

## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสาร

#### 2.1 ดีย้อม(Dye)

##### 2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของดีย้อม

ดีย้อม เป็นสารเคมีที่สำคัญสำหรับการฟอกย้อม สกัดมาจากน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน เมื่อผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอน เช่น ไซติน, แอนทราซีน, โทลูอิน โดยสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไนเตรชัน, แอมมิเนชัน ฯลฯ เพื่อเปลี่ยนสภาพจากสารไฮโดรคาร์บอนไปเป็นสารตัวกลาง(Intermediates) และสารตัวกลางนี้จะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นดีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีของแต่ละบริษัทที่ผลิตสี เพื่อที่จะได้ดีย้อมชนิดต่างๆ ทั้งนี้ ขึ้นกับเส้นใยที่จะนำมาย้อมตลอดจนกระบวนการย้อม ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสีที่ติดคงทน, ทนต่อแสงแดด, ทนต่อการซักล้าง

##### 2.1.2 การมองเห็นสี

Will (อ้างถึงใน อติชาติ ปานเจริญ, 2527) ได้สรุปว่าสีที่ปรากฏออกมา ให้ตามนุษย์มองเห็นได้ เกิดจากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมในโมเลกุลดีย้อม ซึ่งกลุ่มอะตอมดังกล่าวเรียกว่า "โครโมฟอร์" (Chromophores) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายกลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มไนโตรโซ (nitroso group)
- 2) กลุ่มไนโตร (nitro)
- 3) กลุ่มเอโซ (azo group)
- 4) กลุ่มเอทิลีน (ethylene group)
- 5) กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group)
- 6) กลุ่มคาร์บอนิลไนโตรเจน (carbonylnitrogen group)
- 7) กลุ่มซัลเฟอร์ (sulfur group)

โดยกลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้ จะเป็นตัวดูดกลืนแถบคลื่นสีบางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มองเห็นสีได้แตกต่างกันไป

ดังนั้น การกำจัดสีด้วยวิธีต่างๆก็คือ การพยายามกำจัดกลุ่มโครโมฟอร์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในโมเลกุลของสีนั่นเอง

### 2.1.8 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมที่นำมาใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามกฎเกณฑ์ที่ใช้คือ

#### 2.1.8.1 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพ

การแบ่งสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- (1) สีย้อม(Dyes) คือ สีย้อมที่ละลายน้ำได้
- (2) พิกเมนต์(Pigment) คือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ

เมื่อทำการย้อมจะต้องทำให้สีอยู่ในรูปที่สามารถเคลื่อนเข้าสู่เส้นใยแล้วเกิดการติดกับเส้นใยได้ จะต้องทำการละลายในตัวทำละลายหรือแขวนลอยในเรซิน โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบเชิงกลหรือเชิงเคมี อย่างไรก็ตาม เมื่อสีย้อมอยู่ในรูปสารละลายแล้ว จะเป็นการยากที่จะบอกวาสีย้อมนั้นละลายอยู่ในน้ำหรือในตัวทำละลาย จึงยากแก่การจำแนกว่าตัวไหนเป็นสีย้อมหรือเป็นสีพิกเมนต์ ทำให้การแบ่งแยกแบบนี้เกิดการสับสนได้

#### 2.1.8.2 การจำแนกสีย้อมตามส่วนประกอบทางเคมี

การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางเคมีค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากต้องอาศัยความรู้ทางด้านเคมีขั้นสูง นอกจากนี้ สีในกลุ่มเดียวกันก็อาจมีวิธีย้อมที่แตกต่างกันและใช้กับเส้นใยต่างชนิดกัน เช่น สีในกลุ่มเอโซ(azo) บางตัวย้อมได้โดยตรงก็จะจัดเป็นสีโคเรกต์ บางตัวจะติดได้เมื่อน้ำย้อมมีสถานะเป็นกรด ก็จะจัดเป็นสีแอซิด(acid) บางตัวต้องใช้สารบางอย่างมาช่วยในการติดเส้นใย ซึ่งก็จะจัดเป็นสีย้อมรีดิวซ์ จึงเห็นได้ว่า การแบ่งสีด้วยส่วนประกอบทางเคมีจะทำให้มีความยุ่งยากในการจดจำโดยเฉพาะสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านเคมีไม่เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับผู้ที่รู้สูตรโครงสร้างสีย้อมอย่างแน่นอนและมีความรู้ทางด้านเคมีเป็นอย่างดีนั้น การจำแนกด้วยวิธีนี้จะมีประโยชน์อย่างมาก

สีเขียวสามารถจำแนกตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมีได้เป็น 11 ชนิดคือ

1. Azo Colorants
2. Phenylmethane Dyes
3. Xanthene Dyes
4. Indigoid Dyes
5. Polycyclicquinone Dyes
6. Sulphur Fusion Dyes
7. Amine Oxidation Colorants
8. Phthalocyanine Colorants
9. Onium Dyes
10. Reactive Dyes
11. Pigments

โดยแสดงตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสีชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

### 2.1.3.3 การจำแนกสีเขียวตามลักษณะการนำไปใช้งาน

การจำแนกสีเขียวตามลักษณะการนำไปใช้งานเป็นวิธีที่สะดวกแก่ผู้ใช้ ทำให้การจำแนกวิธีนี้เป็นที่ยอมรับกันในบรรดาศูสีและในอุตสาหกรรมผลิตสี แม้แต่สมาคมผู้ย้อมสีและผู้ผลิต (The Society of Dyes and Colourist) ก็ยอมรับว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถจำแนกสีเขียวตามลักษณะการนำไปใช้งานได้ดังนี้

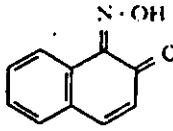
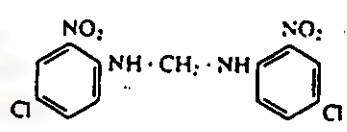
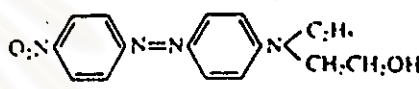
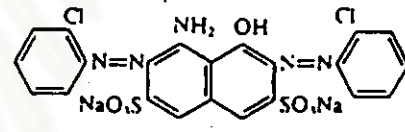
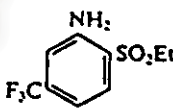
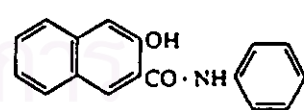
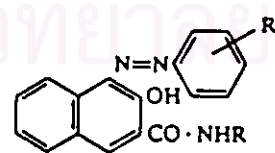
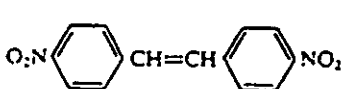
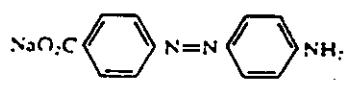
#### 1) สีเบสิก(basic)

เป็นสารอินทรีย์ชนิดที่มีประจุบวกของเกลือแอมโมเนียม, ซัลโฟเนียม หรือ ออกโซเนียม ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เล็กน้อยหรือไม่ติดเลย ส่วนใหญ่ใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยอื่นๆ ที่เตรียมให้มีประจุในสภาวะที่เป็นกรด มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี

#### 2) สีแอซิด(acid)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน นิยมใช้ย้อมเส้นใยพวกโปรตีน, ขนสัตว์ ในสภาวะที่เป็นกรดเจือจาง อาจใช้ย้อมพวกเซลลูโลสซึ่งมีโซลลูโตสบริสุทธิ์ เช่น ปอ, ป่าน, และ โยโทเลียไมด์ ได้

## ตารางที่ 2.1 การจำแนกสี้อมตามสูตรโครงสร้าง

ประเภท	ตัวอย่าง	โครงสร้าง
Nitroso	C.I. Mordant Green 4 10005	 as bisulphite compound
Nitro	C.I. Pigment Yellow 11 10325	
Azo Monazo	C.I. Disperse Red 1 11110	
Disazo	C.I. Acid Blue 87 20415	
Trisazo		See p. 105-107
Polyazo (tetrakisazo, etc.)		See p. 107
Azoic	C.I. Azoic Diazo Component 19 37065	 (as stabilized diazo component)
	C.I. Azoic Coupling Component 2 37505	
		
Stilbene	C.I. Direct Orange 71 40205	condensation product of  and 

ตารางที่ 2.1 การจำแนกสี้อมตามสูตรโครงสร้าง (ต่อ)

ประเภท	ตัวอย่าง	โครงสร้าง
Diphenylmethane (Ketone/imine)	C.I. Basic Yellow 2 41000 (Auramine)	
Triarylmethane	C.I. Acid Green 16 44025 (Naphthalene Green V)	
Xanthene	C.I. Basic Violet 10 45170 Rhodamine B	
Acridine	C.I. Basic Orange 14 Solvent Orange 15 (Acridine Orange) 46005	
Quinoline	C.I. Solvent Yellow 33 47000 (Quinoline Yellow, Spirit Soluble)	
Methine	C.I. Basic Red 12 48070	
Thiazole	C.I. Basic Yellow 1 Pigment Yellow 18 (=phosphotungsto- molybdic acid lake) 49005 (Basic Yellow T)	

ตารางที่ 2.1 การจำแนกที่ย้อมตามสูตรโครงสร้าง (ต่อ)

ประเภท	ตัวอย่าง	โครงสร้าง
Indamine	C.I. Solvent Blue 22 49705	
Azine	C.I. Basic Red 5 50040	
Oxazine	C.I. Basic Blue 6 51175 (Meldola's Blue)	
This group includes Dioxazines and Oxazines.		
Thiazine	C.I. Basic Blue 9 C.I. Solvent Blue 8 52015 (Methylene Blue)	
		Methylene Blue as zinc double chloride
Sulphur	ยังไม่มีสูตร โครงสร้างที่แน่นอน	
Lactone (amino-ketone and hydroxy- ketone dyes)	C.I. Vat Yellow 5 56005	
Anthra- quinone	C.I. Solvent Violet 13 60725	
Indigoid	C.I. Vat Blue 1 73000 Indigo (Synthetic)	

### 3) สีมอร์แดนต์ (mordant)

สีมอร์แดนต์ ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน เป็นสีที่พัฒนามาจากสีแอตติกที่หาปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิด เช่น โครเมียม เพื่อทำให้มีความคงทนต่อกระบวนการใช้น้ำ โดยสารประกอบเชิงซ้อนที่ก่อรูปใหม่นี้จะไม่ละลายน้ำ

### 4) สีไคเรคต์ (Direct)

เป็นสารประกอบเฮโซ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคทำให้สามารถละลายน้ำได้ดีแม้ว่าสีจะอยู่ในเส้นใยก็ตาม สามารถย้อมฝ้ายหรือเส้นใยเซลลูโลสได้โดยไม่ต้องมีสารช่วยติด แต่จะไม่มีความคงทนต่อกระบวนการใช้น้ำมากนัก จึงทำให้สีจางลงได้ง่ายเมื่อผ่านการฟอกหรือซักแห้ง

### 5) สีคัสเพอร์ส (Disperse dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะเป็นตะอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำเมื่อมีสารกระจายตัว (dispersing agent) ที่เหมาะสม ใช้ย้อมในน้ำย้อมธรรมชาติไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วยอีกนอกจากสารพา(carrier) ให้ตัวสีเข้าไปใกล้เส้นใยเท่านั้น โดยเหมาะกับเส้นใยอาซิเตด หรือ เส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้น้อย

### 6) สีอะโซอิก(azoic dyes)

เป็นสีย้อมที่เป็นสารประกอบเฮโซ แต่ตัวสีไม่ละลายน้ำ ก่อรูปเป็นสีบนเส้นใยได้โดยการย้อมด้วยสารประเภทฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วจึงย้อมทับอีกครั้งด้วยเกลือไดอะโซเนียม โดยเกลือนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล เกิดเป็นสารประกอบเฮโซที่ให้สี บนเส้นใย ปฏิกิริยานี้เรียกว่า คัปปลิง(Coupling reaction) สีในกลุ่มนี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น

### 7) สีแว็ต(Vat dyes)

เป็นสีย้อมที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือ พวกอินดิโก(indigo) และ พวกแอนทราควิโนน(antraquinone) โดยปกติจะไม่ละลายน้ำ ดังนั้น เมื่อจะทำการย้อมต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนและจึงทำให้กลายเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนเส้นใย โดยสีย้อมประเภทนี้ใช้ย้อมเส้นใยพวกเซลลูโลสโดยเฉพาะฝ้าย

## 8) สีกำมะถัน(Sulphur dyes)

เป็นสีที่มีกลุ่มธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ตามปกติตัวสีย้อมชนิดนี้จะไม่ละลายน้ำ แต่ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่โดยนำไปทำการรีดิวซ์ทำให้สามารถละลายน้ำได้นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะฝ้าย โดยสีที่ได้มักจะไม่ตกสีเท่าใดนัก

