ดโรยตัว ใช้ผสมเป็นอาหารสัตว์สำหรับสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้อง เช่น โคกระบือ หมักเป็นอาหารของฮีสต์ หรือใช้ผสมทำปุ๋ย ซึ่งในการทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์ซึ่งข้าวโพดมาจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์แห่งหนึ่งในจังหวัดสระบุรี (รูปวัสดุแสดงในภาคผนวก ก.) ส่วนเมล็ดข้าวโพดมีการนำไปใช้ประโยชน์คือ

การใช้ประโยชน์จากข้าวโพด

1. ใช้เป็นอาหารมนุษย์ ได้แก่ การใช้เมล็ดข้าวโพดเป็นอาหารประจำวันเช่น การทูปเมล็ดให้แตกแล้วหุงต้มรับประทานหรือใช้แป้งข้าวโพดทำเป็นขนมปังโรตี ประชาชนที่รับประทานข้าวโพดในรูปเมล็ดและแป้ง ได้แก่ประเทศอินเดีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ปากีสถาน เม็กซิโก สเปน อิตาลี โปรตุเกส อเมริกาใต้ และหลายประเทศในยุโรป
2. ใช้เป็นอาหารสัตว์ เมล็ดข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าอาหารสูงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ในหลายประเทศ เช่นอเมริกา ออสเตรเลีย เดนมาร์ก สำหรับประเทศที่มีพลงเมืองหนาแน่นทำให้ไม่มีพื้นที่ว่างพอที่จะปลูกข้าวโพด แต่ต้องการเนื้อสัตว์มากจึงจำเป็นต้องสั่งเมล็ดข้าวโพดจากประเทศที่ปลูกข้าวโพดได้มากเพื่อเอาไปเลี้ยงสัตว์ประเทศเหล่านี้ได้แก่ ญี่ปุ่น สิงคโปร์ ไต้หวัน และประเทศทางตะวันออกกลางเป็นต้น สำหรับประเทศที่ปลูกข้าวโพดเองสามารถใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในรูปแบบต่างๆ กันคือ เมล็ด ชัง คั้นสด คั้นแก่ และผลพลอยได้อื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมข้าวโพด ได้แก่ เปลือกเมล็ด กาก และรำเป็นต้น ในประเทศไทยปัจจุบันมีโรงงานอาหารสัตว์ได้ใช้ข้าวโพดเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของอาหารสัตว์คั้นนั้น ความต้องการข้าวโพดของโรงงานเหล่านี้จึงมีปริมาณสูงมาก

3. ใช้ในอุตสาหกรรม แป้งข้าวโพดเป็นแป้งที่มีคุณภาพดีและนิยมใช้เป็นอุตสาหกรรมในการประกอบอาหารในรูปแบบต่างๆ ได้มากมายหลายชนิด สำหรับผลพลอยได้จากเมล็ดข้าวโพดได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหารกระป๋อง อาหารแห้ง น้ำมัน น้ำตาล น้ำเชื่อม แอลกอฮอล์ น้ำส้ม เวชภัณฑ์ น้ำหอม น้ำมันใส่ผม แบนเคเดอรี อุปกรณ์กันความร้อน เครื่องเคลือบ สารแทนพวกยาง สารเคมี สารระเบิด อุตสาหกรรมกระดาษแผ่นใยอัดแน่น ชังใช้ทำจุกก๊อกและกล้องดูบชา วัตถุดิบไฟฟ้า

2.8.2 เปลือกถั่วเหลือง

ในเมล็ดถั่วเหลืองมีส่วนประกอบแยกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนเปลือกซึ่งจะมีปริมาณ 7 % ส่วนของใบเลี้ยง 90 % และส่วนของขอดก่อนมีประมาณ 3 % โดยน้ำหนัก ถั่วเหลืองมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Glycine Max (L) Merrill* ซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลของ Leguminosae, subfamily papilionoideae ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วที่รู้จักกันคืออยู่แล้ว โดยเฉพาะเป็นพืชดั้งเดิมของคนในแถบเอเชียเช่น จีน เกาหลี ญี่ปุ่น ตลอดจนของคนไทยเรา มีถิ่นกำเนิดกระจายอยู่ตั้งแต่เอเชียตะวันออกเฉียงและหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก ไปจนถึงทวีปออสเตรเลีย โดยที่ได้มีการปลูกและนำมาบริโภคเป็นอาหารพื้นเมืองนานาชนิด

ลักษณะของถั่วเหลืองนั้นมีขนาดน้ำหนักเมล็ดราว 0.1-0.2 กรัม สีของเปลือกมีหลายสี เช่น สีเหลืองใช้ในอุตสาหกรรมทำอาหารคนทั่วไป สีดำใช้ในอุตสาหกรรมโรงงานสกัดน้ำมันพืช สีเขียวและสีน้ำตาลไม่นิยมนำมาใช้กันมากนัก จมูกของถั่วเหลืองเปลือกเหลืองมักมีสีน้ำตาล บางพันธุ์มีจมูกเป็นสีขาว ใบเลี้ยงซึ่งมีสองใบอยู่ภายใต้เปลือกมักมีสีเหลืองและสีเขียว ลักษณะโครงสร้างและลักษณะทั่วไปของเมล็ดถั่วเหลือง ทั่วไปแล้วมักจะมีรูปเมล็ดกลมรี ในส่วนของใบเลี้ยงซึ่งเป็นส่วนที่สะสมสารอาหารต่างๆ และเป็นส่วนที่จะนำมาใช้ประโยชน์จะมีลักษณะเป็นสีเขียวในขณะที่ถั่วยังไม่แก่ แต่ก็ไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้กันในบ้านเรา ลักษณะของเปลือกถั่วเหลืองมาแล้วว่ามีหลายสี เช่น สหรัฐอเมริกา จะนิยมปลูกเฉพาะถั่วเหลืองเปลือกเหลือง ขณะที่ถั่วเหลืองเปลือกดำมีปลูกในประเทศอินเดีย จมูกของถั่วเหลือง (Hilum) มีหลายสี เช่น สีดำ สีน้ำตาล สีเหลือง เป็นต้น ซึ่งเชื่อกันว่าสีของจมูกถั่วเหลืองเป็นปัจจัยหลักที่จะใช้ในการบ่งบอกถึงพันธุ์ เมล็ดถั่วเหลืองจะอยู่ในฝักถั่วเหลืองซึ่งมีสีคำหรือน้ำตาล ในขณะที่แก่เต็มที่และใน 1 ฝักก็จะบรรจุเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 3 เมล็ด (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2527)

เปลือกถั่วเหลืองมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้คือ เซลลูโลส 49.3 - 64% เฮมิเซลลูโลส 16-16.6 % ลิกนิน 4.5 - 8 % เพนโตเซน 22.6 % และซีเถ้า 4.9 - 5.7 % (Allan, 1978) ในประเทศไทย

มีผลผลิตถั่วเหลืองประมาณ 340,000 – 530,000 ตัน/ปี โดยแหล่งผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบันได้กระจายไปทุกภาคของประเทศไทย จากสถิติการเกษตร ปี 2539/40 พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 1,618,846 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 73.82 รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 15.3 , 3.77 และ 7.11 ตามลำดับ

ถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ซึ่งในประเทศไทยพบว่าการใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง คือ

1. ส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง คือ ใบ ลำต้น เปลือกเมื่อเก็บเกี่ยวและนวดเรียบร้อยแล้ว และ โถกบดลงสู่ดินรวมทั้งปมที่ตกค้างในดินจะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีที่สุด ในส่วนของเปลือกถั่วเหลืองนำมากรวมกันใช้เพาะเห็ดที่เรียกว่า " เห็ดถั่วเหลือง " นำมาทำอาหารรับประทานได้
2. การนำไปผสมอาหารสัตว์ซึ่งจะมีผู้มารับซื้อจากโรงงานในราคา กิโลกรัมละ 3 บาท
3. เมล็ดของถั่วเหลืองนำมาใช้เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเมล็ด ถั่วเหลืองจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาหารมนุษย์และสัตว์

ในการทดสอบเปลือกถั่วเหลืองได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานผลิตถั่วเหลืองซีกแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร (รูปวัสดุแสดงในภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบโดยประมาณของถั่วเหลืองและส่วนของถั่วเหลือง (ปริยาพรและสุมาลี, 2540)

ถั่วเหลืองและส่วนของถั่วเหลือง	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	เถ้า (%)
ถั่วเหลืองทั้งเมล็ด	40	21	34	4.9
ใบเลี้ยง	43	23	29	5
เปลือกถั่ว	8.8	1	86	4.3
ยอดอ่อน	41	11	43	4.4

2.8.3 ก้านคอกทานตะวัน

ก้านคอกทานตะวัน เป็นส่วนของลำต้นของทานตะวัน มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูงถึง 71 % (Sun, 1997) หลังจากคั้นแฉะและเก็บเมล็ดทานตะวันแล้ว ลำต้นก็จะแห้งถูกบดผสมกับดินเป็นปุ๋ยสำหรับการ