## 9) สีออกซิไดซ์(Oxidation colorants)

เป็นสีที่เกิดจากการออกซิไดซ์โดยเกลืออะนิลีน เมื่อเกลืออะนิลีนถูกออกซิไดซ์ด้วยสารเคมีที่เหมาะสมจะทำให้เกิดเป็นสี โครงสร้างที่ให้สีหรือวิธีที่สารย้อมติดกับใยเซลลูโลสยังไม่เป็นที่รู้จักนัก

## 10) สีโอเนียม(Onium dyes)

เป็นสีพิกเมนต์ที่ละลายน้ำได้โดยได้รับการปรับปรุง ซึ่งวิธีการย้อมจะดำเนินการแบบเดียวกับสีแควดที่ละลายน้ำได้ โดยให้สีลุดซึมเข้าไปในเส้นใยและเปลี่ยนกลับมาเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำอีกครั้ง โดยปกติจะใช้ในการพิมพ์มากกว่าย้อม

## 11) สีโลหะ(mineral colorants)

เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ โดยเมื่อย้อมแล้วต้องการทำให้สารนี้ตกตะกอนภายในเส้นใย

## 12) สีพิกเมนต์ที่ใช้กับเรซิน

เป็นการย้อมผ้าด้วยพิกเมนต์ผสมเรซิน โดยมีลักษณะคล้ายกับการพิมพ์หรือการเขียนสีมากกว่าจะเป็นการย้อม ใช้ได้กับเส้นใยทุกชนิด ซึ่งงานที่ได้จะมีความคงทนต่อการซักดีมาก แต่อาจทำให้ผิวของผ้าแข็งกระด้าง

## 13) สีรีแอกทีฟ

เป็นสีที่ละลายน้ำได้ ใช้ย้อมใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด สำหรับการทดลองนี้สนใจศึกษาถึงการปาดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีรีแอกทีฟโดยเฉพาะ ดังนั้น จึงจะกล่าวถึงสีรีแอกทีฟโดยละเอียดต่อไป ในหัวข้อ 2.1.5



## 2.1.4 ปัจจัยในการทำให้สีย้อมติดกับเส้นใย

การที่สีย้อมติดกับเส้นใยได้ดีนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง ดังนี้

### 2.1.4.1 อิทธิพลเชิงเคมี

การนำสีย้อมมาใช้ย้อมให้ได้ผลดีนั้น สีย้อมควรมีความสามารถในการรวมตัวกับเส้นใยได้ดีกว่าน้ำ ซึ่งจะเกิดสถานะนี้ได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมที่เหมาะสมสำหรับการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใย โดยแรงในการดูดติดของสีย้อมกับเส้นใยจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอิทธิพลเชิงเคมี คือ

- (1) ไฮโดรเจนบอนด์ (Hydrogen bond)
- (2) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces)
- (3) แรงไอออน (Ionic forces)
- (4) โคเวเลนต์บอนด์ (Covalent bond)

โดยการดูดติดของสีย้อมกับเส้นใยต้องประกอบด้วยแรงอย่างน้อย 2 ชนิด ขึ้นไป โดยแรงดึงดูดทางเคมีที่จะทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด คือ โคเวเลนต์บอนด์ (Covalent bond)

### 2.1.4.2 ขนาดและรูปร่างของโมเลกุลของสีย้อม

รูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีย้อมจะมีผลต่อการเคลื่อนตัวของสีย้อมเพื่อเข้าไปในเส้นใยที่ทำการย้อม คือถ้าโมเลกุลสีย้อมที่มีขนาดเล็กและรูปร่างยาวก็จะสามารถผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากกว่าโมเลกุลสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ ทำให้การติดสีได้ดีขึ้น

## 2.2 สิริแอกทีฟ

### 2.2.1 ประวัติของสิริแอกทีฟ

กว่า 60 ปี มาแล้วที่ได้มีนักค้นคว้าหลายท่านได้พยายามค้นคว้าเพื่อหาวิธีย้อมสีให้ติดเส้นใยเซลลูโลสได้ดี โดยพยายามที่จะให้สีเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลสโดยตรง นักค้นคว้าได้พยายามทุกวิถีทางตั้งแต่การใช้สารเคมีราคาแพง, กระบวนการย้อมสีที่สลับซับซ้อน, ใช้สารไวไฟ แต่ก็ไม่เกิดผลทางด้านเทคนิคเลย แต่อย่างไรก็ตามก็ทำให้ได้ความรู้มากขึ้น ประกอบกับในระยะ

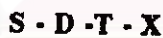
หลังความรู้เกี่ยวกับเคมีของเซลลูโลสมีมากขึ้น จึงทำให้ค้นพบสีย้อมที่เหมาะสมสำหรับใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุดในที่สุด โดยผู้ค้นพบครั้งแรก คือ บริษัทอิมพีเรียลเคมีคัลอินคอร์ปอเรชัน หรือมีชื่อย่อว่า ไอ.ซี.ไอ(I.C.I) ในปี พ.ศ. 2494 และทำการปรับปรุงจนผลิตออกจำหน่ายได้ในปี พ.ศ. 2499

### 2.2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของสีย้อมรีแอกทีฟ

สีย้อมรีแอกทีฟ เป็น สีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH<sup>-</sup> ในเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันโดยโควาเลนต์บอนด์ เพื่อสร้างเป็น Cross Link Compound กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้เป็นสีที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและซักดู

### 2.2.8 โครงสร้างเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟ.

กลุ่มเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นสีย้อมรีแอกทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปได้ดังนี้



โดย S : คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเป็นพวก  $-SO_2Na$

D : คือ สารที่ทำให้เกิดสี(Coloring Substate) หรือ กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี (Chromophore) , (D)

T : คือ ตัวเชื่อม(Bridge Link) เช่น กลุ่ม  $-NH-$  ,  $-NHCO-$  ,  $-SO_2-$  ,  $-NHSO_2-$  ,  $-NCH_2-$  เป็นต้น

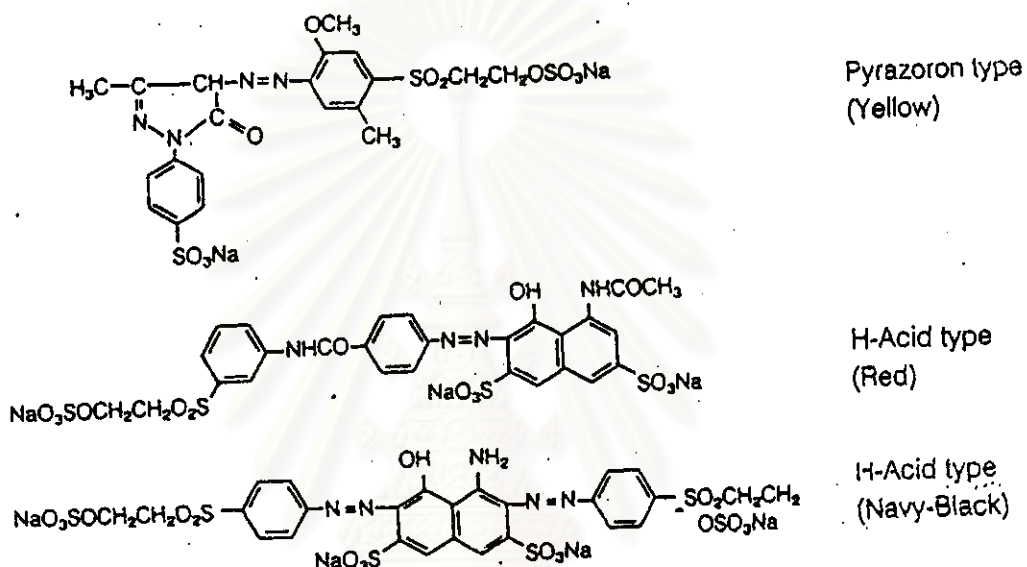
X : คือ กลุ่มรีแอกทีฟ(Reactive group) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไฮดรอกซิล หรือ อะมิโนโมเลกุลของสี หรือ หมู่ แชนแอนนูริคคัลไรด์

จากส่วนประกอบดังที่กล่าวมานี้ พบว่า มี 2 ส่วน ที่สำคัญ คือ สารที่ทำให้เกิดสีและกลุ่มรีแอกทีฟ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป โดยส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้จะป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

## 2.2.4 กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีของสีรีแอกทีฟ(Chromophore)

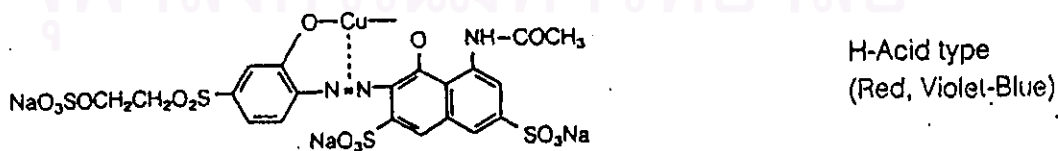
กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีส่วนใหญ่พัฒนามาจาก สีแอสซิด โดยแบ่งตามโครงสร้างได้เป็นหลายกลุ่ม ดังนี้ (Sumitomo Chemical Co.,Ltd)

2.2.4.1. กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีที่มีโครงสร้าง Unmettalised Azo เป็นหลัก แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งสีรีแอกทีฟส่วนใหญ่จะมีสารที่ทำให้เกิดสีชนิดนี้เป็นส่วนมาก



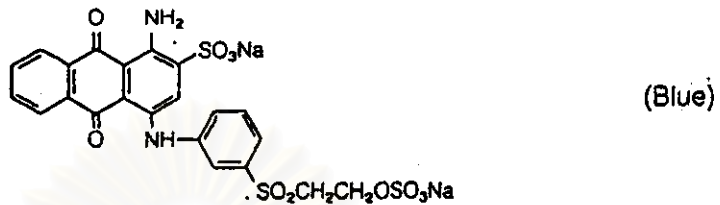
รูปที่ 2.1 กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Unmettalised Azo เป็นหลัก ที่ทำให้เกิดสีรีแอกทีฟ

2.2.4.2 กลุ่มสารที่ทำให้เกิดสีในสีรีแอกทีฟ ที่มีโครงสร้าง Metal-Complex Azo เป็นหลัก ดังรูปที่ 2.2



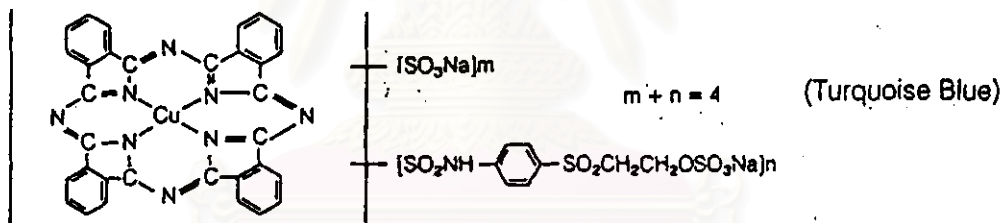
รูปที่ 2.2 กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Metal-Complex Azo เป็นหลักที่ทำให้เกิดสีรีแอกทีฟ

2.2.4.3. กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมที่ฟ ที่มีโครงสร้าง Anthraquinone เป็นหลัก แสดงดังรูปที่ 2.3



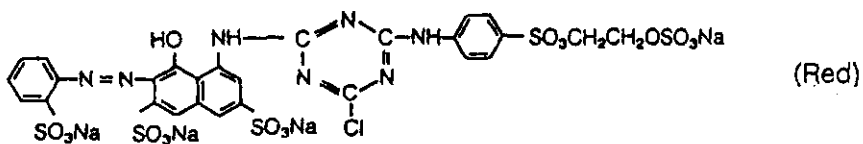
รูปที่ 2.3 กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Anthraquinone เป็นหลัก ที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมที่ฟ

2.2.4.4. กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Phthalocyanine เป็นหลักที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมที่ฟ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 4.4 กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Phthalocyanine เป็นหลัก ที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมที่ฟ

2.2.4.5 กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Azo เป็นหลัก ที่ทำให้เกิดสีใน Bifunctional reactive แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Azo เป็นหลัก ที่ทำให้เกิดสีใน Bifunctional reactive

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า กลุ่มสารที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมรีแอกทีฟนั้น ต่างก็มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันไป โดยองค์ประกอบของกลุ่มสารที่ทำให้เกิดสีต่างๆ ในสีย้อมรีแอกทีฟนั้น แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปอร์เซนต์การกระจายของกลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีของสีย้อมรีแอกทีฟแบ่งตามโทนสีต่างๆ (Shore,1990)

Chemical class	%การกระจายของโทนสี								%ของสีย้อมรีแอกทีฟทั้งหมด
	เหลือง	ส้ม	แดง	ม่วง	ฟ้า	เขียว	น้ำคาว	ดำ	
Unmetalised azo	97	90	90	63	20	16	57	42	66
Metal-complex azo	2	10	9	32	17	5	43	55	15
Anthraquinone				5	34	37		3	10
Phthalocyanine					27	42			8
Miscellaneous	1		1		2				1
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าสีย้อมรีแอกทีฟโดยส่วนมากจะประกอบด้วยกลุ่มสารที่ทำให้เกิดสีชนิด Azo เป็นส่วนมากโดยมีสูงถึง 81 % และถ้าไม่รวมสีย้อมรีแอกทีฟที่มีโทนสีฟ้าและเขียวซึ่งประกอบด้วยกลุ่มสารประเภท Anthraquinone และ Phthalocyanine เป็นส่วนใหญ่แล้ว พบว่าสีย้อมรีแอกทีฟจะมีกลุ่ม Azo เป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึง 95 % ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟ การกำจัดกลุ่ม Azo จึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่ง

### 2.2.5 กลุ่มรีแอกทีฟ(Reactive group)

เป็นส่วนที่ช่วยในการทำให้สีย้อมมีคุณสมบัติในการเกาะยึดเส้นใยได้ดี โดยมีชนิดที่สำคัญๆ คือ Procion, Cibacron, Remazol และมักจะมีหมู่แทนแอนนุรคคโลไรด์ อยู่ตอนปลายของโมเลกุล โดยแสดงกลุ่มรีแอกทีฟแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.3

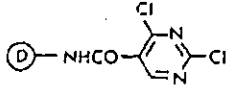
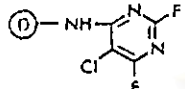
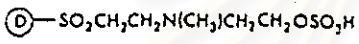
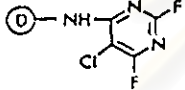
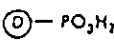
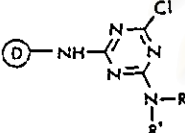
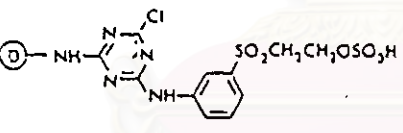
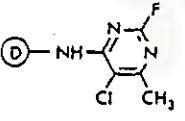
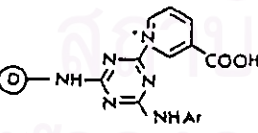
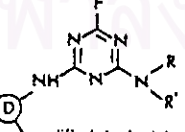
ตารางที่ 2.3 กลุ่มรีแอคทีฟ ของสีย้อมรีแอคทีฟที่สำคัญที่ผลิตจากบริษัทต่างๆ  
(Johnson, 1989)

Reactive group	First sold	Trade name and original manufacturer*	Used for
$\text{D}-\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\cdot$ and $\text{D}-\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{H}$	1952	Remalan (HOE)	Wool
$\text{D}-\text{NHCOCH}_2\text{Cl}$ and $\text{D}-\text{NH}-\text{N}(\text{NHR})_2$	1954	Cibalan Brilliant (CIBA) (now Irganol, CGY)	Wool
$\text{D}-\text{NH}-\text{N}(\text{NHR})_2$	1956	Procion MX (ICI)	Cellulose
$\text{D}-\text{NH}-\text{N}(\text{NHR})_2$	1957	Gibacron (CIBA)	Cellulose
ditto	1957	Procion H (ICI)	Cellulose
$\text{D}-\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{H}$	1958	Remazol (HOE) †Remalan Fast (HOE)	Cellulose Wool
$\text{D}-\text{NHCH}_2-\text{CH}(\text{OCH}_3)-\text{CH}_2$ and others (disperse dyes)	1958	Procinyl (ICI)	Polyamide
$\text{D}-\text{NH}-\text{N}(\text{NHR})_2$	1960	Drimarene Z and X (S)	Cellulose
ditto	1960	Reactone (Gy) (now Cibacron T, CGY)	Cellulose
$\text{D}-\text{SO}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{H}$	1960	Levafix J (BAY)	Cellulose
$\text{D}-\text{NHCO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2-\text{N}(\text{NHR})_2$	1961	Levafix E (BAY)	Cellulose
$\text{D}-\text{NHCOCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ + $\text{D}-\text{NHCOCH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{H}$ + $\text{D}-\text{NHCOCH}=\text{CH}_2$	1961	Primazine (BASF)	Cellulose
$\text{D}-\text{SO}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{SSO}_3\text{H}$	1962	†Wool Fast Turquoise Blue SW (HOE)	Wool
$\text{D}-\text{CH}_2\text{NHCOC}(\text{Cl})=\text{CH}_2$	1962	Lanasyne Pure Blue FBL (S)	Wool
$\text{D}-\text{NHCO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2-\text{N}(\text{NHR})_2$	1963	Reatex (Fran) (now Elisiane)	Cellulose
$\text{D}-\text{NHCO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2-\text{N}(\text{NHR})_2$ (this group given up later)			

ตารางที่ 2.3 กลุ่มรีแอคทีฟ ของด้ายอมรีแอคทีฟที่สำคัญที่ผลิตจากบริษัทต่างๆ  
(Johnson, 1989) (ต่อ)

Reactive group	First sold	Trade name and original manufacturer*	Used for
$\text{D}-\text{NHCOCH}=\text{CH}_2$ (metal complexes)	1964	Procilan (ICI)	Wool
$\text{D}-\text{NHCOCH}_2\text{CH}_2-\text{N} \begin{array}{c} \diagup \text{N} \\ \diagdown \text{Cl} \\ \text{O} \\ \text{Cl} \end{array}$	1964	†Primazine P (BASF)	Cellulose
$\text{D}-\text{NHCO}-\text{C}_5\text{H}_2\text{N}_2\text{Cl}_2$	1964	Solidazol (Fran).	Cellulose
+ $\text{D}-\text{NHCOCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_2\text{R}$			
$\text{D}-\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NR}_2$	1965	Remazol H (HOE)	Cellulose
$\text{D}-\text{NH}-\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_2(\text{NHCH}_2\text{OH})_2$	1965	†Calcobond (ACY)	Cellulose
$\text{D}-\text{NHCO}-\text{C}(\text{Br})=\text{CH}_2$	1966	Lanasol (CIBA)	Wool
$\text{D}-\text{CH}_2\text{NHCOCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{H}$	1967	†Lanafix (NSK)	Wool
$\text{D}-\text{NHCO}-\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H})-\text{CH}=\text{CH}_2$	1967	Solidazol N (Fran)	Cellulose
$\text{D}-\text{NH}-\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_2(\text{SO}_2\text{CH}_3)_2$	1967	Levafix P (BAY)	Cellulose
$\text{D}-\text{NH}-\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_2(\text{Cl})_2-\text{C}_6\text{H}_2(\text{SO}_3\text{H})_2-\text{NH}-\text{D}$	1967	Procion Supra (ICI)	Cellulose
$\text{D}-\text{NH}-\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_2(\text{SO}_3\text{H})(\text{OCH}_3)$	1967	Procion SP (ICI)	Cellulose
+ $\text{D}-\text{NH}-\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_2(\text{Cl})(\text{SO}_2\text{CH}_3)$			
$\text{D}-\text{NH}-\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_2(\text{OCH}_3)(\text{Cl})$	1968	Cibacron Prant (CIBA)	Cellulose

ตารางที่ 2.3 กลุ่มรีแอกทีฟ ของสีย้อมรีแอกทีฟที่สำคัญที่ผลิตจากบริษัทต่างๆ  
(Johnson, 1989) (ต่อ)

Reactive group	First sold	Trade name and original manufacturer*	Used for
	1968	†Reactofil (Gy)	Cellulose
	1970	Verofix (BAY)	Wool
ortho	1970	Levafix P-A (BAY)	Cellulose
dino	1970	Drimalan F (S)	Wool
	1970	Hostalan (HOE) <sup>b</sup>	Wool
	1971	Drimarene R and K (S)	Cellulose
	1978	Procion T (ICI) <sup>c</sup>	Cellulose
	1978	Cibacron F (CGY)	Cellulose
	1980	Sumifix Supra (NSK)	Cellulose
	1981	Levafix PN (BAY)	Cellulose
	1984	Kayacelon React (KYK)	Cellulose
	1988	Cibacron C (CGY)	Cellulose

\* C.I. abbreviations of presently existing manufacturers, old abbreviations only for companies no longer existing as such. Dyes marked † are no longer produced.

<sup>b</sup> Most Hostalan dyes contain, however, one of the reactive groups  $-\text{SO}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{H}$  or  $-\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ .

<sup>c</sup> Now marketed in mixtures with disperse dyes as Procilene dyes.



## 2.2.6 สภาพการณ์ที่มียอดค่าการทำปฏิกิริยาของฮีรีแอกทีฟ

ในกระบวนการฟอกฮีรีแอกทีฟ มีจุดประสงค์สำคัญ คือ การทำให้ฮีรีสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้มากที่สุดและเกิดการไฮโดรไลต์ในน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้ ไม่เพียงแต่เป็นการประหยัดเท่านั้น ยังทำให้เส้นใยไม่ลู่ลื่นที่ไฮโดรไลต์แล้วเข้าไปในเส้นใย ซึ่งจะทำให้ไม่คงทนเมื่อผ่านกระบวนการใช้น้ำ เพราะถ้าให้ฮีรีไฮโดรไลต์มาก การซักในขั้นสุดท้ายก็ทำให้สะอาดหมดจดได้ยาก จึงจำเป็นต้องซักเอาฮีรีพวกนี้ออกให้หมด เพื่อจะทำให้ฮีรีไม่ตกเวลาใช้ ดังนั้น ภาวะการย้อมฮีรีจึงต้องปรับสภาพฮีรีให้สามารถทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้มากที่สุด

จึงพอจะสรุปได้ว่า ระดับการทำปฏิกิริยาของฮีรีเกิดจากสาเหตุ 3 ประการ คือ

- ก) อัตราส่วนของค่าคงที่ของปฏิกิริยาของฮีรีกับเซลลูโลสและน้ำ ซึ่งโดยส่วนมากแล้วฮีรีจะทำปฏิกิริยากับเส้นใยได้ดีกว่าน้ำ จึงทำให้ฮีรีย้อมติดเส้นใยก่อน
- ข) ความเข้มข้นของหมู่เคมีไอออนไนส์ได้ภายในและภายนอกเส้นใย
- ค) ความเข้มข้นระหว่างตัวฮีรีแอกทีฟภายในและภายนอกเส้นใย

## 2.2.7 อิทธิพลที่สำคัญที่ทำให้ฮีรีแอกทีฟถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

การที่ฮีรีแอกทีฟถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอิทธิพลที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ (อรรถราพร ไสละสูตร, 2537)

- ก) อิทธิพลของการดูดติด (influence of affinity)  
ฮีรีแอกทีฟจะดูดติดเส้นใยได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของฮีรีนั้น ซึ่งปฏิกิริยานี้ไม่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการย้อม แต่ในทางปฏิบัติจะทำได้โดยการคัดเลือกตัวฮีรีที่เหมาะสมกับกระบวนการย้อมจริงๆ

### ข) อิทธิพลของปริมาณน้ำ

แม้ว่าความสามารถในการดูดติดจะเป็นคุณสมบัติเฉพาะของฮีรีย้อมฮีรีแอกทีฟแต่ละชนิด แต่กระบวนการย้อมที่ต่างกันก็มีส่วนทำให้ฮีรีดูดติดได้ไม่เท่ากัน โดยปริมาณน้ำในกระบวนการย้อมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด พบว่า ยังมีปริมาณน้ำน้อยฮีรีแอกทีฟยังติดเส้นใยได้ดี ดังนั้น การเลือกกระบวนการย้อมและเครื่องย้อมให้เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

### ค) อิทธิพลของอุณหภูมิ

สิริแอกทีฟเป็นสีที่มีโมเลกุลสามารถซึมกระจาย(diffuse) เข้าไปในเส้นใยได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้น จะยอมให้ผสมคลุ้ยได้เร็วที่อุณหภูมิปกติ โดยสีย้อมสิริแอกทีฟจะทำปฏิกิริยากับเซลล์โกลสไดคิภายในเวลาไม่ถึงหนึ่งชั่วโมง ดังนั้น จึงควรย้อมสิริแอกทีฟที่อุณหภูมิต่ำก่อนแล้วทำให้น้ำย้อมร้อนขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อให้สีซึมเข้าไปได้มากขึ้น