ปลูกพืชต่อไป หรือนำไปทำฟืน ในต่างประเทศมีการนำรากต้นทานตะวันไปทำแป้ง ในการทดลองได้นำกากดอกทานตะวันแห้งแล้วมาจากพื้นที่เพาะปลูกในจังหวัดลพบุรี (รูปวัสดุแสดงในภาคผนวก ก.) โดยทั่วไปมีการนำทานตะวันไปใช้ประโยชน์คือ

การใช้ประโยชน์เมล็ดทานตะวัน

1. ภาคอุตสาหกรรม นำมันทานตะวันสำหรับบริโภค ทำสบู่ อุตสาหกรรมฟอกสี เคลือบผิวผลไม้ ในลักษณะขี้ผึ้งเช่น ทำเทียนไข หรือเครื่องสำอางค์ และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เนยเทียม น้ำมันสลัด ครีม และนมที่มีไขมัน
2. ใช้บริโภคโดยตรง เช่น ใช้เมล็ดมาคั่วอบเกลือหรือนำเมล็ดที่สมบูรณ์มาแกะเพาะเปลือกเอาน้ำมันไปปรุงแต่งรสชาติ กากนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์
3. นำไปทำ Lecithin เพื่อใช้ในทางการแพทย์ ในการลดโคเลสเตอรอลในคนไข้ ที่มีโคเลสเตอรอลในเส้นเลือด
4. คุณประโยชน์ของเมล็ดทานตะวัน
 - ป้องกันและต่อต้านสารเคมีที่เป็นพิษที่จะก่อให้เกิดมะเร็งในปาก
 - ป้องกันการเกาะตัวของเกล็ดเลือด
 - เพิ่มการไหลเวียนของโลหิตให้ดีขึ้น

ทานตะวันเป็นพืชที่ปลูกได้ทุกปี สามารถทนต่อความแห้งแล้ง ทนต่อแมลงและโรคได้ดี เมล็ดของทานตะวันนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำมันพืช ซึ่งน้ำมันที่ได้จากเมล็ดทานตะวันจะเป็นน้ำมันที่สามารถย่อยได้ง่ายและไม่สะสมในร่างกาย ส่วนกากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง ซึ่งนอกจากเมล็ดแล้วเกือบทุกส่วนของต้นทานตะวันยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ของทานตะวันคือ *Helianthus annuus L* อยู่ในตระกูล *compositac* มีช่วงอายุประมาณ 100 – 120 วัน ที่ลำต้นทานตะวันจะมีลักษณะเป็นลาวยาวและมีขนหยาบๆ สามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีแสงแดดมากและในดินหลายชนิดโดยปลูกเป็นพืชที่ 2 หรือพืชปลายนฤดูฝน โดยพื้นที่ปลูกพืชหลังการปลูกข้าวโพดหรือพืชตระกูลถั่วในพื้นที่ที่เป็นดินร่วน หรือดินเหนียว เพราะทานตะวันเป็นพืชที่มีรากลึกจึงช่วยให้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้ง นอกจากนี้ยังปลูกได้ดีในดินเกือบทุกสภาพ ยกเว้นดินที่มีสภาพเป็นกรดจัดและมีน้ำท่วมขัง มีปัญหาที่สำคัญคือยังเป็นพืชค่อนข้างใหม่สำหรับเกษตรกรทั่วไปและเมล็ดพันธุ์มีราคาค่อนข้างสูงต้องนำเข้าจากต่างประเทศแต่อย่างไรก็ตามการผลิตทานตะวันยังเป็นสิ่งจำเป็น เพราะทุกปีประเทศไทยต้องนำเข้าเมล็ดและผลิตภัณฑ์จากทานตะวันปีละไม่ต่ำกว่า 700 ล้านบาท ถ้ามีการส่งเสริมการปลูกทานตะวันได้อย่าง

เพียงพอนอกจากทดแทนการนำเข้าแล้วยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้อีกด้วย ในประเทศไทยมีการเพาะปลูกทานตะวันปริมาณมากเช่นกัน โดยมีแหล่งเพาะปลูกดังนี้

1. ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดลพบุรีสระบุรี
2. ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ เพชรบูรณ์ อุทัยธานี พะเยา ตาก เชียงราย เชียงใหม่ แพร่ น่าน
3. ภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว ปราจีนบุรี จันทบุรี
4. ภาคตะวันตก ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี ราชบุรี
5. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่จังหวัดนครราชสีมา ศรีสะเกษ หนองบัวลำภู ขอนแก่น

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทานตะวัน ประมาณ 300,000 ไร่ มีผลผลิต 45,900 ตันต่อปี แต่ความต้องการผลผลิตเมล็ดทานตะวันของโรงงานสกัดน้ำมันและอุตสาหกรรมอาหารปีละประมาณ 100,000 ตัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าประเทศไทยสามารถเพิ่มพื้นที่ปลูกทานตะวันได้อีกมาก