### ง) อิทธิพลของปริมาณอิเล็กโทรไลต์

น้ำสิริแอกทีฟจะถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเมื่อมีปริมาณของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น

### จ) อิทธิพลของค่า pH

อิทธิพลของค่า pH มีอยู่ 2 ประการ ประการแรก เมื่อเพิ่มค่าพีเอชในน้ำย้อมจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีของสีเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ประการที่ 2 แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 11 จะทำให้การดูดซึมของสีจะลดลงและลดลงมากขึ้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงควรเลือกค่าพีเอชที่ต่ำที่สุด แต่สูงพอที่จะทำให้ตัวสีทำปฏิกิริยาได้หมดพอดีเมื่อการย้อมสิ้นสุดลง

### ฉ) อิทธิพลของเส้นใย

ความแน่นของเส้นใยที่ต่างกันจะทำให้สามารถดูดสีได้ดีต่างกันโดยเส้นใยวิตคอสเตรยอนดูดได้มากที่สุด สามารถดูดน้ำได้ถึงประมาณร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักตัวเอง รองลงมาเป็นฝ้ายซูปมันและฝ้ายธรรมชาติ ซึ่งสามารถดูดน้ำได้ประมาณร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักตัวเอง

จากการศึกษาถึงลักษณะโครงสร้างของสีย้อมสิริแอกทีฟ ตลอดจนการเกิดปฏิกิริยาของสีย้อมสิริแอกทีฟกับเส้นใย ที่กล่าวมามีส่วนช่วยในการเข้าใจถึงโครงสร้างของสีย้อม ตลอดจนน้ำเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการย้อมว่าควรมีลักษณะเช่นใด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

## 2.3 กระบวนการย้อมสี

กระบวนการย้อมสีมีได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและสีย้อมที่ใช้ ในที่นี้จะเน้นถึงกระบวนการย้อมเส้นใยฝ้ายโดยใช้สิริแอกทีฟ เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำเสียที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ในการทดลองต่อไป

กระบวนการย้อมฝ้ายประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

### 2.3.1 การเตรียมเส้นใยสำหรับการย้อม

เนื่องจากเส้นด้ายที่ผลิตมาจากโรงปั่นนั้นยังมีความสกปรกต่างๆ อยู่มาก เช่น แป้ง, ไขมัน, กาว, ไขมันธรรมชาติ ฯลฯ ซึ่งล้วนเป็นอุปสรรคต่อการย้อม ทำให้น้ำย้อมไม่สามารถเข้าถึงภายในเส้นใยได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ดังนั้น อาจทำให้เส้นด้ายที่ได้จากการย้อมมีสีไม่สม่ำเสมอหรือเป็นรอยด่าง ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ ที่อยู่ในเส้นด้ายออกให้หมด ตลอดจนเตรียมเส้นใยให้พร้อมสำหรับการย้อมต่อไป เพื่อให้การย้อมสีมีประสิทธิภาพสูง โดยกระบวนการที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

#### 1. การลอกแป้ง(Desizing)

เป็นกระบวนการที่ทำให้แป้งละลายตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ โดยสารเคมีในการออกซิไดซ์(oxidising agent) หรือ การต้มด้วยสารช่วยย่อย(enzyme agent)

#### 2 การขจัดสิ่งสกปรก(Scouring)

เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับขจัดสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น คราบไขมัน, ไขมัน, ไขมัน, กาว ฯลฯ ให้หมดไปจากเส้นใย โดยการต้มน้ำด่างโดยใช้ NaOH กับ สารลดแรงตึงผิว เช่น สบู่ หรือ ผงซักฟอก ลงในหม้อต้ม โดยสารเคมีที่ใส่นี้จะทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับเส้นใยให้หลุดออกมากับน้ำ

#### 3 การฟอกขาว(Bleaching)

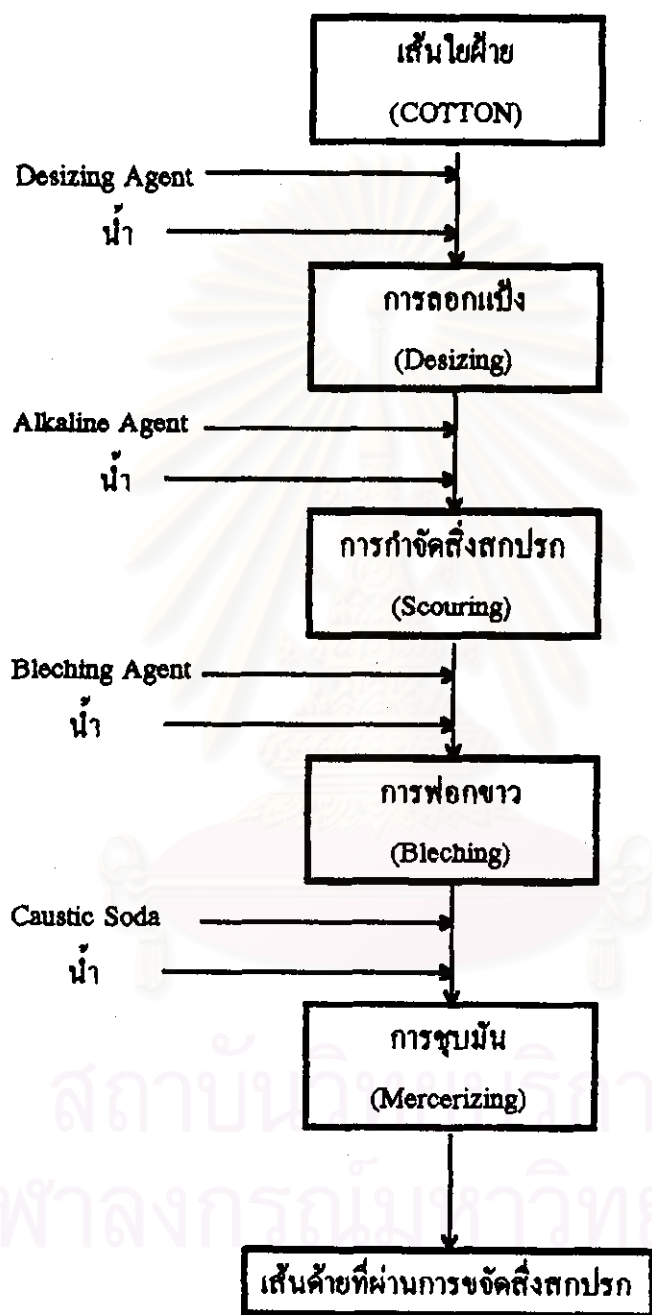
เป็นการกำจัดสีธรรมชาติของใยฝ้าย ซึ่งจะมีผลต่อการย้อมในภายหลังได้หากไม่ทำการกำจัดให้หมดก่อนนำไปย้อม

สารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาว คือสารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์ที่สูง เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์(NaClO) หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) และสารประกอบเปอร์ออกไซด์อื่นๆ ทั้งนี้การจะเลือกสารเคมีตัวใดขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย, เครื่องมือที่ใช้ในการฟอก และ ความเข้มข้นของสีที่จะทำการย้อม เช่น ถ้าย้อมสีเข้มก็อาจไม่ต้องฟอกเส้นใยจนขาวมากนัก เพราะผลกระทบของสีธรรมชาติเดิมจะมีผลน้อย

#### 4 การซุบมัน(Mercerizing)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เพิ่มความมันของเส้นใย เพื่อให้เส้นใยสามารถดูดซับย้อมได้มากขึ้นและเส้นใยอ่อนนุ่มขึ้น โดยสารเคมีที่นิยมใช้คือ โซดาไฟ

ขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมานี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเตรียมเส้นใยสำหรับการย้อม

### 2.3.2 การย้อมสี

กระบวนการย้อมใยฝ้ายด้วยสีรีแอกทีฟมีได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของสี, ชนิด, สมบัติของเส้นใยที่นำมาย้อม และ อุปกรณ์ที่ใช้ในการย้อม แต่ทุกวิธีมีจุดประสงค์เพื่อให้สี ย้อมเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ก่อนที่กระบวนการย้อมจะสิ้นสุดลง และต้องพยายามให้สีดูดซึมเข้าไปในเส้นใยให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

สีรีแอกทีฟที่ใช้ในการย้อมไม่ว่าสีตัวนั้นจะเหมาะสมสำหรับย้อมเย็นหรือย้อมร้อน สามารถ จำแนกวิธีการย้อมได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

#### (1) การย้อมแบบต่อเนื่อง (Continuous dyeing Process)

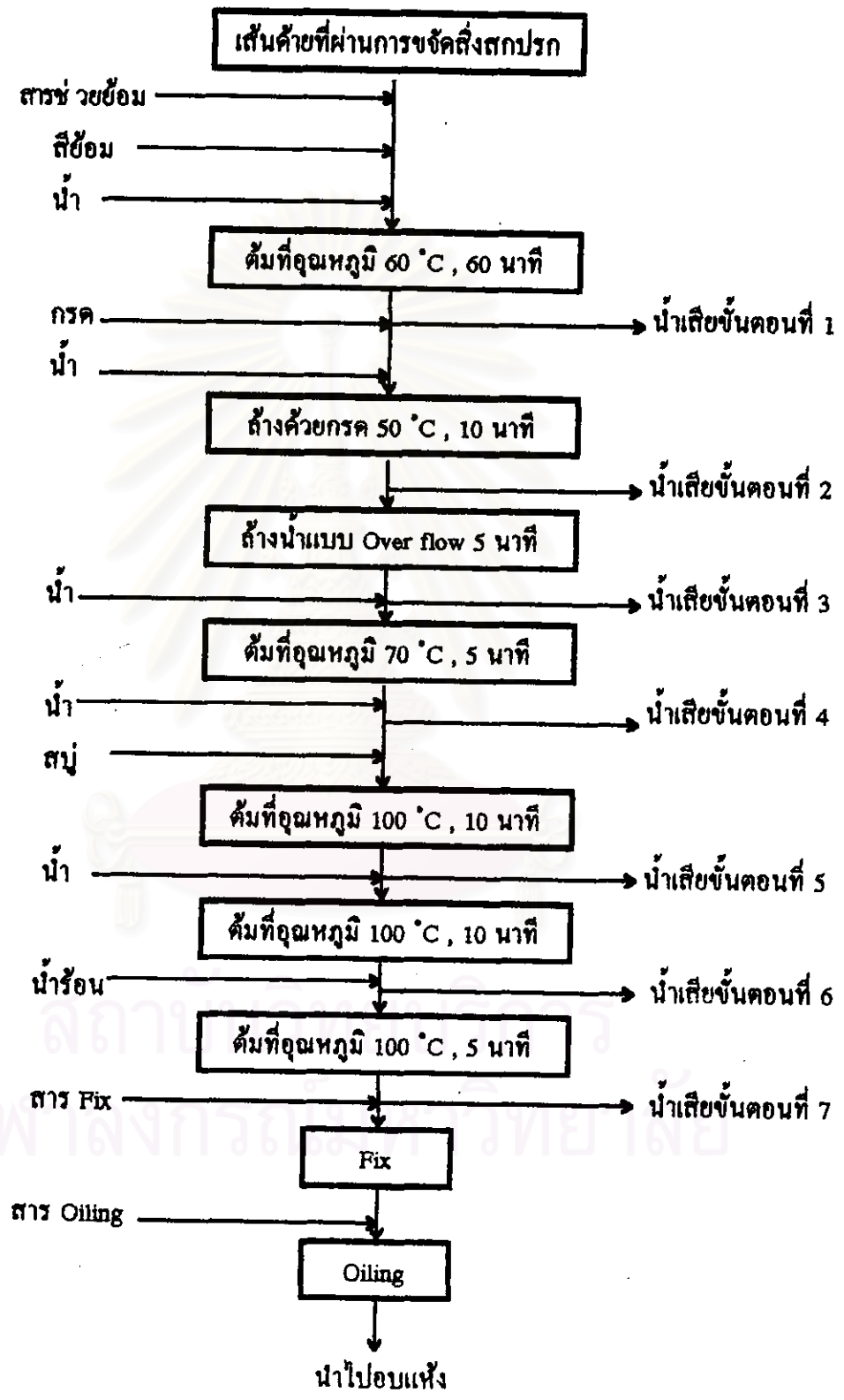
ในกระบวนการนี้จะทำให้สีย้อมเข้าไปในเส้นใยได้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ส่วนมากจะมีสี เข้มและง่ายต่อการควบคุม

#### (2) การย้อมแบบสีซึมในหม้อย้อม หรือ แบบเท (Batchwise dyeing)

เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดเล็ก ใช้เครื่องย้อมแบบธรรมดาแต่สามารถให้ คุณภาพดีเท่ากับโรงงานขนาดใหญ่

ขั้นตอนที่ใช้ในการย้อมแบบเทนี้จะให้น้ำเสียออกมาในแต่ละขั้นตอนแตกต่างกันไป ดัง แสดงในรูปที่ 2.7 สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ให้น้ำเสียมาจากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เข้มข้นที่สุด มาใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 กระบวนการข้อมสีและตกแต่งผ้า (ร.ง.อุตสาหกรรมรามาทะเลไทย จำกัด)

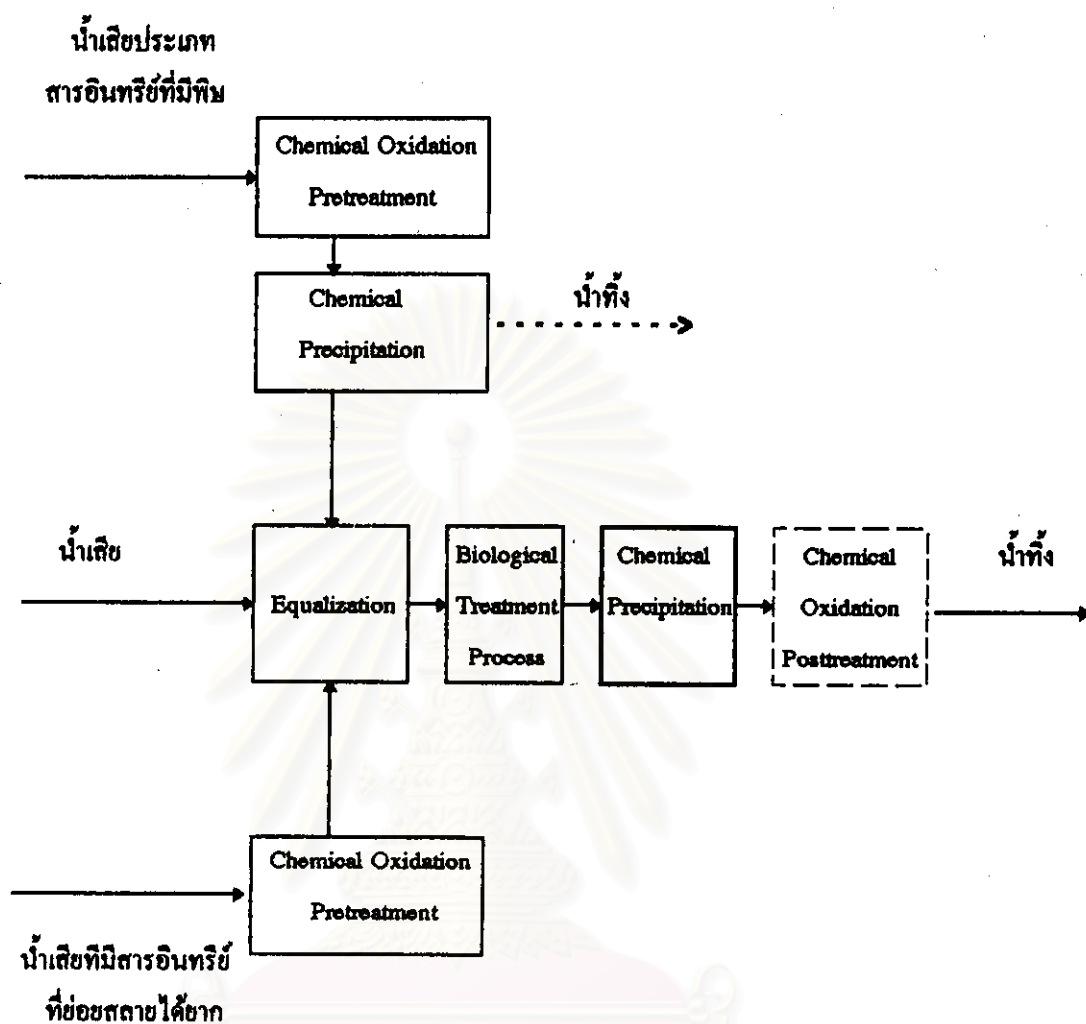
## 2.4 กระบวนการ เคมีคัดลอกซิเดชัน (Chemical Oxidation)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีเคมีคัดลอกซิเดชันนั้น เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมี เป็นปัจจัยสำคัญในการออกซิไดซ์สารประกอบต่างๆ ในน้ำเสีย โดย กระบวนการ เคมีคัดลอกซิเดชัน สามารถใช้งานได้ในหลายจุดประสงค์ดังนี้

- การกำจัด สารอินทรีย์ที่เป็นพิษที่มีความเข้มข้นต่ำ ในน้ำบาดาล
- การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงแต่มีปริมาณน้อย เพื่อลดความเป็นพิษ
- การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก ให้สามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายขึ้น
- ลดความเป็นพิษของน้ำเสียเพื่อให้สามารถบำบัดทางชีวภาพได้
- เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปนั้น อาจต้องมีการใช้กระบวนการเคมีคัดลอกซิเดชัน ร่วมกับกระบวนการอื่นด้วย เช่น กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและกระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี เป็นต้น เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวมดีขึ้น โดยกระบวนการเคมีคัดลอกซิเดชันนั้น อาจใช้ใน การบำบัดก่อน (pretreatment) คือการบำบัดก่อนเข้าระบบบำบัดทางชีวภาพ เพื่อให้น้ำเสียมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้นก่อน หรือเพื่อลดพิษซึ่งเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรืออาจใช้ใน การบำบัดหลัง (posttreatment) คือการบำบัดหลังจากออกจากระบบบำบัดทางชีวภาพแล้ว เพื่อลดความเป็นพิษหรือฆ่าเชื้อโรคที่เหลือเป็นต้น โดยการนำกระบวนการเคมีคัดลอกซิเดชัน ไปใช้งานในการบำบัดน้ำเสียนั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 การนำกระบวนการเคมีคลอออกซิเดชันไปใช้งาน (Ecken Felder, 1992)

การจะใช้กระบวนการเคมีคลอออกซิเดชันร่วมกับกระบวนการอะไรบางนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทและการปนเปื้อนของน้ำเสียที่นำมาทำการบำบัด ตลอดจนค่าใช้จ่ายโดยรวมที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้ระบบบำบัดโดยรวม ที่สามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยเสียค่าใช้จ่ายเหมาะสมที่สุด

การนำกระบวนการ เคมีคลอออกซิเดชัน มาใช้งานในการบำบัดน้ำเสียมีเสียจากโรงฟอกย้อมนั้น จะใช้ในส่วนของการบำบัดก่อน (pretreatment) เพื่อช่วยในการลดค่าซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากให้สลายลงและให้สารอินทรีย์อยู่ในรูปที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เพื่อสามารถส่งเข้าระบบชีวภาพต่อไปได้





#### 2.4.1 สารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิแดนท์

สารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิแดนท์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ

- โอโซน (Ozone (O<sub>3</sub>))
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))
- คลอรีน (Chlorine (Cl<sub>2</sub>))
- โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate (KMnO<sub>4</sub>))
- สารเคมีเฟนต์ัน (Fenton's Reagent)

ในการเลือกที่จะใช้สารเคมีชนิดใด เป็นตัวออกซิแดนท์สำหรับการบำบัดน้ำเสีย นั้น จะต้องคำนึงถึง ชนิดและปริมาณของน้ำเสียที่เกิดขึ้น , ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียชนิดนั้นๆ , ประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้, เทคโนโลยีเกี่ยวกับการใช้สารเคมีนั้นว่ายุ่งยากเพียงใด , สภาพที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาของออกซิแดนท์นั้นๆ, ความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย, ผลผลิตที่ได้จากการออกซิไดซ์, ตลอดจนความปลอดภัยในการใช้สารเคมีนั้น และราคาโดยรวมว่าเหมาะสมหรือไม่ เพื่อให้ได้การบำบัดน้ำเสีย ที่ใช้ต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง

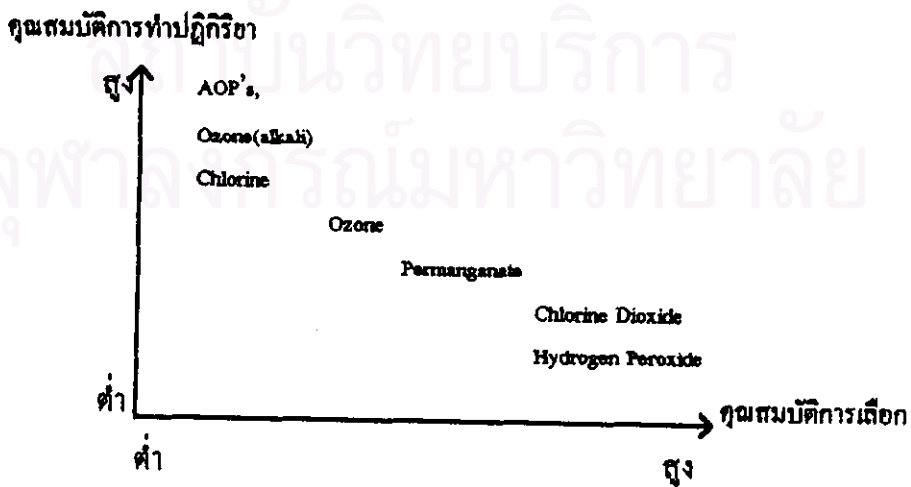
ดังนั้นเพื่อให้ได้ออกซิแดนท์ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำเสียชนิดนั้นๆ จึงควรมีการทดลอง เปรียบเทียบการใช้ ออกซิแดนท์ ชนิดต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียจริง โดยใช้ Pilot Plant หรือทดลองในห้องทดลองก่อน เพื่อให้ได้ออกซิแดนท์ ที่เหมาะสมที่สุด เหตุที่ควรมีการทดลองก่อนทุกครั้งเพราะ ยังไม่มีโมเดลใดที่สามารถคาดการณ์ถึงผลในการบำบัดที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียได้ครบถ้วน ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษา ถึงการใช้กระบวนการเคมีที่ลดออกซิเดชั่น โดยใช้ ออกซิแดนท์ที่ต่างชนิดกันอย่างแพร่หลาย

จากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้สามารถสรุป เปรียบเทียบการใช้งานของ ออกซิแดนท์ ชนิดต่างๆ ในการบำบัดสารพิษต่างๆ โดยแสดงได้ดังตารางที่ 2.4 (Vella และคณะ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าออกซิแดนท์ แต่ละชนิดนั้นมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับสารพิษชนิดต่างๆ ได้แตกต่างกันออกไป การเปรียบเทียบระหว่าง คุณสมบัติการทำปฏิกิริยา(Reactivity) กับ คุณสมบัติการเลือก (Selectivity) สำหรับ ออกซิแดนท์แต่ละชนิด ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าออกซิแดนท์ที่มีคุณสมบัติการทำปฏิกิริยา(Reactivity) สูง มักจะมีคุณสมบัติการเลือก(Selectivity) ต่ำหรือในทางกลับกัน ดังนั้นเพื่อให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างเหมาะสม จึงอาจจะต้องมีการใช้ออกซิแดนท์ถึง 2 ชนิด เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพในที่สุด

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของสารออกซิแดนท์  
(Vella et al. ,1992)

ตัวออกซิแดนท์ <sup>1</sup>	สารมลพิษ		
	ชนิด A Sulfide Cyanide Thiosulfate	ชนิด B Phenols Amines Mercaptans	ชนิด C Paraffins TOCL BTEX
ชนิด A H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	x		
ชนิด B ClO <sub>2</sub> KMnO <sub>4</sub> Ozone(acidic)	x x x	x x x	
ชนิด C H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Catalyst Ozone (alkaline) AOP's	x x x	x x x	x x x

ตัวออกซิแดนท์จะย่อยสลายสารมลพิษตัวไหนนั้น ขึ้นกับชนิดของสารมลพิษและตัวออกซิแดนท์ชนิด นั้นๆ ออกซิแดนท์ชนิด A จะทำปฏิกิริยากับสารมลพิษชนิด A เท่านั้น ในขณะที่ออกซิแดนท์ชนิด C นั้นจะทำปฏิกิริยากับมลพิษได้หลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามก็จะคงเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับสารมลพิษชนิด A



รูปที่ 2.9 Reactivity และ Selectivity ของออกซิแดนท์ชนิดต่างๆ

(Vella et al.,1992)

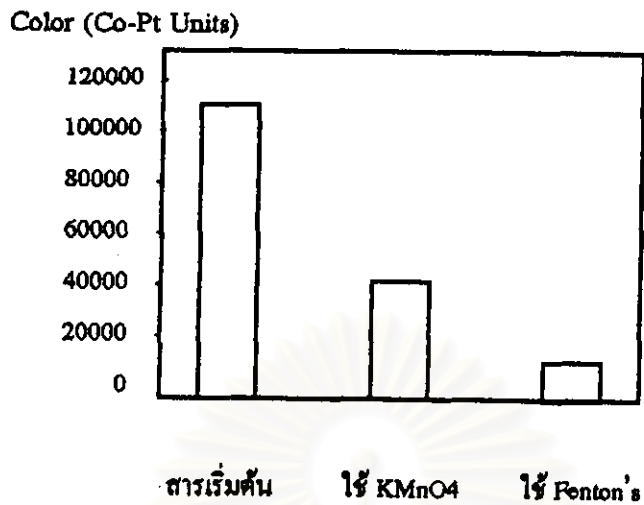
Vella และคณะ (1992) ได้ทำการ เปรียบเทียบถึงการใช้ สาร ออกซิแดนท์ 3 ชนิด คือ โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate ( $\text{KMnO}_4$ )) , สารเคมีเฟนตัน (Fenton's Reagent ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}$ )) , คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide ( $\text{ClO}_2$ )) เพื่อใช้ในกระบวนการเคมีคัลออกซิเดชัน สำหรับน้ำเสียที่เป็นประเภท สารประกอบฟีนอล (Phenols) โดยเปรียบเทียบถึงความสามารถของออกซิแดนท์ดังกล่าว ในด้านการลดพิษของสารประกอบ ฟีนอล โดยสรุปผลได้ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารเคมีเฟนตันนั้นมีความสามารถในการลดพิษของสารประกอบฟีนอลได้ดีเมื่อเทียบกับ ออกซิแดนท์ที่เหลือ

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิแดนท์กับสารประกอบฟีนอล (Vella et al., 1992)

สารประกอบฟีนอล	ออกซิแดนท์		
	$\text{KMnO}_4$	Fenton's <sup>1</sup>	$\text{ClO}_2$
2-Chlorophenol	ดี	ดี	ดี
2-Nitrophenol	พอใช้	ดี	ดี
Phenol	ดี	ดี	ดี
2,4-Dimethylphenol	ดี	ดี	ดี
2,4-Duchlorophenol	ดี	ดี	พอใช้
2,4,6-Trichlorophenol	ดี	ดี	ดี
4-Chloro-m-cresol	ดี	ดี	ดี
2-Nitroaniline	ดี	ดี	ดี
2,4-Dinitrophenol	ดี	ดี	ดี
4,6-Dinitro-o-cresol	พอใช้	ดี	ไม่ดี
4-Nitrophenol	ไม่ดี	ดี	พอใช้

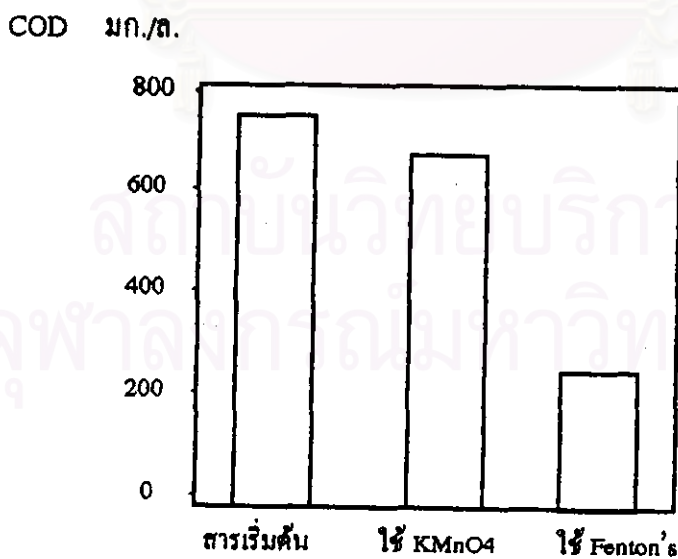
<sup>1</sup> ให้ออกซิเจนพอในการเกิดปฏิกิริยา

การทดลองนี้ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบถึง การใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต และสารเคมีเฟนตัน ในการออกซิไดซ์ Naphthol Yellow's (Acid Yellow) ซึ่งเป็นสีย้อมชนิดหนึ่ง โดยเมื่อเปรียบเทียบ ความสามารถในการกำจัดสีปรากฏว่า สารเคมีเฟนตันมีประสิทธิภาพในการลดสีได้ดีกว่าโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ดังแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การลดสีโดยใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต  
หรือสารเคมีเฟนตัน (Vella et al.,1992)

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัด ซีไอดี ของ Acid Yellow ระหว่างโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับสารเคมีเฟนตันผลปรากฏว่า สารเคมีเฟนตันสามารถลดซีไอดี ได้ดีกว่าโดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การกำจัดซีไอดี โดยใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต  
หรือสารเคมีเฟนตัน (Vella et al.,1992)

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารเคมีเฟนตันในการออกซิไดซ์ สารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารพิษ และ Acid Yellow ซึ่งเป็นสีย้อมชนิดหนึ่งนั้น ปรากฏว่าสารเคมีเฟนตัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในด้านต่างๆ ดีกว่าสารเคมีตัวอื่นที่นำมาเปรียบเทียบกัน

Bowers ,Cho ,Singh (1992) ได้ทำการทดลองใช้ ออกซิแคนท์ คือ สารเคมีเฟนตัน ( $H_2O_2 + FeSO_4$ ) ,โอโซน ( $O_3$  ) ,โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$  ) มาทำการ ออกซิไดซ์ สารประกอบประเภท สารอินทรีย์ที่ให้สี (Aromatic Organics) 15 ชนิด เพื่อศึกษาความสามารถใน การลดความเป็นพิษ และการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดัง ตารางที่ 2.6

จากตารางจะเห็นได้ว่า สารเคมีเฟนตัน ซึ่งก็คือ  $H_2O_2$  โดยมี  $FeSO_4$  เป็นแคตตะลิสต์ และออกซิแคนท์ตัวอื่น จะสามารถลดความเป็นพิษ และ สารอินทรีย์ ได้มาน้อยเพียงไรนั้นขึ้น กับ ชนิดของสารอินทรีย์ที่นำมาทำการทดลองด้วย โดยสารเคมีเฟนตันมีแนวโน้มที่จะสามารถลดพิษและกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตและโอโซน

จากการศึกษาผลงานวิจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าสารเคมีเฟนตันมีความสามารถอย่างยิ่ง ในการออกซิไดซ์ ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการศึกษาสารเคมีเฟนตันเฉพาะนั้นแสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 สรุปผลการใช้สารออกซิแดนท์ในการลดความเป็นพิษ และการกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์	การลดพิษ			การกำจัดสารอินทรีย์		
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	KMnO <sub>4</sub>	O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	KMnO <sub>4</sub>	O <sub>3</sub>
1.Purrolidine	na	na	na	คงเดิม	NR	ไม่ดี
2.Sulfanilic Acid	ดี	NR	ดี	ดี	NR	ดี
3.Naphthalene	ดี	NR	ดี	.	NR	.
4.Diphenylamine	ดี	NR	ดี	ดี	NR	ดี
5.Skatole	ดี	NR	ดี	ไม่ดี	NR	ไม่ดี
6.Benzaldehyde	ดี	ไม่ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
7.Indole	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ไม่ดี
8.Catechol	ดี	ดี	ดี	คงเดิม	ไม่ดี	ไม่ดี
9.Hydroquinone	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
10.Resorcinol	ไม่ดี	ไม่ดี	ไม่ดี	ดี	ดี	ดี
11.Vanilin	ไม่ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
12.Pyrogallol	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
13.Salicylic Acid	ไม่ดี	ไม่ดี	ไม่ดี	ไม่ดี	ไม่ดี	ไม่ดี
14.Coumarin	ดี	NR	NR	ไม่ดี	NR	NR
15.Phtalic Acid	na	na	na	ดี	NR	ไม่ดี

1: เปรียบเทียบกับคอนครีตเริ่มต้น

b: na = ไม่สามารถนำไปใช้ได้, ไม่เป็นพิษตั้งแต่เริ่มต้น

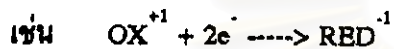
c: NR = สารอินทรีย์ไม่เกิดปฏิกิริยากับออกซิแดนท์ชนิดนี้

ที่มา: Browers et al. (1992)

## 2.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโออาร์พี กับกระบวนการออกซิเดชัน

### 2.4.2.1 ค่าโออาร์พี

ค่าโออาร์พี(ORP) เป็นตัวย่อของคำว่า Oxidation-Reduction Potential มีหน่วยเป็น มิลลิโวลต์ หรือ โวลต์ ค่าโออาร์พี เป็นการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารละลาย โดยค่านี้จะแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณของสารออกซิไดซ์(OX) และสารรีดิวซ์(RED) (อัครา ขนิมฐบุตร,2538)



โดยการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารละลาย แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งจะมีเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารละลายที่มีสารออกซิไดซ์(OX) 1 แอคตีวิตี และ สารรีดิวซ์(RED) 1 แอคตีวิตี โดยค่าที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์เป็น  $E_0$  โวลต์ ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับค่า ORP ดังนั้น ค่าโออาร์พี คือ ค่าที่เท่ากับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า( $E_0$ ) ที่วัดได้จากการเกิดปฏิกิริยาที่มี (OX) = 1 และ (RED) = 1 นั้นเอง

ในสภาวะจริง ค่า  $E_0$  ของแต่ละปฏิกิริยาเคมีจะแตกต่างกันไป ดังตัวอย่างตามตารางที่ 2.7 และแต่ละปฏิกิริยาที่ไม่ได้มีสารออกซิไดซ์(OX) และสารรีดิวซ์(RED) เท่ากับ 1 แอคตีวิตี ดังนั้น จึงมีการหาค่า ORP โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ORP} = \text{E METER} = E_0 + (0.0591/n)\log[(\text{OX})/(\text{RED})] \quad (1)$$

เมื่อ E METER คือ ORP ของสารละลายที่แท้จริง

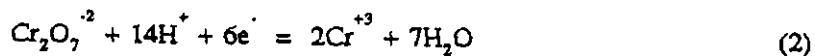
$E_0$  คือ ORP ของสารละลายนั้น เมื่อ (OX) = 1 และ (RED) = 1

n คือ จำนวนแอคตีวิตี ซึ่งเท่ากับจำนวน  $e^-$  ที่ถ่ายเท

(OX) คือ ปริมาณสารออกซิไดซ์ (โมล)

(RED) คือ ปริมาณสารรีดิวซ์ (โมล)

ตัวอย่างเช่น

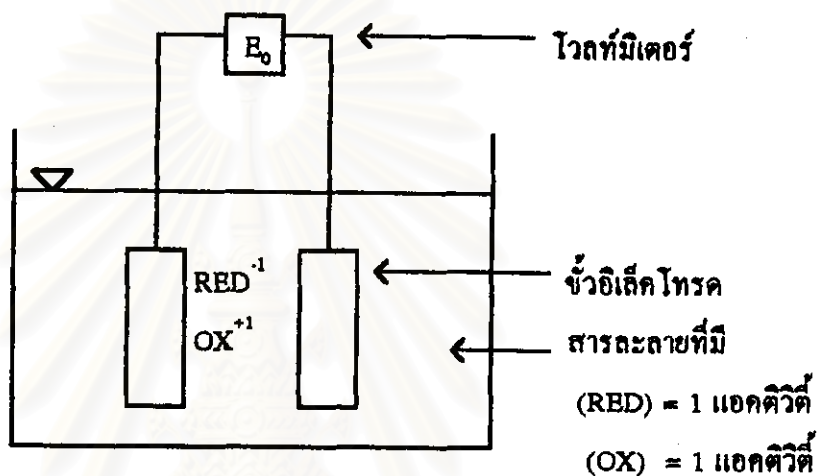


ค่า  $E_0$  เมื่อใช้ไฮโครเจนเป็นอิเล็กโทรด คือ 1.33 โวลต์ ดังนั้น

จากสมการปฏิกิริยา พบว่า

$$E_0 = 1.13$$

$$n = 6$$



รูปที่ 2.12 การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า( $E_0$ ) ของปฏิกิริยาเคมี

ตารางที่ 2.7 แสดงค่า  $E_0$  เมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นอิเล็กโทรดอ้างอิง

ปฏิกิริยา	$E_0$ (โวลต์)
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1.33
$ClO^- + 2H_2O + 2e^- = Cl^- + 2OH^-$	.89
$2CO_2 + N_2 + 2H_2O + 6e^- = 2CNO^- + 4OH^-$	.4
$AgCl + e^- = Ag + Cl^-$ (1M KCL)	.235
(4M KCL)	.199
$2H^+ + 2e^- = H_2$	0.000
$CNO^- + H_2O + 2e^- = CN^- + 2OH^-$	-0.97



แทนค่าลงในสมการที่ 1 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ORP} &= \text{E METER} = E_0 + (0.0591/n)\log[(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})(\text{H}^+)^{14}/(\text{Cr}^{3+})^2] \\ &= 1.33 + (0.591/6)[14\log(\text{H}^+)] + (0.591/6)\log[(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})^2/(\text{Cr}^{3+})^2] \\ &= 1.33 - 0.138\text{pH} + 0.01\log[(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})/(\text{Cr}^{3+})^2] \end{aligned} \quad (3)$$

หมายเหตุ : ค่า  $E_0$  ที่ใช้แสดงในตาราง A เป็นค่า  $E_0$  เมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นอิเล็กโทรด แต่ถ้า ORP METER ส่วนมากมักใช้ Ag-AgCl เป็นอิเล็กโทรดในสารละลาย 4M KCl เป็นอิเล็กโทรด ซึ่งมีค่า  $E_0 = 0.199$  โวลต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 ดังนั้น  $E_0$  จริง จึงเป็น  $E_0 = -0.199$  โวลต์ ดังนั้น  $E_0$  ที่ควรใช้ในสมการจึงควรเป็น  $E_0$  จริง =  $1.33 - 0.199 = 1.131$  โวลต์

จากปฏิกิริยาที่ (2) จะเห็นได้ว่า ถ้า  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  เหลืออยู่ X โมล แสดงว่า  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ถูกกำจัดออกไป  $1-X$  โมลและเกิด  $\text{Cr}^{3+}$  ขึ้น  $2(1-X)$  โมล เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ (3) จะได้

$$\text{ORP} = \text{E METER} = 1.131 - 0.138\text{pH} + 0.01\log[X/(2(1-X))] \quad (4)$$

ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าค่า ORP สามารถบอกได้ถึงความสามารถในการออกซิไดซ์นั่นเอง นั่นคือ ถ้ามีค่า X เหลืออยู่มากก็จะมี  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  อยู่มาก ซึ่งแสดงว่ายังมีความสามารถในการออกซิไดซ์ได้คืออยู่ ซึ่งเมื่อค่า X มีอยู่สูงก็จะทำให้ ORP สูงนั่นเอง

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้สามารถนำค่าโออาร์พี ไปใช้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียได้

#### 2.4.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอชกับค่าโออาร์พี

จากสมการที่ (4) ในหัวข้อที่ 2.4.2.1 จะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชนั้นมีความสัมพันธ์กับค่า ORP อยู่ โดยเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าโออาร์พีลดลง ดังนั้น ถ้าหากจะใช้ค่า ORP ในการควบคุมระบบบำบัดในการใช้งานจริงแล้ว จะต้องทราบถึงความสัมพันธ์นี้ด้วย เพราะหากค่า ORP เท่ากันแต่ค่าพีเอชต่างกันแล้ว จะมีผลต่อปริมาณสารที่เหลืออยู่แตกต่างกันไป ซึ่งจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้ถ้าหากคำนึงถึงค่า ORP เพียงอย่างเดียว

## 2.5 สารเคมีเฟนต์ัน (Fenton Reagent's)

### 2.5.1 ความเป็นมาของสารเคมีเฟนต์ัน

ในปี ค.ศ.1876 , H.J.H Fenton เป็นคนแรกที่ได้เสนอถึง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง เฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ )

ในปี ค.ศ.1900 , Fenton ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมที่สมบูรณ์ขึ้น แสดงให้เห็นว่าสารละลายผสมระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ เฟอร์รัสไอออน นั้นจะมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ได้สูง ซึ่งได้มีผู้ทำการศึกษาต่อมาอีกมากมาย แต่ผู้ที่สามารถแสดง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นของ สารเคมีเฟนต์ัน (Fenton's Reagent) ได้อย่างชัดเจน คือ Able (Flaherty และ Huang ,1992)

ในปี ค.ศ.1934 , Haber & Weiss ได้เสนอบทความที่แสดงถึงกระบวนการทางเคมีของ สารเคมีเฟนต์ัน ว่าจะส่งผลทำให้เกิด อนุมูลอิสระ (free radicle) เป็นปฏิกริยาถูกโซ่ต่อไป โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) และ เฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ในสารละลาย

ในปี ค.ศ.1946 ,Baxendale ,ในปี 1947 , Mertz & Waters และในปี 1949 Barb ได้เสนอถึงกลไกและปฏิกริยาที่เกิดขึ้น สำหรับกระบวนการทางเคมีของสารเคมีเฟนต์ัน

ในปี ค.ศ.1971 สมการการเกิดปฏิกริยาของสารเคมีเฟนต์ันก็ได้ถูกพิสูจน์ และได้รับการยอมรับในเวลาต่อมา (Lipczynska-Kochany ,1994)

### 2.5.2 ลักษณะโดยทั่วไปของสารเคมีเฟนต์ัน (Fenton's Reagent )

สารเคมีเฟนต์ันนั้นเป็นการผสมกันระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์( $H_2O_2$ ) กับเหล็ก ( $Fe^{2+}$  , $Fe^{3+}$ ) โดยมีเหล็กเป็นแคตตะลิสต์ โดยจะทำปฏิกริยาก่อให้เกิดไฮดรอกซิล แรดิคัล (hydroxyl radicle) ซึ่งมีค่า ศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation Potential) สูง โดยสูงกว่าคลอรีนถึง 200% และสูงกว่าโอโซน ( $O_3$ ) 25% โดยมีค่าสูงรองจาก อนุมูลฟลูอริน (Fluorine Radicle) เท่านั้น โดยแสดงลำดับศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation Potential) ดังตารางที่ 2.8

ความสามารถในการออกซิไดซ์ที่สูงของอนุมูลไฮดรอกซิล ซึ่งได้จากสารเคมีเฟนต์ันนั้น ทำให้มีการนำสารเคมีเฟนต์ันไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ในกระบวนการบำบัดของเสีย ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางด้านน้ำ อากาศ ดิน ตลอดจนใช้บำบัดของเสียอันตรายด้วย

ตารางที่ 2.8 ศักย์ออกซิเดชันของอนุมูลชนิดต่างๆ โดยเปรียบเทียบับ  
สารออกซิแดนท์ที่เป็นโมเลกุลปกติ(FlahertyและHuang1992)

Oxidant	Potential (volts)
$F_2 + 2e^- \longrightarrow 2F^-$	2.87
$HO\cdot + H^+ + e^- \longrightarrow H_2O$	2.33
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \longrightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	1.68
$O_3 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow O_2 + H_2O$	2.07
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow 2H_2O$	1.77
$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	1.39
$ClO_2(g) + e^- \longrightarrow ClO_2^-$	0.95
$ClO_2^- + 2 H_2O + 2e^- \longrightarrow Cl^- + 2OH^-$	0.9

### 2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตัน

#### 2.5.3.1 พีเอช

Gregor (1992) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปฏิกิริยาระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ เหล็ก เพื่อให้ได้ อนุมูลไฮดรอกซิล ( $HO\cdot$ ) จะเกิดได้ดีที่ ค่าพีเอช ต่ำประมาณ 3

#### 2.5.3.2 อุณหภูมิ

Flaherty และ Huang (1992) ได้ศึกษาการกำจัด ซีโอดี โดยใช้สารเคมีเฟนตัน พบว่าเมื่อ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นผลปรากฏว่า สามารถกำจัด ซีโอดี ในน้ำเสียได้มากขึ้น และลดเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

Lipczynska-kochany (1994) กล่าวว่า การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันได้ดียิ่งขึ้น

### 2.5.3.3 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

Flaherty และ Huang (1992) ได้ศึกษาถึงการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีคือ Reactive Blue#15 ซึ่งมีค่า ซีไอดี ประมาณ 2140 มก./ล. โดยใช้ระยะเวลาการกวน ประมาณ 1-2 ชั่วโมง

Powell และคณะ ได้ศึกษาถึงการใช้กระบวนการเคมีคลอออกซิเดชัน ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงฟอกย้อม ซึ่งมีค่า ทีไอซี(TOC) เฉลี่ยประมาณ 300 มก./ล. โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา ประมาณ 2 ชั่วโมง

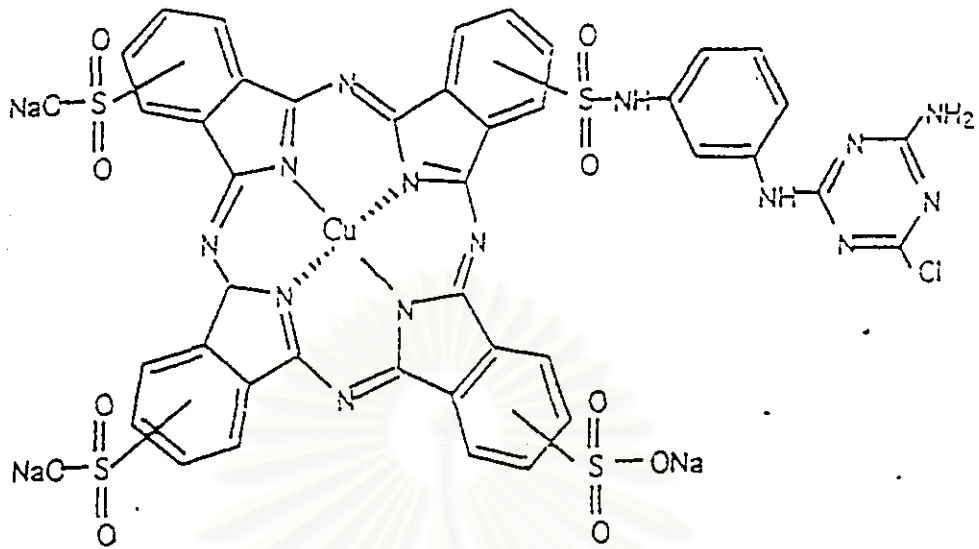
Gregor (1992) ได้ทดลองกลดสีของน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ประกอบด้วย สีย้อมชนิดต่างๆ โดยในการทดลองใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาเพื่อกลดสีได้

การศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ในการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ นั้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของน้ำเสียที่จะนำมาทำการบำบัด ดังนั้นในการนำ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มาทำการบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ นั้น จึงต้อง มีการทดลองก่อนเสมอ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด

### 2.5.3.4 อัตราส่วนระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ : เหล็ก

Powell และคณะ(1992) ได้ทำการศึกษาการใช้สารเคมีเฟนตัน ในการกลดสี และค่าทีไอซี (TOC) ของน้ำเสียจริงจากขั้นตอนต่างๆ ของโรงฟอกย้อม ผลปรากฏว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนที่ใช้ระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ เหล็ก มีผลต่อความสามารถในการกลดสีของน้ำเสีย โดยอัตราส่วนที่ทดลองเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 10 : 1 ถึง 110 : 1 โดยโมล ทั้งนี้แนะนำให้ใช้ที่อัตราส่วน 10 : 1 หรือ 20 : 1

Flaherty และ Huang (1992) ได้ทำการทดลองใช้สารเคมีเฟนตันในการกลด สีไอดี ของน้ำเสีย Reactive Blue#15 ซึ่งเป็นสีย้อมชนิดหนึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ เหล็ก ระหว่าง 1 : 1 ถึง 30 : 1 โดยโมล ปรากฏว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนที่ใช้มีผลต่อความสามารถในการกลด สีไอดี



รูปที่ 2.13 โครงสร้างโมเลกุลของ Reactive Blue #15  
ที่มา: Flaherty และ Huang (1992)

#### 2.5.3.5 ความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ เหล็ก

Powell และคณะ(1992) ได้ทำการศึกษาการใช้สารเคมีฟีนตัน ในการลดสี และค่าที่ไอซี (TOC) ของน้ำเสียจริงจากขั้นตอนต่างๆ ของโรงฟอกย้อม ผลปรากฏว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้สามารถลดสีได้เพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง

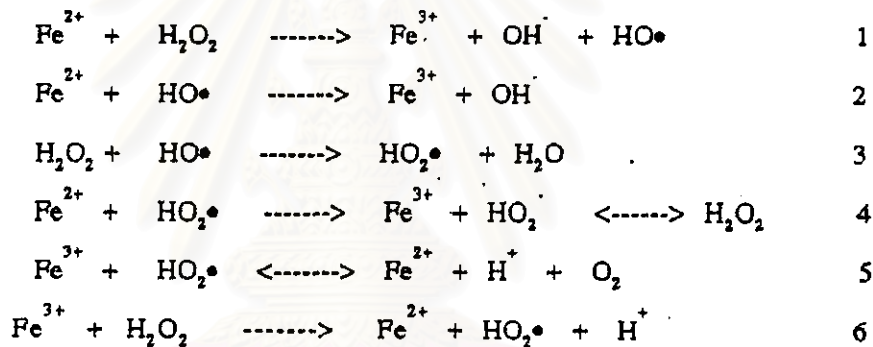
#### 2.5.3.6 ชนิดของน้ำเสียที่ถูกบำบัด

Powell และคณะ(1992) ได้ทำการศึกษาการใช้สารเคมีฟีนตัน ในการลดสี และค่าที่ไอซี (TOC) ของน้ำเสียจริงจากขั้นตอนต่างๆ ของโรงฟอกย้อม พบว่าสำหรับน้ำเสียแต่ละชนิดนั้นมีความต้องการปริมาณ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน และอัตราส่วนระหว่าง  $H_2O_2$  : Fe ที่ใช้ก็แตกต่างกันด้วย

Gregor (1992) ได้ทำการศึกษาการลดสีจากน้ำเสียด้วยกระบวนการออกซิเดชัน โดยน้ำเสียนั้นประกอบด้วยสี่ ชนิดต่างๆจากโรงฟอกย้อมพบว่าชนิดของสีย้อมมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของ สารเคมีเฟนตัน โดยสีย้อมที่แนะนำไม่ให้เกิดปฏิกิริยาบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันคือ สีย้อมแวต (VAT) สีย้อมคัสเพอร์ส(DISPERSE) เป็นต้น

#### 2.5.4 การเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตัน

สมการการเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตัน ที่จะแสดงต่อไปนี้ เป็น Pure System ก็คือ แสดงเฉพาะปฏิกิริยา ที่จะเกิดสำหรับสารเคมีเฟนตันเท่านั้น ซึ่งได้พิสูจน์ และได้รับการยอมรับ (Flaherty,1992 )

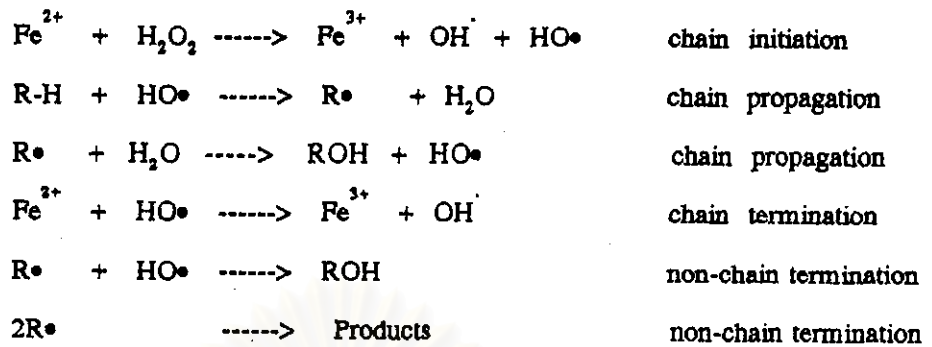


โดยสมการทั้งหมด จะไม่ได้เกิดขึ้นทุกสมการ แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ เหล็ก ( $\text{Fe}^{2+}$ ) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) โดยมี

- เมื่อเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) มีปริมาณมากเกินไป การเกิดปฏิกิริยาจะเป็นไปตามสมการ 1 และ 2
- เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) มีปริมาณมากเกินไป ในสถานะที่เป็นกรด การเกิดปฏิกิริยาตามสมการ 5 และ 6 จะไม่เกิดขึ้น แต่จะเกิดปฏิกิริยาตามสมการ 1,3,4 แทน

#### 2.5.5. การเกิดปฏิกิริยาของ สารเคมีเฟนตันกับสารอินทรีย์

ปฏิกิริยาของ สารเคมีเฟนตันกับสารอินทรีย์ นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งด้วยกลไกแบบลูกโซ่(Chain) หรือ ไม่โซ่ลูกโซ่( Nonchain) ซึ่งกลไกเหล่านี้ ได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง (Flaherty,1992) โดยแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



Flaberty (1992) ได้อ้างถึงคำกล่าวของ Walling (1975) ที่กล่าวว่าได้มีการคาดกันว่าอนุมูลสารอินทรีย์(Organic Radical) 3 รูปแบบที่เกิดขึ้นจะสามารถไปรีดิวซ์  $Fe^{3+}$  ให้กลับมาเป็น  $Fe^{2+}$  ได้ อีกทั้งทำให้เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ ยาวออกไปอีก จึงจะทำให้มีการทำปฏิกิริยากับ สารอินทรีย์ ทำให้สลายตัวได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

### 2.5.6 การศึกษาการใช้งานสารเคมีเฟนตันที่ผ่านมา

จะเห็นได้ว่าสารเคมีเฟนตันในสถานะที่เป็นกรด จะสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล ( $HO^{\cdot}$ ) ซึ่งเป็น ออกซิแดนซ์ ที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง สามารถใช้กับสารอินทรีย์ได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงถูกนำไปใช้ในหลายรูปแบบเช่น สำหรับสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน , น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม , ดินที่มีการปนเปื้อน , น้ำเสียจาก Land Field ที่มีสารพิษ โดยสิ่งที่จะได้รับการบำบัดตามที่กล่าวมานั้นมักจะมีสารเหล่านี้ปนอยู่ เช่น Aromatic Compounds , Phenols , Chlorophenols, Benzene , Hydroxy methanesulfonic acid, Sulfide ,Organic Dye เป็นต้น โดยในการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการนำเอาสารเคมีเฟนตันไปใช้ในการทดลองบำบัดของเสียต่างๆ แต่ในที่นี้ขอแสดงเฉพาะการทดลองที่ใช้สารเคมีเฟนตันในการบำบัดน้ำเสียมีสีจากโรงฟอกย้อม โดยแสดงได้ดังต่อไปนี้

Flaberty และ Huang (1992) ได้ทำการทดลองโดยใช้ สารเคมีเฟนตัน ในการออกซิไดซ์ Copper Complex Dye Waste Water โดยประกอบด้วย reactive blue # 15 โดยมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.13 โดยได้ศึกษาถึงความสามารถในการลด สีโอดี ของ สารเคมีเฟนตัน โดยได้ทดลองใช้แคตตะลิสต์ ทั้ง เฟอรัสซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) และ เฟอริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ผลปรากฏว่าให้ประสิทธิภาพในการ ออกซิไดซ์ได้พอๆ กัน โดยใช้เวลาทำปฏิกิริยา ประมาณ 2

ชั่วโมง ที่อัตราส่วน  $H_2O_2 : Fe$  ประมาณ 1 : 1 ถึง 30 : 1 โดยสามารถลดซีไอดี ได้ตั้งแต่ 95% ถึง 60% ที่ 25 องศาเซลเซียส

Gregor (1992) ได้ทำการทดลองใช้สารเคมีเฟนตัน เปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดวิธีอื่นๆที่ใช้สารเช่น  $UV/H_2O_2$ ,  $Ozone/H_2O_2$  เพื่อลดสีของน้ำเสีย Textile ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยแยกตาม ชนิดของ Dye ต่างๆเช่น Reactive Dyes, Direct Dyes, Metal Complex Dyes, Pigment Dyes, Disperse Dyes, Vat Dyes และ Mixture โดยแต่ละน้ำเสียสังเคราะห์จะมีความเข้มข้นของสีข้อม 10 มก/ก และสารเคมีเฟนตันถูกใช้ที่ อัตราส่วน  $H_2O_2 : Fe$  คือ 20 : 1 โดยโมล, อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส, พีเอช 3, เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 30 นาที เมื่อได้ทำการทดลองการบำบัดเปรียบเทียบกับวิธีอื่นแล้ว ได้สรุปแนะนำการเลือกใช้ออกซิเจนต์ แต่ละตัวตามชนิดของสีข้อม ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 กระบวนการออกซิเดชั่นที่แนะนำสำหรับ  
สีข้อมชนิดต่างๆ (Gregor, 1992)

TYPE OF DYES	FENTON(FRS)	UV/ $H_2O_2$	$O_3/H_2O_2$
REACTIVE	+	+	+
DIRECT	+	+	+
METAL COMPLEX	+	+	+
PIGMENT	+	-	-
DISPERSE	-	+	+
VAT	0	-	-
MIXTURES	0	+	0

แนะนำให้ใช้ +  
ไม่แนะนำให้ใช้ -  
สามารถนำไปใช้ได้ 0

Powell และคณะ (1992) ได้ทำการทดลองโดยใช้ สารเคมีเฟนตัน และ โอโซน ( $O_3$ ) ในการลดสี และ ทีโอซี(TOC) จากน้ำเสียจริง โดยนำน้ำเสียมาจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกย้อม ซึ่งน้ำเสียจากแต่ละขั้นตอนนั้น จะมีส่วนประกอบของสีข้อม ทั้งปริมาณและชนิดแตกต่างกัน โดยจากผลการทดลอง ทำให้เห็นได้ว่าการใช้ สารเคมีเฟนตัน เพื่อลดสีและ



ที่โอซิเจน อัตราส่วน  $H_2O_2 : Fe$  โดยโมล ที่ใช้ , ความเข้มข้นของ  $H_2O_2$  และ  $Fe$  ที่ใช้ จะเปลี่ยนไปขึ้นกับชนิดน้ำเสียเป็นสำคัญ

## 2.6 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชัน เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับกำจัดอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยการที่จะกำจัดอนุภาคแขวนลอยนี้มีหลายวิธี ขึ้นกับขนาดและน้ำหนักของอนุภาค เช่น ถ้าอนุภาคมีน้ำหนักมาก เมื่อตั้งทิ้งไว้ในเวลาที่เพียงพอ อนุภาคเหล่านั้นก็สามารถตกตะกอนได้เอง หรือถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่ การกรองก็จะสามารถกำจัดอนุภาคนั้นออกได้ ภายในเวลาที่จำกัด การกรองไม่สามารถกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่บางแบบออกได้หมด ซึ่งเรียกอนุภาคนี้อีกว่า “คอลลอยด์”

การกำจัดอนุภาคคอลลอยด์เหล่านี้ จึงใช้วิธีการทำให้เกิดการจับกลุ่มของอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ จนเป็นก้อน เรียกว่า ฟล็อก (Floc) ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ง่าย กระบวนการในการทำให้คอลลอยด์หลายๆ อนุภาคจับตัวกันเป็นฟล็อก เรียกว่า “โคแอกกูเลชัน” (Coagulation)

กระบวนการโคแอกกูเลชัน เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ รวมตัวกันและจับกันเป็นฟล็อก ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาค ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการกวนเร็วนั่นเอง

2) ขั้นทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากกระทบ หรือสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of Colloidal Partides) โดยเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การจะสัมผัสกันและเกาะติดกันแน่นจะมีโอกาสเกิดมากขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการกวนเร็วนั่นเอง

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันมีได้หลายชนิด สำหรับในงานวิจัยนี้จะเลือกปูนขาวเป็นสารโคแอกกูแลนต์ เพื่อเป็นการเพิ่มค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟ้นต้นด้วย เพื่อเตรียมเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพต่อไป

## 2.5 ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์แบบเอสบีอาร์ (Sequence Batch Reactor)

ระบบเอสบีอาร์ (SBR) เป็นระบบที่มีมานานแล้ว โดยหลักการเป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบแอคทีเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เพื่อให้ควบคุมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย

โดยลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์ประกอบด้วย ปฏิกริยาทำหน้าที่ 5 ขั้นตอนเรียงตามลำดับของงานได้ดังนี้

- 1) เติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา (Fill)
- 2) เติมอากาศเพื่อทำปฏิกิริยา (React)
- 3) ให้จุดชีพจมน้ำตก (Sedimentation)
- 4) ระบายน้ำส่วนใสที่ป่าบัดแล้วออกจากระบบ (Draw)
- 5) ระยะเวลาพัก (Idle)

การทำงานครบทั้ง 5 ขั้นตอน เรียกว่า ทำงานครบวัฏจักร(Cycle) ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพจะต้องเกิดขึ้นครบวัฏจักร ทั้งนี้ในทางปฏิบัติจำนวนวัฏจักรอาจมีมากกว่า 1 ไร่ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียและช่วงเวลาในการเกิดน้ำเสีย เพราะระบบต้องมีเวลาสำหรับปิดเครื่องเติมอากาศ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเซลล์จุลินทรีย์นั่นเอง ดังนั้น ถ้าเกิดน้ำเสียตลอดเวลาทั้งจำเป็นต้องมีถังปฏิกิริยามากกว่า 1 ไร่ โดยในเวลาใดเวลาหนึ่งตั้งแต่ 1 ไร่จะมีหน้าที่ไม่ตรงกัน ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างไม่ขาดตอน (มันถิ่น ตันจตุเวศม์,2539)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย