

บทที่ 2

บททวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมจะมีการใช้น้ำที่แตกต่างกันตามแต่ละประเภทหรือชนิดของโรงงาน บางโรงงานอาจต้องการใช้น้ำเพียงเพื่อการอุปโภคบริโภคของคนงานและเจ้าหน้าที่ของโรงงานเท่านั้น แต่บางโรงงานอาจต้องการใช้น้ำในการผลิตสินค้า โดยสามารถแบ่งประเภทของการใช้น้ำในกระบวนการต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ดังนี้

- ใช้น้ำเป็นตัวประกอบของผลิตภัณฑ์
- ใช้น้ำเป็นตัวทำความสะอาดล้างวัตถุดิบ
- ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
- ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก็คือน้ำเสียของโรงงานซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

2.1.1 น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น (Cooling Water) เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยปกติน้ำทิ้งประเภทนี้ไม่ค่อยมีสิ่งปนเปื้อนมากนัก นอกจากโรงงานบางประเภทที่มีน้ำสกปรกมาก ๆ น้ำหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิ 40 – 60 ° ซ ซึ่งอุณหภูมิขนาดนี้ถือว่าเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม

2.1.2 น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง (Wash Water) เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่าง ๆ น้ำล้างเครื่องจักร น้ำล้างทำความสะอาดพื้นโรงงาน น้ำทิ้งจากกระบวนการเหล่านี้มีสิ่งเจือปนมาก เช่น สารอินทรีย์ สารเคมี สารตะกอนสกปรก และสารที่ละลายน้ำได้

2.1.3 น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (Process Wastewater) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตเช่น โรงงานกระดาษ โรงงานน้ำตาล เป็นต้น น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตนี้โดยมากจะมีความสกปรกมากกว่าน้ำทิ้งประเภทอื่น ๆ ของโรงงานนั้น ๆ

2.1.4 น้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่น ๆ เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการอาบน้ำของคนงาน น้ำทิ้งจากห้องน้ำ น้ำทิ้งจากหม้อน้ำ น้ำทิ้งจากเครื่องคอนเดนเซอร์ และอื่น ๆ

ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ถูกใช้ กระบวนการ และปัจจัยอื่น ๆ อีกมากมาย น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีสารประกอบเคมีที่หลากหลายซึ่งอาจมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเช่น โลหะหนัก แต่บางอุตสาหกรรมก็อาจไม่มีโลหะหนักก็ได้ แต่อาจมีพวกสารอินทรีย์เป็นจำนวนมากก็ได้ คือ มีค่าซีโอดี (COD) หรือบีโอดี (BOD) สูง ๆ

2.2 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอมีกระบวนการผลิตดังในแผนผังตามรูปที่ 2.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 การเตรียมวัสดุสิ่งทอสำหรับการย้อม

เส้นด้ายหรือผ้าที่ผลิตออกจากโรงทอ นั้นยังมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ อยู่มาก เช่น แป้งที่ใช้ลงเส้นยีน ซีฟิ่ง กาว สีธรรมชาติ ฯลฯ สารพวกนี้จะเป็นอุปสรรคในการย้อมสี ทำให้น้ำย้อมไม่สามารถซึมเข้าเส้นใยได้อย่างทั่วถึง ทำให้ผลที่ได้จากการย้อมนั้นต่ำ ดังนั้นก่อนที่จะนำด้ายหรือผ้าไปทำการย้อมจึงต้องมีกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ เหล่านี้ออกเสียก่อน

การเอาสิ่งเจือปนซึ่งเป็นอุปสรรคในการย้อมเส้นใยออกนี้ เรียกว่า “การเตรียมวัสดุสิ่งทอ” ไม่ว่าจะเป็นการย้อมหรือการพิมพ์ต่างก็ต้องการด้ายหรือผ้าที่สะอาดเพื่อให้สีซึมเข้าได้ง่ายที่สุด ขบวนการเตรียมวัสดุสิ่งทอนี้มีหลายขั้นตอนซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยและลักษณะของผ้า

การเอาสิ่งเจือปนออกจากวัสดุสิ่งทอหรือการทำความสะอาดสิ่งทอนี้ อาจจะทำในขั้นตอนที่เป็นด้ายหรือเป็นผ้าก็ได้แล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งาน กรรมวิธีในการทำความสะอาดสิ่งทอที่สำคัญได้แก่ การลอกแป้ง (Desizing) การขจัดสิ่งสกปรกจำพวกไขมัน น้ำมัน ซีฟิ่ง (Scouring) และการฟอกขาว (Bleaching) เป็นต้น

2.2.1.1 การลอกแป้ง (Desizing)

ผ้าบางประเภท เช่น ผ้าฝ้าย เมื่อทอเสร็จแล้วจะมีเส้นใยโผล่ขึ้นมาบนผิวผ้ามาก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการย้อมสี เพราะจะทำให้สีที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องนำเอาผ้าไปเผาปลายขนออกเสียก่อนที่จะนำเข้าสู่ขบวนการลอกแป้ง

แป้งที่ติดอยู่บนเนื้อผ้ามาจากการลงแป้งบนด้ายในขบวนการทอผ้าเพื่อทำให้เส้นด้ายแข็งตัวพอที่จะทนทานต่อการเสียดสีของเครื่องทอ ดังนั้นเมื่อทอเป็นผ้าแล้วก่อนที่จะนำไปย้อมต้องนำไปลอกแป้งออกให้หมดเสียก่อนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการย้อมสีภายหลัง

การลอกแป้ง คือ ขบวนการที่ทำให้แป้งสลายตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ซึ่งทำได้ 4 วิธี คือ

- แห้งและหมักด้วยกรด (Acid – Stuping)
- แห้งและหมักโดยอาศัยเชื้อต่าง ๆ (Rot – Stuping)
- ต้มด้วยสารช่วยย้อม (Enzyme Desizing)
- ใช้สารออกซิไดส์ (Oxidizing Agent)

ซึ่งการลอกแป้งนี้จะใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในแต่ละโรงงาน แต่โดยทั่วไปแล้วโรงงานอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีใช้สารออกซิไดส์ ซึ่งสารที่นิยมใช้กัน คือ โซเดียมโบรไมท์ (Sodium bromite) โดยการอัดผ้าด้วยน้ำยาที่มีแอกทีฟโบรไมท์และโซดาไฟ ทำการหมักผ้าไว้ 15 – 20 นาทีแล้วจึงทำการล้างเอาน้ำยาออก

2.2.1.2 การขจัดสิ่งสกปรก (Scouring)

วิธีขจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยอาจกระทำได้ 2 วิธี คือ ใช้หม้ออัดความดันที่เรียกว่า หม้อเคียร์ (Kier) หรืออาจใช้ขบวนการแบบต่อเนื่องโดยใช้น้ำยาค่าง (นิยมใช้โซดาไฟ) ผสมกับสารลดความตึงผิว (Surfactant) เช่น สบู่ หรือผงซักฟอกลงในหม้อต้ม ค่างและสารลดความตึงผิวจะทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนที่ติดอยู่กับเส้นใยให้ละลายออกมาอยู่ในน้ำ และเมื่อทำการซักล้างเอาน้ำยาออกก็จะได้เส้นใยที่ปราศจากสิ่งสกปรก

2.2.1.3 การฟอกขาว (Bleaching)

สิ่งสกปรกต่างๆในเส้นใยจะถูกกำจัดออกไปในขบวนการลอกแป้งและการขจัดสิ่งเจือปน แต่เส้นใยที่ได้จะยังคงเป็นสีธรรมชาติอยู่ซึ่งจะมีผลต่อการย้อม ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสีธรรมชาตินี้ออกด้วยวิธีการที่เรียกว่า การฟอกขาว ซึ่งถือว่าเป็นขบวนการทำความสะอาดขั้นสุดท้ายก่อนนำเส้นใยไปย้อมหรือพิมพ์สี

การฟอกขาวทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีรีดักชัน (Reduction Method) และวิธีออกซิเดชัน (Oxidation Method) แต่วิธีรีดักชันไม่นิยมใช้กันแล้วในปัจจุบัน

วิธีออกซิเดชันกระทำได้โดยใช้สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดส์ สารเคมีที่นิยมใช้กันคือ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium Hypochlorite , NaClO) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide , H₂O₂) และสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์อื่น ๆ การที่จะเลือกใช้สารเคมีตัวไหนขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย เครื่องมือที่ใช้ในการฟอก และความต้องการในการนำสิ่งทอที่ฟอกขาวแล้วไปใช้งาน เช่น ถ้านำเส้นใยไปย้อมสีเข้มก็ไม่จำเป็นที่จะต้องฟอกเส้นใยให้ขาวมากนัก แต่ถ้าต้องการนำเส้นใยไปย้อมสีอ่อน ก็ต้องจำเป็นที่จะต้องฟอกเส้นใยให้ขาวสะอาด ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกสารเคมีและขบวนการที่ใช้ฟอก เส้นใยที่ผ่านการฟอกด้วยสารเคมีเมื่อนำไปซักล้างแล้วจะได้เส้นใยที่สะอาดพร้อมที่จะนำไปย้อมสีหรือพิมพ์สีต่อไป

2.2.1.4 การชุบมัน (Mercerizing)

การชุบมันไม่ได้อยู่ในขบวนการทำความสะอาดสิ่งทอหรือเส้นใยแต่อยู่ในขั้นตอนเตรียมวัสดุสิ่งทอ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการชุบมันก็เพื่อที่เพิ่มความมันของวัสดุสิ่งทอ ทำให้วัสดุสิ่งทอดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้นและทำให้เส้นใยอ่อนนุ่มมากขึ้น

การชุบมันจะทำกับผืนผ้า โดยจะนำผ้าไปชุบน้ำยาโซดาไฟ ผ้าจะหดตัวลง จากนั้นจึงใช้เครื่องมือดึงผ้าให้ขยายเท่าเดิม และล้างโซดาไฟออกโดยเร็วด้วยน้ำ

2.2.2 การย้อมสี

วัตถุประสงค์ของการย้อมสีเส้นด้ายหรือผ้านั้นจะต้องให้ได้สีที่สม่ำเสมอหมดตลอด สีย้อมที่ใช้จะต้องติดถึงภายใน และสีย้อมเมื่อติดลงบนเส้นใยหรือผ้าแล้วจะต้องทนทานต่อการซักล้างได้ดี ไม่หลุดลอกออกได้โดยง่าย

ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการย้อมสีมีดังนี้คือ

2.2.2.1 เส้นใย (Fibre)

เส้นใยที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันอาจแบ่งได้เป็น 2 หมู่ใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์

เส้นใยธรรมชาติอาจจะผลิตมาจากพืชหรือสัตว์ก็ได้ เส้นใยธรรมชาติที่ผลิตจากพืชได้แก่ฝ้ายและปอ ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ส่วนเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ได้แก่ ขนสัตว์และไหม ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นพวกโปรตีน

เส้นใยสังเคราะห์ผลิตขึ้นจากสารประกอบเคมีโดยตรงมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กัน คือ โพลีเอสเตอร์และโพลีอะคริลิก

เส้นใยทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์จะมีลักษณะที่เหมือนกันคือประกอบด้วยโมเลกุลเล็ก ๆ ต่อกันเป็นเส้นยาวเหมือนเชือก เมื่อนำเส้นใยไปดึงยืดจะทำให้เส้นใยเรียงตัวกันได้ดีขึ้น การเรียงตัวภายในเส้นใยจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เรียงตัวกันเป็นระเบียบแน่น และส่วนที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบอยู่อย่างหลวม ๆ

ส่วนที่เรียงตัวกันอย่างหลวม ๆ ของเส้นใยหรือที่เรียกว่าเป็นช่องว่าง (Pore) จะมีความสัมพันธ์กับการเลือกขนาดโมเลกุลของสีย้อมหรือชนิดของสีย้อม เมื่อนำเส้นใยไปแช่น้ำจะเกิดการพองตัวเฉพาะส่วนที่เป็นเส้นใยซึ่งเรียงตัวกันอย่างหลวม เส้นใยแต่ละชนิดจะพองตัวไม่เท่ากัน ดังนั้นขนาดโมเลกุลของสีย้อมที่จะแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างจึงไม่เท่ากันด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งนอกเหนือจากคุณสมบัติทางเคมีโดยตรงระหว่างสีย้อมกับเส้นใยที่ทำให้เส้นใยบางชนิดไม่ติดสีย้อมหรือติดสีย้อมเพียงอ่อน ๆ

2.2.2.2 สีย้อม (Dye)

สีย้อมที่จะใช้ย้อมเส้นใยนั้นมีอยู่หลายชนิด การใช้สีย้อมชนิดใดกับเส้นใยชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับอำนาจในการรวมตัวของสีกับเส้นใยที่ต้องมีมากกว่าอำนาจในการรวมตัวของสีกับน้ำ ซึ่งสภาวะเช่นนี้จะเกิดได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการติดกับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (Bond) ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ประเภทด้วยกัน คือ

- พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)
- แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' forces)
- แรงไอออนิก (Ionic forces)
- พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond)

การติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยจะต้องประกอบไปด้วยอย่างน้อยแรง 2 ชนิดขึ้นไป แรงดูดติดทางเคมีที่จะทำให้การยึดติดที่ติดที่สุดคือ พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond)

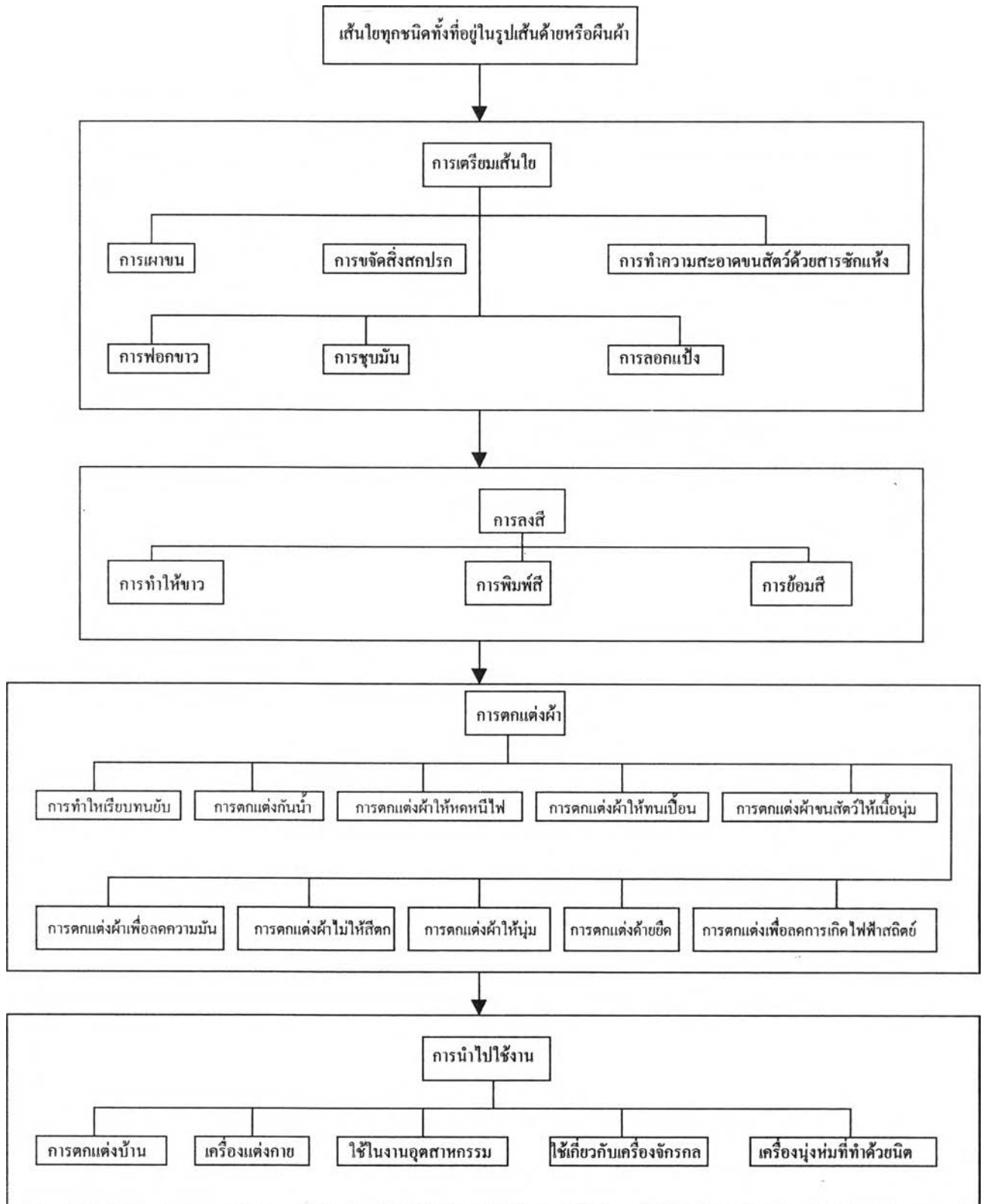
นอกจากนี้รูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีก็มีผลกระทบต่อการย้อมสีด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะยิ่งผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นทำให้เส้นใยติดสีย้อมได้ดียิ่งขึ้น หรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมแบนและมีความกว้างมากกว่าความยาว จะทำให้การติดสีมีความคงทนสูงมากขึ้น เป็นต้น

การที่โมเลกุลของสีย้อมยึดติดกับเส้นใยเป็นผลเนื่องมาจากแรงทางเคมีและทางผลทางฟิสิกส์ร่วมกัน โดยมีสารบางอย่างช่วยในการย้อมด้วย เพื่อที่จะให้โมเลกุลของสีย้อมและโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดีขึ้น สารที่ช่วยนี้เรียกว่า สารช่วยย้อม

2.2.2.3 สารช่วยย้อม (Additives)

สารช่วยย้อมเป็นสารเคมีที่เติมลงไปในช่วงของการย้อมสี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้เส้นใยโดยสีได้สมำเสมอขึ้นและทำให้สีมีความคงทนมากขึ้น สารช่วยย้อมแบ่งออกเป็น 7 ชนิด คือ

- กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอนเมื่อใช้สีย้อมแอซิด
- ด่าง ใช้สำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลสเมื่อย้อมด้วยสีย้อมอะโซอิก แวก และกำมะถัน
- เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีย้อมแอซิดและการย้อมเส้นใยเซลลูโลส
- สารช่วยให้สีย้อมสมำเสมอใช้กับสีแวก สีดิสเพอร์ส และสีแอซิดบางชนิด
- สารนำ (Carriers) ใช้ในการย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารละลายอินทรีย์ ใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารละลายอินทรีย์

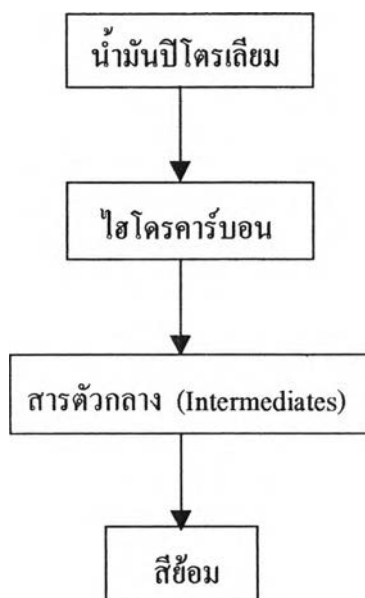


รูปที่ 2.1 แผนผังการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

2.3 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม

2.3.1 การผลิตสีย้อม

การผลิตสีย้อมแสดงได้ดังแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แผนผังการผลิตสีย้อม

น้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหินเมื่อสกัดแล้วจะได้สารไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เบนซีน ไชลีน แอนทราซีน โทลูอิน แนฟทาลีน และพาราฟิน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว สารเหล่านี้จะถูกนำไปเข้าขบวนการในเตาชั้นแอมมีนชั้น ๆ เพื่อเปลี่ยนสภาพของไฮโดรคาร์บอนเป็นสารตัวกลาง และจากสารตัวกลางที่เตรียมได้นี้จะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่ไม่เป็นที่เปิดเผย

2.3.2 การเกิดสี (Color) ของสีย้อม (Dye)

สีที่ปรากฏออกมาทำให้สายตาคนปกติมองเห็นได้นั้นเกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมเหล่านี้เรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophores) ซึ่งมีอยู่ 7 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) : $-NO$ (หรือ $=NO-OH$)
- กลุ่มไนโตร (Nitro Group) : $-NO_2$ (หรือ $=NO-OH$)
- กลุ่มเอโซ (Azo Group) : $-N=N-$

- กลุ่มเอทิลีน (Ethylene Group) : $C=C$
- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) : $C=O$
- กลุ่มคาร์บอนิล - ไนโตรเจน (Carbonyl - Nitrogen Group) : $C=NH$ และ $-CH=N-$
- กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group) : $C=S$ และ $-C-S-S-C-$

กลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก(Aromatic Compound) โดยดูดกลืนแสงสีขาวไว้บางแถบแสง และปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีข้อมมีโทนสีที่แตกต่างกันออกไป

สีข้อมโดยทั่วไปนอกจากจะมีกลุ่มอะตอม “โครโมฟอร์” แล้ว ยังมีกลุ่มอะตอมอีกกลุ่มหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มอะตอม “ออกโซโครม” (Auxochromes) ได้แก่ $-OH$, $-NH_2$, $-NHR_2$, $-NR_2$, $-SO_3$ และ $-COOH$ เพื่อทำให้สีข้อมยึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลสีที่ขาดกลุ่มอะตอมออกโซโครม จะขาดคุณสมบัติในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า “โครมาเจน” (Chromagen) เช่น สีข้อมอะมิโนโซเบนซีน (Aminoazobenzene Dye) มีสูตรโครงสร้างโมเลกุล คือ $H_2N-O-N=N-O$ โดยกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ คือ $-N=N-$ กลุ่มอะตอมออกโซโครมคือ $-NH_2$ และโมเลกุลที่เรียกว่าโครมาเจนคือ $O-N=N-O$ ทั้งกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการจำแนกกลุ่มของสีข้อมตามสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

2.3.3 การจำแนกสีข้อม

การจำแนกสีข้อมอาจพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ละลายน้ำ เรียกว่า สีข้อม (Dye) และชนิดที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า สารสี (Pigment) สารสีซึ่งไม่ละลายน้ำนี้เมื่อนำไปใช้ผู้ผลิตต้องหาตัวทำละลายมาช่วยทำให้สารสีนี้ละลายน้ำได้ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วจะมีสมบัติเหมือนกับสีข้อม (Dye) สามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้ ทำให้การจำแนกกลุ่มสีแบบนี้ค่อนข้างสับสน

การจำแนกสีข้อมอีกวิธีหนึ่งคือ การจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นที่ยุ้งยากมากสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านเคมี นอกจากนั้นวิธีการจำแนกสีประเภทนี้ไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก เนื่องจากสีข้อมบางชนิดมีโครงสร้างที่ยังไม่เป็นที่ประจักษ์ ทำให้การจำแนกสีวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกสีโดยใช้สูตรโครงสร้างทางเคมีนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านเคมี และสำหรับสีข้อมที่ทราบสูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างแน่นอน

การจำแนกสีข้อมที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การจำแนกสีข้อมตามการนำไปใช้งาน ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั้งผู้ใช้และอุตสาหกรรม

การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้งาน

1) สีดีสเพอร์ส (Disperse Dyes)

สีชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยอาซิเตทหรือเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่มีลักษณะเป็นละอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารที่ช่วยการกระจาย (Dispersing Agent) ที่เหมาะสมมาช่วยจะสามารถใช้ย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารอย่างอื่นช่วย นอกจากนี้ สารพา (Carrier) ที่จะช่วยให้สีเข้าไปใกล้เส้นใยได้มากขึ้นเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้

สีดีสเพอร์สอาจแบ่งได้อีกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ สีย้อมเอโซ (Azo Dyes) และสีย้อมอะมิโนแอนทราควิโนน (Aminoanthraquinone) ซึ่งสีทั้ง 2 กลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanolanine) : $-NH_2-CH_2-CH_2-OH$

2) สีแอซิด (Acid Dyes)

สีชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมซึ่งมีสภาพเป็นกรดเจือจาง หรืออาจนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ เช่น ปอ ป่าน ได้ด้วย ตัวสีย้อมเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน ส่วนประกอบทางเคมีของสีชนิดนี้ประกอบไปด้วยกลุ่มสีเอโซ (Triarylmeth และ anthraquinone)

3) สีย้อมอะโซอิก (Azoic Dyes)

สีย้อมกลุ่มนี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น สีย้อมชนิดนี้เป็นสารประกอบเอโซเช่นกัน แต่ว่าตัวสีนั้นไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการจะใช้ย้อมเส้นใยจึงต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วจึงย้อมทับอีกครั้งด้วยเกลือไดอะโซเนียม (Diazonium Salt) เกลื่อนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลเกิดเป็นสารประกอบเอโซที่ให้สีบนเส้นใย ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า คัปปลิง (Coupling)

4) สีย้อมเบสิก (Basic Dyes)

ใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด แต่ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่ติดเลย ตัวสีย้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ที่ให้แคทไอออน (Cation) บางครั้งจึงเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า สีแคทไอออน สามารถย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของสีจะจับกับประจุลบของเส้นใย

5) สีย้อมไดเรกต์ (Direct Dyes)

สีย้อมชนิดนี้บางครั้งเรียกว่า สีย้อมฝ้าย ซึ่งชื่อนี้มาจากการที่สีย้อมชนิดนี้สามารถย้อมติดเส้นใยฝ้ายได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยย้อมใด ๆ แต่ในปัจจุบันการย้อมด้วยสีไดเรกต์จะใช้เกลือช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้ดียิ่งขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกเอโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่ซัลโฟนิคซึ่งทำให้สีละลายน้ำได้

สีย้อมชนิดนี้มีโทนสี คุณสมบัติในการย้อม ความคงทน ตลอดจนราคาที่แตกต่างกันมาก ซึ่งถ้าเป็นสีที่มีความคงทนในการย้อมดี โครงสร้างก็จะซับซ้อนมากขึ้น ราคา ก็จะแพงมากขึ้นด้วย

6) สีย้อมมอแดนท์ (Mordant Dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสีย้อมในกลุ่มแอลคิที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียม และเหล็ก เมื่อย้อมทับด้วยเกลือโลหะ ภายหลังแล้วจะมีความคงทนต่อขบวนการใช้น้ำได้ดีการไม่ย้อมทับ

7) สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulfur Dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายโดยเฉพาะ มีราคาค่อนข้างถูก สีที่ย้อมได้ไม่ค่อยสดใส ปกติแล้วสีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตได้ทำการผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่โดยนำตัวสีย้อมไปรีดิวซ์ ทำให้สีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้

การที่สีย้อมชนิดนี้ถูกเรียกว่า สีซัลเฟอร์ ก็เพราะว่า สารที่จะนำมารีดิวซ์เป็นสารละลายของโซเดียมซัลไฟด์และโครโมฟอร์ของสีย้อมซัลเฟอร์ประกอบไปด้วยกลุ่มธาตุซัลเฟอร์ (Sulfonic Group) สีย้อมชนิดนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยแล้วสามารถยึดติดกับเส้นใยได้อย่างถาวรได้ โดยการออกซิไดส์ที่กลับคืนสู่รูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ ด้วยการทำปฏิกิริยากับอากาศ (Air Oxidation)

8) สีย้อมแวต (Vat Dyes)

มักใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะเส้นใยฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำต้องใช้สารที่เหมาะสมรีดิวซ์ ทำให้สีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ เช่นเดียวกับสีซัลเฟอร์ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้กัน คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ สีย้อมแวตเมื่อรีดิวซ์แล้วจะให้สารประกอบลิวโค (Leuco Compound) ซึ่งมีสีครามและมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเมื่อนำเส้นใยไปสัมผัสกับอากาศ สารประกอบลิวโคจะถูกออกซิไดส์กลับไปเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้ติดทนถาวรกับเส้นใย สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือ สีครามอินดิโก (Indigo) และสีแอนทราควิโนน (Aminoanthraquinone)

9) สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

เป็นสีที่ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด ละลายได้ในน้ำ มีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน (Anion) เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ในเส้นใยเซลลูโลส และจะเชื่อมติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส คุณสมบัติการละลายและการดูดติดเส้นใยของสี จะทำให้สีเข้าไปอยู่ในเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาสีก็จะติดกับเส้นใย

10) สีย้อมโลหะ (Metallic Dyes)

สารประกอบอนินทรีย์หลายชนิดที่ไม่ละลายน้ำใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส และจะให้สีที่ต่างกัน เมื่อใช้ย้อมแล้วต้องทำให้สารนี้ตกตะกอนภายในเส้นใย เช่น Meneral Khaki ซึ่งเป็นสารประกอบของ เหล็กออกไซด์และโครเมียมออกไซด์ร่วมกัน

11) สีย้อมโอเนียม (Onium Dyes)

สีชนิดนี้นิยมใช้พิมพ์มากกว่าใช้ย้อม จัดว่าเป็นสีที่สามารถทำให้ละลายน้ำได้ ลักษณะการย้อม คล้ายกับสีย้อมแวต คือ ต้องออกซิไดส์ให้สีกลับสู่สภาพเดิมที่ไม่ละลายน้ำ

สีย้อมที่นิยมใช้ย้อมผ้าหรือผ้าฝ้ายในประเทศไทยในปัจจุบันมีอยู่ 6 ชนิด คือ

- สีย้อมอะโซอิก
- สีย้อมไคเร็กซ์
- สีย้อมซัลเฟอร์
- สีย้อมแวต
- สีย้อมรีแอคทีฟ
- สีย้อมโลหะ

2.4 แหล่งที่มาของน้ำเสียและสิ่งสกปรกที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2.4.1 แหล่งที่มาของน้ำทิ้ง

น้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ที่สำคัญ 4 แหล่ง คือ

2.4.1.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม พิมพ์ และการตกแต่ง น้ำใช้ในส่วนนี้จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต กระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดน้ำเสียนั้น ได้แก่กระบวนการต่อไปนี้ คือ

- ขบวนการดัมเป้ง
- ขบวนการทำความสะอาด
- ขบวนการฟอกขาว
- ขบวนการชุบมัน
- ขบวนการย้อมสีและการตกแต่ง
- ขบวนการพิมพ์ผ้า

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกค่อนข้างสูงมีลักษณะที่แตกต่างกันตามลักษณะของเส้นใยและขบวนการฟอกย้อมที่ใช้

ส่วนน้ำที่ใช้ซักล้างภายหลังการฟอกย้อมหรือพิมพ์ น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกโดยรวมน้อยกว่าน้ำเสียจากขบวนการฟอกย้อม

2.4.1.2 น้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมหรือพิมพ์นั้นมักจะมีการใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อน้ำ ก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการไปเพิ่มปริมาณน้ำย้อม และจะเป็นน้ำเสียในที่สุด

2.4.1.3 น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการฟอกย้อม จำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาที่รวดเร็ว ซึ่งจะใช้น้ำหล่อเย็น และสามารถนำน้ำนี้กลับมาใช้ใหม่ได้

2.4.1.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน น้ำส่วนนี้เป็นในบางครั้งก็เป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง เช่น น้ำล้างถังเตรียมสี เป็นต้น

2.4.1.5 น้ำจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำใช้จากการอุปโภคบริโภคของคณาจารย์ เป็นต้น

2.4.2 ประเภทของสิ่งสกปรกในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น จำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้

2.4.2.1 สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะดูดซึมสีเพียงบางส่วนเท่านั้น ที่เหลือจะยังคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียของโรงงานในที่สุด สำหรับในการพิมพ์ก็เช่นเดียวกัน สีที่พิมพ์ไปบนผ้าจะไม่ถูกดูดซึมหมด และส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมก็จะถูกชะล้างออกภายภายหลังการพิมพ์

2.4.2.2 สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการของอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีอยู่มากมายหลายชนิด สารเคมีเหล่านี้จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมหรือน้ำซักล้าง ซึ่งจะถูกล้างออกมากับน้ำเสียของโรงงาน

2.4.2.3 สิ่งสกปรกที่เจือปนมากับเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเหล่านี้มีทั้งที่เป็นไขมัน สารจีฟี่ โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่าง ๆ นอกจากนี้ในการผลิตยังมีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น สารหล่อลื่น แป้งที่ใช้ในการลงด้าย สิ่งสกปรกเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากเส้นใยในขบวนการเตรียมก่อนการย้อมหรือพิมพ์ และจะหลุดออกมากับน้ำเสียของโรงงานในขั้นตอนการเตรียมการฟอกย้อมหรือพิมพ์

2.5 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม (จารุทัศน์ มลินทะเลข, 2537)

น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ คือ

- 1) มีปริมาณสารอินทรีย์สูง คือ มีค่าบีโอดีประมาณ 100 – 1000 มิลลิกรัม / ลิตร และค่าซีโอดีประมาณ 500 – 1200 มิลลิกรัม / ลิตร ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย้อมได้แก่ แป้ง , สีย้อม , กรดอะซิติก , เส้นใย , สบู่ , ไขมัน , ตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นต้น
- 2) มีค่าพีเอชและค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) สูง คือ ค่าพีเอชประมาณ 9 – 12 และค่าความเป็นด่างประมาณ 300 – 900 พีพีเอ็ม ซึ่งเกิดจาก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้น
- 3) มีอุณหภูมิสูงประมาณ 50 ° ซ
- 4) มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) สูง ซึ่งเกิดจาก เกลือโซเดียม และกรดต่าง ๆ
- 5) มีความเข้มข้นสูงมาก ซึ่งเกิดจากกระบวนการย้อมสี
- 6) มีโลหะหนักเจือปน โดยโลหะหนักเหล่านี้มาจากสีย้อมผ้า เช่น ทองแดง (Cu) , ตะกั่ว (Pb) , โครเมียม (Cr) และสังกะสี (Zn) เป็นต้น
- 7) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) สูง

2.6 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

- 1) สารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้
 - สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน
 - ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถทำความสะอาดด้วยตัวเอง (Self Purification) ได้
 - ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาแอนแอโรบิค (Anaerobic)
 - ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้

สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภคสัตว์น้ำ นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศน์ หากสารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

2) ค่าความเป็นด่าง จะทำให้น้ำเสียที่มีค่าพีเอชสูง ๆ ซึ่งเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงแล้ว จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง คือในช่วงพีเอช 6 - 9

- 3) อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูงจะมีผลทำให้ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง
- 4) ของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคที่ร้ายแรงได้ และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้
- 5) สี (Color) ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณแสงที่จะส่งผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง
- 6) โลหะหนัก (Heavy Metals) ทำให้เกิดโรคที่ร้ายแรงในสัตว์น้ำ และยังคงสะสมอยู่ในระบบนิเวศน์ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย
- 7) แข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) จะไปเพิ่มสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ สามารถตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินทำให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์สัตว์น้ำและทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำด้วย

2.7 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

2.7.1 กระบวนการทางกายภาพ (Physical Unit Operation) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การคัดด้วยตะแกรง (Screening) การตัดย่อย (Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน (Mixing) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอน (Sedimentation) การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Removal) เป็นต้น

2.7.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกแอมลสารต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอนผลึก (Precipitation) การทำให้เป็นกลางหรือการสะเทิน (Neutralization) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น

2.7.3 กระบวนการทางชีวภาพ (Biological Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศและจะได้จุลินทรีย์เพิ่ม

จำนวนขึ้น ได้แก่ Activated Sludge , Trickling Filter , Aerated Lagoon , Anaerobic Filter , Anaerobic Pond , Stabilization Pond เป็นต้น

2.7.4 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physicochemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและทางเคมีรวมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ วิธี Ion Exchange , Carbon Adsorption , Reverse Osmosis , Electrodialysis เป็นต้น

สำหรับในการกำจัดออกจากน้ำเสีย วิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือกระบวนการทางกายภาพ-เคมี ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป อย่างไรก็ตาม กระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอควรใช้แบบผสมผสานทั้งแบบเคมี-ชีวภาพ และ กายภาพ-เคมี เป็นสำคัญ

2.8 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี (Physicochemical Unit Processes)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมีเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยวิธีทางกายภาพและเคมีผสมผสานกัน มักจะใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายหลังจากระบบบำบัดน้ำเสียทางกายภาพชีวภาพ หรือทางเคมี ระบบนี้นับวันจะใช้กันมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสภาพของแหล่งน้ำตามธรรมชาติเริ่มมีสารปนเปื้อนมากขึ้น การบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพอย่างเดียวอาจจะไม่พอเพียง กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี มีวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เช่น

- การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption)
- การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)
- การกรองแบบ Ultrafiltration
- ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis)
- การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (Electrodialysis)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption) เท่านั้น

2.9 การดูดซับ (Adsorption)

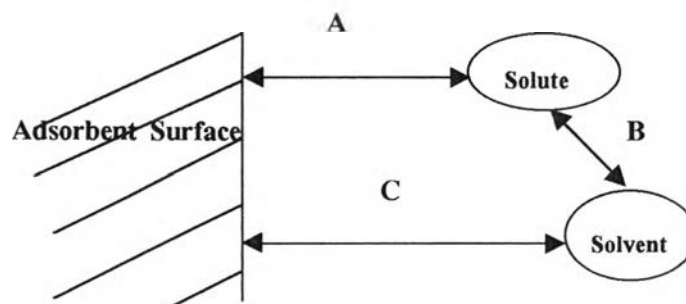
การดูดซับ (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้เกาะจับและติดบนผิวของมัน ปรากฏการณ์นี้จัดว่าเป็นการเคลื่อนย้ายสาร

(Mass Transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์จะเรียกว่าเป็น “Adsorbate” ส่วนของแข็งที่ผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า “Adsorbent” พื้นที่ผิวที่กล่าวไปนั้นไม่ได้หมายความเฉพาะแค่พื้นที่ผิวรอบ ๆ รูปทรงของสารดูดซับเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงพื้นที่ภายในโพรงหรือรูที่อยู่ภายในสารดูดซับทั้งหมดที่มีความสามารถในการเป็นที่ยึดเกาะของสารถูกดูด (มันส์ตัน ดันทุลเวสม์, 2539)

การดูดซับโดยทั่วไปเกิดขึ้นระหว่าง ของแข็ง - ของแข็ง , ของเหลว - ของเหลว , ของเหลว - ของแข็ง หรือ ของเหลว - ก๊าซ สำหรับการใช้อันเป็นตัวดูดซับสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ในน้ำเสีย นั้นเป็นปรากฏการณ์ระหว่างของแข็ง - ของเหลว ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ การดูดซับทางฟิสิกส์ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) ซึ่งอธิบายได้คร่าว ๆ ดังนี้

เมื่อโมเลกุลของสารใด ๆ ในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสบริเวณผิวของของแข็งซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดของสารดูดซับ (Absorption) ซึ่งมีมากกว่าพลังงานจลน์ของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ซึ่งอยู่ในของเหลว โมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ (Vander Waal's Force) ขั้นตอนนี้เป็นการดูดซับทางฟิสิกส์ การเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นชั้น ๆ ตามความเข้มข้นของสารละลาย จากนั้นจะเกิดการดูดซับทางเคมีขึ้นโดยมีพลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับและสารถูกดูดซับทำให้เกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (Irreversible) แต่สำหรับการดูดซับทางฟิสิกส์สามารถเปลี่ยนกลับได้ (Reversible) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

ตัวถูกละลาย และตัวทำละลายมีอิทธิพลต่อการดูดซับผิวตัวถูกละลายจากสารละลาย การดูดซับตัวถูกละลายกำหนดโดย ความแตกต่างของศักย์ภาพของการดูดซับผิวระหว่างตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย และสารดูดซับ

- A หมายถึง สักยภาพการดูดติดผิวของตัวถูกละลาย
- B หมายถึง สักยภาพของปฏิกิริยาระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย หรือความสามารถในการละลาย (Solubility)
- C หมายถึง สักยภาพการดูดติดผิวของตัวทำละลาย

ความสามารถของสารดูดติดผิวที่จะดูดติดผิวตัวถูกละลายจะถูกจำกัดโดยสักยภาพการดูดติดผิวของตัวถูกละลาย แต่โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการดูดติดผิวระหว่างตัวทำละลายกับสารดูดติดผิวจะมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลายกับสารดูดติดผิว ถ้านักกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวในน้ำสูง เนื่องจากพลังงานสักยภาพการดูดติดผิวที่ต้องการในการแยกตัวถูกละลายออกจากน้ำมีค่าต่ำ

การที่สักยภาพการดูดติดผิวระหว่างตัวทำละลายกับสารดูดติดผิวมีค่าต่ำกว่าสักยภาพการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลายกับสารดูดติดผิวนั้นไม่รับรองได้ว่าความสามารถในการดูดติดผิวสูง สักยภาพการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลายและสารดูดติดผิวจะต้องสูงกว่าสักยภาพการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลายด้วย จึงจะเกิดการดูดติดผิวที่ดี นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดติดผิว โดยที่ตัวถูกละลายที่ละลายได้น้อยกว่ามีแนวโน้มว่าถูกดูดติดผิวได้เร็วกว่าตัวถูกละลายที่ละลายได้มากกว่า เนื่องจากสักยภาพการดูดติดผิวที่สูงขึ้นระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย ดังนั้นธรรมชาติของการดูดติดผิว คือ สารดูดติดผิวที่มีขั้วจะดูดติดตัวถูกละลายที่มีขั้วได้ดี ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ในทางตรงกันข้าม สารดูดติดผิวที่ไม่มีขั้วจะดูดติดตัวถูกละลายที่ไม่มีขั้วได้ดี ในตัวทำละลายที่มีขั้ว (สัจจวัต อิงคภาควัย, 2539)

2.10 การดูดติดผิวด้วยถ่าน (Carbon Adsorption)

การใช้ถ่านเป็นตัวดูดติด (Adsorbent) เป็นวิธีทางฟิสิกส์ - เคมี เพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกบางชนิดในน้ำเสียซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีอื่นวิธีนี้สามารถกำจัดได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากน้ำเสีย เช่น บีโอดี ซีโอดี ที กลิ่น รส เป็นต้น

ถ่านดูดติดเป็นถ่านที่ผลิตขึ้นด้วยกระบวนการพิเศษที่ทำให้เกิดรูพรุนจำนวนมากมายบนพื้นผิวของถ่าน อาจทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ไม้ ขี้เถ้า ถ่านหิน ลิกไนท์ กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งวัสดุที่แตกต่างกันเหล่านี้จะให้ถ่านดูดติดที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป

สารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียบางส่วนไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ทางชีววิทยา นอกจากนี้สารบางชนิดก็เป็นพิษหรืออาจก่อให้เกิดสี กลิ่น หรือรส ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีธรรมดา ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาถ่านกัมมันต์หรือแอคทีเวทเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) มาใช้ในการกำจัดสารเหล่านั้น ซึ่งประสิทธิภาพของแอคทีเวทเต็ดคาร์บอนในการดูดซับขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของแอคทีเวทเต็ดคาร์บอน และลักษณะทางเคมีของแอคทีเวทเต็ดคาร์บอนเป็นสำคัญ แอคทีเวทเต็ดคาร์บอนที่ผลิตจากพืชจะมีพื้นที่ผิวเป็นค่า มีผลต่อการดูดซับและสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่อิ่มตัว พื้นที่ผิวของแอคทีเวทเต็ดคาร์บอนที่ไม่มีประจุจะดูดซับสารอินทรีย์ได้ง่าย แต่ดูดซับอนินทรีย์ที่มีประจุได้ยาก

แอคทีเวทเต็ดคาร์บอนจะมีลักษณะเป็นรูพรุน โดยรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) จะมีขนาดกว้างกว่า 1,000 อังสตรอม และรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) มีขนาดระหว่าง 10 – 1,000 อังสตรอม รูพรุนขนาดใหญ่มักจะอยู่บริเวณด้านนอกของพื้นที่ผิวของแอคทีเวทเต็ดคาร์บอน ซึ่งเป็นทางให้โมเลกุลของสารถูกดูดซับผิวผ่าน โดยในระยะแรกจะเกาะติดอยู่ที่ผิวนอกของถ่าน ต่อจากนั้นก็จะฟุ้งกระจายเข้าไปในตามรูพรุนของถ่าน ดังนั้นอัตราการดูดซับนี้จึงถูกควบคุมด้วยอัตราการฟุ้งกระจายของโมเลกุลสารเข้าไปในรูพรุนของถ่าน อัตราการดูดซับนี้จะแปรผันกลับกับกำลังสองของเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุลสารและจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสีย และจะลดลงตามการเพิ่มของน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ยังแปรผันตามกำลังสองของเวลาสัมผัสระหว่างโมเลกุลของสิ่งสกปรกกับถ่าน และจะเพิ่มขึ้นถ้าค่าพีเอชลดลง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

ระบบนี้ใช้หลักการดูดซับผิวด้วยคาร์บอนเพื่อต้องการแยกสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในน้ำที่ถึงถ่านที่ใช้กันมี 2 ลักษณะคือ ถ่านแบบเม็ด (Granular Carbon) และถ่านแบบผง (Powdered Carbon) ซึ่งจะเรียกรวมกันไปว่า Activated Carbon ซึ่งโดยมากทำมาจากเมล็ดของอัลมอนด์ (Almond) , วอลนัท (Walnut) , มะพร้าว ฯลฯ ซึ่งนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงมากโดยพยายามทำให้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมีมากที่สุด

ความสามารถในการดูดซับผิวของถ่านจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของถ่านและชนิดของสารที่จะดูดซับ ดังนั้นการใช้ถ่านดูดซับจึงจำเป็นต้องศึกษาทดลองเพื่อหาถ่านที่เหมาะสมที่สุด

2.11 สารดูดซับผิว

สารดูดซับผิว (Absorbent) ที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่าง ๆ มาติดผิวได้มีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ , แมกนีเซียมออกไซด์ , ถ่านกระดูก (Bone Char) , แอ็คทีเวทเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ฯลฯ สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200

ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตาม มีข้อเสีย คือ สามารถจับโมเลกุลได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับผิวประเภทอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2. แอ็คติเวเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) สารดูดซับผิวชนิดนี้อาจจัดว่าเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ก็ได้ แต่เป็นสารดูดซับผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 – 1000 ตารางเมตรต่อกรัม

3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม (ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับแอ็คติเวเต็ดคาร์บอน) แต่อย่างไรก็ตาม เรซินมีข้อที่ไ้เปรียบกว่า คือ สามารถรีเจนเนอเรตได้ง่ายกว่ามาก และรีเจนเนอเรชั่นมักเป็นสารที่มีราคาถูก เช่น เกลือแกง

2.12 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านชนิดพิเศษชนิดหนึ่งที่ได้รับการเพิ่มคุณภาพหรือประสิทธิภาพการดูดซับผิวให้มากขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ มีโครงสร้างที่มีลักษณะพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่บนผิวและรูพรุนเหล่านั้นทำให้มีคุณสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูงจึงนิยมใช้งานในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภท

วัตถุดิบในการผลิตอาจเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ผลิตมีหลายชนิด แต่มักจะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกเซลลูโลส จากพืชหรือต้นไม้โดยตรง เช่น ไม้ชนิดต่าง ๆ หรือในรูปของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ชังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง กระจุก ฯลฯ ซึ่งคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันทั่วไป แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของถ่านดูดพิษชนิดเม็ดบางชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2514)

	ICI America Hydrodarco 3000	Calgon Filtrisorb 300 (8x30)	Westbaco Nuchar WV-L (8x30)	Witco 517 (12x30)
Physical Properties				
Surface Area , m ² / g (BET)	600 - 650	950 - 1050	100	1050
Apparent Density , g / cc	0.43	0.48	0.48	0.48
Density Backwashed and drained , lb / cu.ft.	22	26	26	30
Real Density , g / cc	2.0	2.1	2.1	2.1
Particle Density , g / cc	1.4 - 1.5	1.3 - 1.4	1.4	0.92
Effective Size , mm	0.8 - 0.9	0.8 - 0.9	0.85 - 1.05	0.89
Uniformity Coefficient	1.7	1.9 or less	1.8 or less	1.44
Pore Volume , cc / g	0.95	0.85	0.85	0.60
Mean Particle Diameter , mm	1.6	1.5-1.7	1.5-1.7	1.2
Specifications				
Sieve Size (U.S. Std.series)				
Larger than No.8 (max.%)	8	8	8	-
Larger than No.12 (max.%)	-	-	-	5
Smaller than No.30 (max.%)	5	5	5	5
Smaller than No.40 (max.%)	-	-	-	-
Iodine No.	650	900	950	1000
Abrasion No., Minimum	**	70	70	85
Ash (%)	**	8	7.5	0.5
Moisture as packed (max %)	**	2	2	1

** No available data from the manufacturer

- Not applicable to this size carbon

2.12.1 กรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์

มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นอะไร โดยทั่วไปอาจแบ่งกรรมวิธีการผลิตออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1) เตรียมวัตถุดิบ ซึ่งรวมถึงการอบแห้ง บด ทำให้เป็นเม็ด การเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เพื่อให้ได้ถ่าน (Char)

2) การกระตุ้นถ่านที่ได้เพื่อเพิ่มคุณภาพและคุณสมบัติในการดูดซับ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพิ่มพื้นที่ผิว ทำให้มีรูพรุนมากขึ้นและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

วิธีการกระตุ้น แบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

1) วิธีกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) คือ การกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี ตัวกระตุ้นที่นิยมใช้กัน คือ जिन्คัลคลอไรด์ ($ZnCl_2$) , โพแตสเซียมไซยาไนด์ (KCNS) , กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) , กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) , ไฮดรอกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์ (Hydroxide of Alkali Metals) , แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) , โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เป็นต้น

ข้อดี ของการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี คือ การแทรกซึมทั่วถึง ได้รูพรุนค่อนข้างใหญ่ (Macropore) และใช้อุณหภูมิในการเผาไม่สูงมากนัก

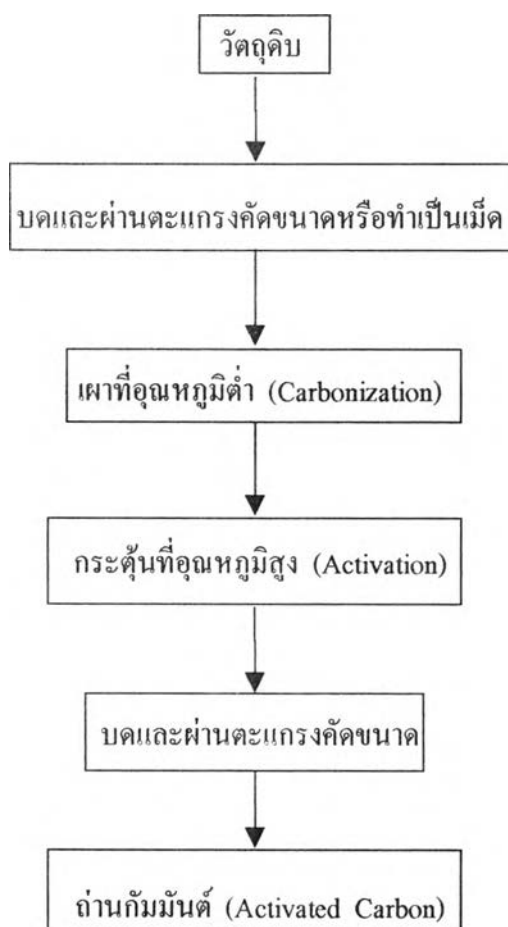
ข้อเสีย คือ จะต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นซึ่งติดออกมาให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เลย เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน

2) วิธีกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) สารที่ใช้กระตุ้นจะอยู่ในรูปออกซิไดส์ซึ่งก๊าซ (Oxidizing Gas) ที่นิยมใช้กันมาก คือ ไอน้ำ (Steam) , คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) , ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และคลอรีน (Cl_2) เป็นต้น

ข้อดี คือ หลังจากการกระตุ้นแล้วสามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ได้เลย ไม่ต้องมีปัญหาเรื่องการล้างสารที่เหลือตกค้าง

ข้อเสีย คือ จะต้องใช้อุณหภูมิในการเผาค่อนข้างสูงกว่าวิธีแรก ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และได้ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็ก

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

2.12.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

2.12.2.1 แบ่งตามรูปร่างได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) ประเภทผง (Powdered Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ร่อนผ่านตะแกรง มาตรฐานขนาด 150 ไมครอน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก
- 2) ประเภทเม็ด (Granular Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ร่อนผ่านตะแกรง มาตรฐานขนาด 150 ไมครอน ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2.12.2.2 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- 1) Chemical Activated Carbon เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น ถ่านพวกนี้มักมีรูพรุนขนาดใหญ่

2) Physical Activated Carbon เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ก๊าซออกซิไดส์เป็นตัวกระตุ้น ถ่านพวกนี้มักมีรูพรุนขนาดเล็ก

2.12.2.3 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

- 1) Micropores เป็นถ่านที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1 นาโนเมตร
- 2) Mesopores เป็นถ่านที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1 - 100 นาโนเมตร
- 3) Macropores เป็นถ่านที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร

2.12.2.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

- 1) ความหนาแน่นต่ำ มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสี เป็นต้น
- 2) ความหนาแน่นสูง ใช้ในการดูดซับก๊าซหรือสารระเหย

2.12.2.5 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- 1) Gas Absorbents หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษ กลิ่น และไอของสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดแข็ง ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ เป็นต้น
- 2) Color Absorbents หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านที่ได้จากการกระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดอ่อน เช่น ถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย เป็นต้น
- 3) Metal Absorbents หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะต่าง ๆ เช่น ถ่านที่ใช้แยกเงิน ทองคำ ออกจากแร่

2.12.3 การออกแบบระบบการดูดซับด้วยถ่าน

การใช้ถ่านดูดซับในการกำจัดน้ำทิ้งอาจทำได้ 2 วิธี คือ นำถ่านมาผสมกับน้ำทิ้งแล้วกวนให้เข้ากันชั่วระยะเวลาหนึ่ง หรือใช้วิธีกรอง คือนำถ่านดูดซับมาใส่ถังทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้น้ำทิ้งไหลผ่านถ่านดูดซับ วิธีที่สองนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด เรียกว่าระบบสัมผัส (Carbon Contacting System) ในการออกแบบระบบสัมผัสจะมีข้อพิจารณาต่าง ๆ ดังนี้

- 1) จะให้น้ำทิ้งไหลผ่านชั้นถ่านลงข้างล่าง (Downflow) หรือขึ้นข้างบน (Upflow)
- 2) จะใช้หน่วยเดียวหรือหลายหน่วย เป็นแบบอนุกรมหรือแบบขนาน
- 3) ถ้าเลือกให้น้ำไหลลงข้างล่าง จะให้ไหลด้วยแรงดัน (Pressure) หรือไหลด้วยตัวเอง (Gravity)

- 4) ถ้าเลือกให้น้ำทิ้งไหลขึ้นข้างบน จะให้ชั้นถ่านอัดกันแน่น (Packed Bed) หรือขยายตัวได้ (Expanded Bed) เมื่อมีน้ำทิ้งไหลผ่าน
- 5) ถังที่ใส่ถ่านจะเป็นเหล็กกล้าหรือคอนกรีต จะเป็นถังกลมหรือสี่เหลี่ยม

2.12.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิว , ขนาดรูพรุน และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 2) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดซับ ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล , ประจุไฟฟ้าของโมเลกุล และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 3) ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย
- 4) ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช , อุณหภูมิ เป็นต้น
- 5) ระยะเวลาในการดูดซับ

2.12.5 การประเมินและการเลือกใช้ถ่าน

ในการนำแอกติเวตเต็ดคาร์บอนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบบำบัด ฯลฯ

ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดการใช้งาน ได้แก่

- 1) พื้นที่ผิว (Surface Area) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับผิว โดยถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับผิวมาก
- 2) ความหนาแน่นประจักษ์ (Apparent Density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน
- 3) ความหนาแน่นก้อน (Bulk Density) เป็นตัวกำหนดปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (Effective Size) , เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean Particle Diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity Coefficient) เป็นตัวกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic Conditions) ของถังดูดซับผิว (Adsorption Column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) เป็นตัวกำหนดการดูดซับโมเลกุลของน้ำเสีย
- 6) ซีฟแอนาไลซิส (Sieve Analysis เป็นตัวตรวจสอบ Plant – Handling Effect ของถ่าน

- 7) แอบริชัน นัมเบอร์ (Abrasion Number) ใช้ในการประเมินความคงทนต่อการขัดสี
- 8) ปริมาณร้อยละของเถ้าถ่าน (% Ash) แสดงถึงกากของถ่าน
- 9) ความชื้น (Moisture) แสดงปริมาณน้ำในถ่านจากการผลิต
- 10) ไอโอดีน นัมเบอร์ (Iodine Number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 11) โมลาส นัมเบอร์ (Molasses Number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 12) ขนาดของรูพรุน (pore Size) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

2.12.6 การปรับคืนสภาพของถ่านดูดซับ (Carbon Regenerate)

เมื่อถ่านดูดซับถูกใช้งานไปนาน ๆ รูพรุนของเม็ดถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรก ทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดซับ เนื่องจากถ่านดูดซับมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดจะต้องนำถ่านดูดซับที่หมดประสิทธิภาพ (Exhausted Carbon) มาฟื้นฟูคุณภาพเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก การฟื้นฟูคุณภาพทำได้โดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่านดูดซับอาจทำได้หลายวิธีเช่นวิธีทางเคมี โดยใช้สารอินทรีย์เคมีทำการออกซิไดส์สิ่งสกปรก แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุดได้แก่การนำถ่านดูดซับไปเผาในเตาแบบ Multiple Hearth โดยควบคุมภาวะการเผาไหม้โมเลกุลของสิ่งสกปรกให้ระเหยออกมาและถูกเผาไหม้ไป ระบบการฟื้นฟูคุณภาพของถ่านดูดซับ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไปนี้

- 1) ถ่านดูดซับที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะรวมกับน้ำเป็นน้ำขุ่น (Slurry) ถูกสูบเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ
- 2) ถ่านดูดซับจะถูกแยกออกจากน้ำแล้วจึงส่งเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1500 – 1700 ° ฟ ควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาผลาญตัวไป
- 3) ถ่านดูดซับที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำ (Quenching)
- 4) ถ่านที่เย็นแล้วถูกนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออกแล้วจึงนำไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน

การฟื้นฟูคุณภาพของถ่านดูดซับจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,250 บีทียูต่อถ่านหนึ่งปอนด์ ในแต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหายไปประมาณร้อยละ 2 – 10

2.13 การศึกษาและทดลองวิเคราะห์ระบบการดูดติดผิว

ในการออกแบบระบบการดูดติดด้วยถ่าน จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาทดลองเพื่อให้ได้ถ่านที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด และเพื่อหาค่ากำหนดในการออกแบบระบบที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) และขั้นโรงงานทดลอง (Pilot Column Test)

1) ขั้นห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) คือการทดลองเพื่อหาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่าน (Adsorptive Capacity) ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น Adsorption Isotherm Test , Iodine Number Test และ Molasses Number Test เป็นต้น แต่วิธีที่ใช้โดยทั่วไป คือ Adsorption Isotherm Test

Adsorption Isotherm Test คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดติดผิวกับความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ เช่น การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งด้วยถ่านดูดซึม เมื่อแสดงเป็น Adsorption Isotherm จะได้แก่ เส้นโค้งซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งซึ่งพลอตค่าลงในแกนนอน และปริมาณของสีที่ถูกดูดติดผิวไปต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านพลอตค่าลงในแกนตั้ง ความสัมพันธ์นี้สามารถนำมาเขียนในรูปสมการได้ โดยสมการ Adsorption Isotherm ที่นิยมใช้กันมาก คือ Freundlich Equation

$$X / m = kc^{1/n} \dots\dots\dots 1$$

- เมื่อ X = ปริมาณสีที่ถูกดูดติด
- m = น้ำหนักของถ่าน
- c = ความเข้มข้นของสีที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้ง
- k และ n = ค่าคงที่

ซึ่งอาจแปรรูปสมการได้เป็น

$$\log X / m = \log k + 1/n \log c \dots\dots\dots 2$$

เมื่อพลอตสมการที่ 1 ลงบนกระดาษกราฟลอการิทึม จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเป็น 1 / n เส้น Adsorption Isotherm ที่อยู่ในระดับที่สูงกว่าแสดงว่ามีความสามารถในการดูดติดผิวมากกว่าในช่วงความเข้มข้นที่ทำการทดสอบ และเส้น Adsorption Isotherm ที่มีความชันมากกว่าแสดงว่าการดูดติดผิวจะ

เกิดขึ้นได้คือที่ความเข้มข้นสูง ๆ แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ โดยทั่วไปถ่านที่มีเส้น Adsorption Isotherm ชั้นมาก จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส ส่วนถ่านที่มีเส้น Adsorption Isotherm ชั้นน้อยกว่า จะเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบแบชท์ (Batch Treatment)

2) ชั้นโรงงานทดลอง (Pilot Column Test) การหา Adsorption Isotherm นั้น เป็นการทดลองแบบครั้งคราว ซึ่งบอกให้ทราบได้ว่าการดูดซับด้วยถ่านนั้นจะใช้ได้ผลดีหรือไม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้ นั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการออกแบบการดูดซับด้วยถ่าน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้ท่อขนาดเล็กแทนถังบรรจุถ่าน

เมื่อนำน้ำทิ้งมากรองผ่านชั้นถ่าน เม็ดถ่านชั้นบนสุดจะหมดประสิทธิภาพก่อน และชั้นของเม็ดถ่านที่หมดประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลา ดังนั้นความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับแล้วจะเพิ่มขึ้นตามเวลาหรือปริมาณน้ำทิ้ง จนในที่สุดความเข้มข้นจะถึงค่าสูงสุดที่ต้องการ จุดนี้เรียกว่า Breakpoint คือ เส้นโค้งที่เรียกว่า Breakthrough Curve ระยะเวลานับจากเริ่มต้นการดูดซับจนถึง Breakpoint เรียกว่า Breakpoint Time ซึ่งจะมีค่าลดลงถ้า

- ความสูงของชั้นถ่านลดลง
- เม็ดถ่านมีขนาดใหญ่ขึ้น
- อัตราการไหลของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น
- ความเข้มข้นของสารที่จะถูกดูดซับเพิ่มขึ้น

2.14 ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับ เป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของสารดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่

ไอโซเทอมการดูดซับมีหลายรูปแบบ โดยมีรูปแบบดังต่อไปนี้

2.14.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดซับ
- มีโมเลกุลเดียวในบริเวณถูกดูดซับ
- พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดซับผิวจากสารละลายโดยสารดูดซับผิว แสดงได้ดังสมการ

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \dots\dots\dots 1$$

โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม / กรัม หรือ โมล / กรัม)

X_m = ปริมาณตัวถูกละลายที่มากที่สุดที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดี่ยว (Monolayer : (มิลลิกรัม / กรัม หรือ โมล / กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม / กรัม หรือ โมล / ลิตร)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับผิว

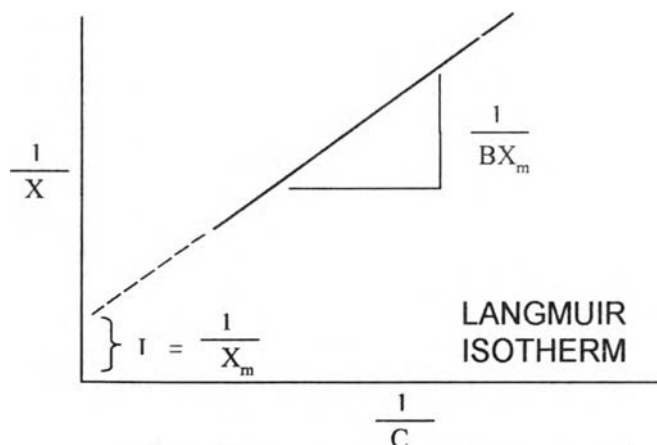
เมื่อ X เข้าสู่ X_m และ C_e เข้าสู่ ∞ จะเขียนสมการได้เป็น

$$C_e / X = (1 / b X_m) + (C_e / X_m) \dots\dots\dots 2$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e / X กับ C_e ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1 / X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1 / b X_m$ และเมื่อหารด้วย C_e จะได้สมการเส้นตรง คือ

$$1 / X = (1 / X_m) + (1 / C_e) (1 / b X_m) \dots\dots\dots 3$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1 / X$ กับ $1 / C_e$ ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1 / b X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1 / X_m$ จากสมการ 2 และ 3 แสดงได้ดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์

2.14.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบท (BET : Brunauer – Emmett – Teller Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบทพัฒนามาจากไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ โดยจากการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เป็นดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งโมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดซับ เช่นเดียวกันกับชั้นอื่น ๆ ต่อไป โดยแสดงได้ดังสมการ

$$X = \frac{(X_m b C_s)}{(C_s - C_s)(1 + (b - 1) C_s / C_s)} \dots \dots \dots 4$$

โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม / กรัม หรือ โมล / กรัม)

X_m = ปริมาณตัวถูกละลายที่มากที่สุดที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer : (มิลลิกรัม / กรัม หรือ โมล / กรัม)

C_s = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม / กรัม หรือ โมล / ลิตร)

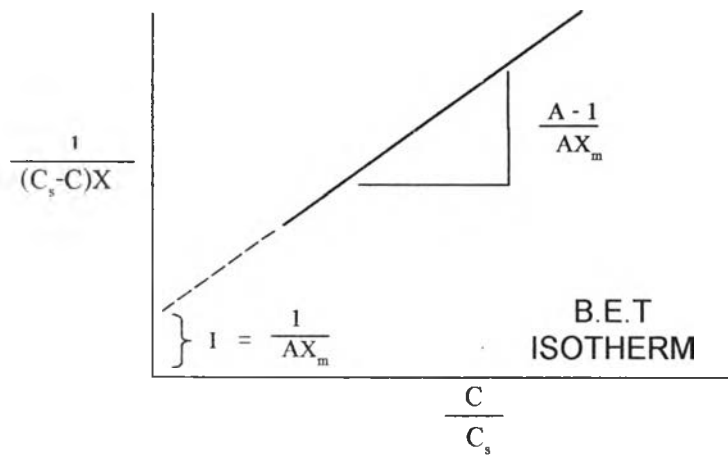
C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย (มิลลิกรัม / กรัม หรือ โมล / ลิตร)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

จากสมการที่ 4 สามารถเปลี่ยนได้เป็น

$$C_e / X (C_s - C_e) = (1 / X_m b) + ((b - 1) / X_m b) (C_e / C_s) \dots\dots\dots 5$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e / X (C_s - C_e)$ กับ C_e / C_s ซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $(b - 1) / X_m b$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1 / X_m b$ จากสมการ 4 และ 5 แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบท

2.14.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชใช้กันแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้ คือ

$$X / m = K C_e^{1/n} \dots\dots\dots 6$$

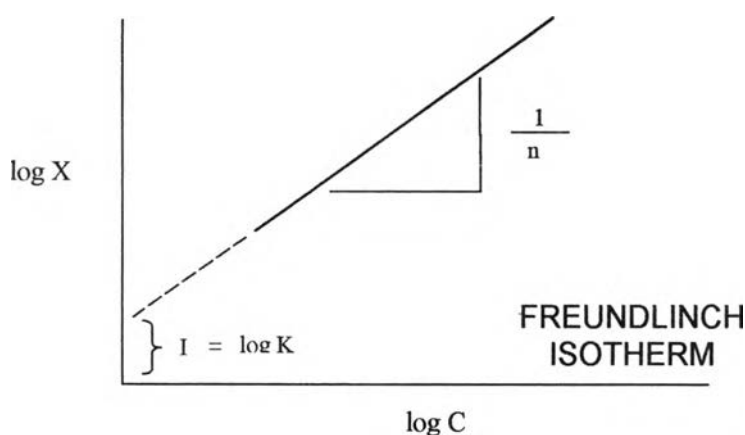
- โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม / กรัมหรือ โมล / กรัม)
- C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล(มิลลิกรัม / กรัมหรือ โมล / ลิตร)
- K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของคาร์บอน
- $1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ
- m = น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)

จากสมการที่ 6 สามารถเขียนสมการในรูป logarithmic ได้ดังนี้ คือ

$$\log (X / m) = \log K + 1 / n \log C_e \dots \dots \dots 7$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log (X / m)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $1 / n$ และ $\log K$ จุดตัดแกน y ของ $\log (X / m)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) จากสมการ 6 และ 7 แสดงได้ดังรูป 2.7

จากสมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ โดยถ้าค่า $n < 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี แต่ถ้าค่า $n > 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ดี



รูปที่ 2.7 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

2.15 สี (Color)

2.15.1 การเห็นสี

จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบ 4 ประการด้วยกัน คือ

- 1) แสง
- 2) วัตถุ (สี)
- 3) นัยน์ตาของผู้มองเห็น
- 4) สมองที่วิเคราะห์หรือตีความหมายของสีที่เห็น

2.15.1.1 แสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งต้นกำเนิดของแสงอาจมาจากดวงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆและช่วงความยาวคลื่นที่ตาของมนุษย์มองเห็นอยู่ในช่วงประมาณ 400– 700 นาโนเมตร ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากมายหลายชนิด เช่น รังสีแกมมา

รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ ฯลฯ ช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นเป็นแสงสีขาวนั้นจะประกอบไปด้วยแถบแสง 6 สี คือ ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง ดังนั้นเมื่อเอาแถบแสงทั้ง 6 สีนี้มาผสมกลับด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมก็จะได้แสงสีขาวเช่นเดิม

2.15.1.2 วัตถุ (สี)

วัตถุใด ๆ ที่สามารถสะท้อนแสงที่ตกกระทบออกมาได้ทุกช่วงความยาวคลื่นในแถบแสงสีขาวโดยที่ไม่ดูดกลืนแถบแสงในช่วงความยาวคลื่นใด ๆ ไปได้เลย วัตถุนั้นก็จะถูกมองเห็นได้เป็นสีขาว แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าวัตถุไม่สะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นใดเลยแต่กลับดูดกลืนแถบแสงไว้ทั้งหมดทุกช่วงความยาวคลื่น ก็จะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีดำ ส่วนการที่มองเห็นวัตถุมีสีที่แตกต่างกันออกไปนั้น ก็เนื่องจากวัตถุนั้นเลือกดูดกลืนแสงไว้บางช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละวัตถุ และจะสะท้อนแสงบางช่วงความยาวคลื่นออกมา เช่น การที่วัตถุถูกมองเห็นเป็นสีแดงก็เนื่องจากวัตถุนั้นสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นสูง ๆ ออกมา และดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นที่เหลือไว้ ดังนั้นเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ก็จะได้ค่ามากในช่วงความยาวคลื่นสั้น ๆ แต่เมื่อวัดค่าการผ่านของแสง (Transmittance) ก็จะได้ค่ามากในช่วงความยาวคลื่นสูง ๆ ซึ่งก็จะขึ้นกับทोनสีอีกด้วย

2.15.1.3 ทัศนคติ

ลูกนัยน์ตาจะมีจอรับภาพซึ่งเรียกว่า เรตินา ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์รูปร่างเป็นแท่งและกรวยที่มีความรู้สึกไวต่อแสงมาก ทั้งเซลล์รูปร่างแท่งและกรวยนี้จะร่วมกันทำหน้าที่วิเคราะห์แสงที่ผ่านเข้ามาในนัยน์ตาและจะส่งสัญญาณไปยังสมองต่อไป ด้านหน้าของลูกนัยน์ตาจะมีม่านตาที่ทำหน้าที่ปรับปริมาณแสงที่เข้าสู่นัยน์ตาให้เหมาะสมกับการมองเห็น กล่าวคือเมื่อแสงน้อยเกินไป ม่านตาก็จะขยายเปิดกว้าง แต่ถ้าแสงมากเกินไปม่านตาก็จะเล็กลง

2.15.1.4 สมอง

ภาพจะก่อรูปขึ้นที่เรตินาของนัยน์ตา แต่เราจะเรียกได้ว่าเห็นภาพแล้วก็ต่อเมื่อสมองได้รับสัญญาณการมองเห็นจากนัยน์ตาและสัญญาณที่ถูกส่งมาจากนัยน์ตานี้จะต้องได้รับการถอดรหัสและเปรียบเทียบกับประสบการณ์หรือความจำเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้วในสมองแล้วสมองจึงจะสั่งงานเลือกสีออกมาแล้วส่งให้ความรู้สึกบอกว่าขณะนั้นได้เห็นสีใด

2.15.2 ทฤษฎีแม่สีไตรรงค์ (Trichromatic Theory)

ทฤษฎีที่นิยมใช้ในการแสดงการมองเห็นสีและการวัดสีได้แก่ ทฤษฎีแม่สีไตรรงค์ (Trichromatic Theory) เกิดจากการทดลองที่ว่าสีใด ๆ ที่คนเรามองเห็นได้ สามารถทำให้เหมือนได้จากการผสมแม่สี 3 สี เข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม

ประสาทตาของคนเรามีความไวเป็นพิเศษต่อแถบแสง 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเป็นสีครามแทน ตามทฤษฎีแม่สีไตรรงค์ เมื่อประสาทตาได้รับการกระตุ้นจากต้นกำเนิดแสงสีแดงและสีเขียว สมองจะวิเคราะห์และตั้งงานออกมาให้รู้สึกว่าเป็นสีเหลือง ซึ่งก็คือเป็นสีระหว่างกลางของสีแดงและสีเขียว ซึ่งก็อาจจะรู้สึกว่าเป็นสีส้มหรือสีเขียวออกเหลืองก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนของต้นกำเนิดสีแดงและสีเขียว ในทำนองเดียวกันถ้าต้นกำเนิดแสงเป็นแสงสีเขียวและสีคราม เราก็จะรู้สึกว่าเป็นสีน้ำเงินออกฟ้า (Cyan) และเมื่อผสมแสงแม่สีทั้ง 3 สี เข้าด้วยกันเราก็จะรู้สึกว่าเป็นสีขาว

ปรากฏการณ์ในลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า การผสมเชิงบวกของแสงสี (Additive Mixture of Lights) ซึ่งต้นกำเนิดแม่สีเชิงบวก (Additive Primary colors) ก็คือ แดง คราม และเขียว

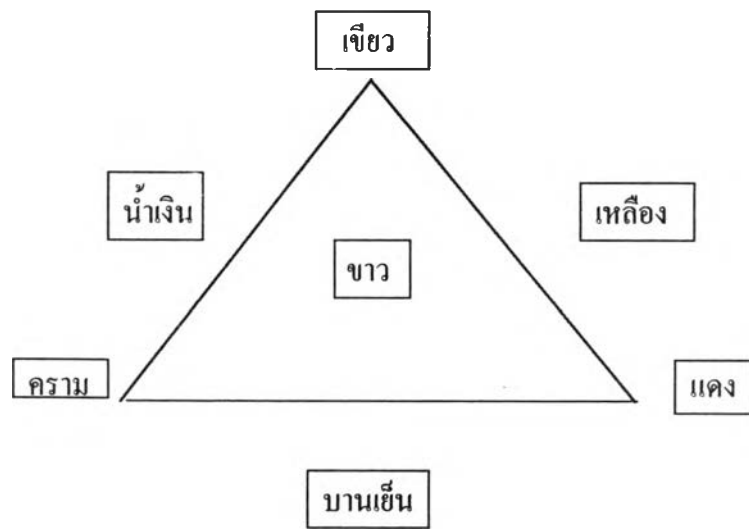
แต่สีที่คนเรามองเห็นโดยทั่ว ๆ ไป เช่น สีข้อมผ้า สีทาบ้าน ฯลฯ ไม่ได้เกิดจากการผสมของแสงสีเชิงบวก แต่กลับเกิดจากการผสมของแสงแม่สีอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า แม่สีเชิงลบ (Subtractive Primary colors) แม่สีเชิงลบนี้เกิดขึ้นจากจากที่วัตถุที่เรามองเห็นจะตัดทอนคลื่นแสงบางส่วนออกจากแสงสีขาว เช่น วัตถุที่ดูดกลืนเอาแสงสีเขียวไว้ วัตถุนั้นก็สะท้อนแต่เพียงสีครามและสีแดงออกมา ทำให้เรารู้สึกว่าเห็นสีเป็นสีบานเย็น (Magenta) ถ้าดูดกลืนเอาสีแดงไว้ ก็จะเห็นเป็นสีคราม (Cyan) แต่ถ้าดูดกลืนเอาแสงสีครามไว้ ก็จะเห็นเป็นสีเหลือง ปรากฏการณ์การผสมแสงแม่สีเชิงลบนี้เรียกว่า การผสมเชิงลบของสารสี (Subtractive Mixture of Pigments) ซึ่งแม่สีเชิงลบนี้มีอยู่ 3 สี คือ สีบานเย็น (Magenta) สีน้ำเงิน (Cyan) และสีเหลือง

2.15.3 การบรรยายสี

จริง ๆ แล้วเราไม่สามารถวัดสีได้ด้วยอุปกรณ์ใด ๆ เพราะสีเป็นรูปธรรมที่จิตสำนึก ประสาทตา หรือสมองสั่งให้รับรู้ แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถบรรยายความรู้สึกเห็นสีนั้น ๆ ได้ ออกมาในรูปแบบที่เด่นชัดขึ้น โดยอ้างอิงกฎเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ เราสามารถบรรยายลักษณะของสีได้โดยอาศัยทฤษฎีแมกซ์เวลล์ (Maxwell Theory)

ในการบ่งบอกสีออกมาเป็นรูปธรรมที่พอจะสื่อความหมายได้บ้างนั้นเราจำเป็นต้องบอกเป็นโทนสี (Hue) เช่น สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน ฯลฯ แมกซ์เวลล์ได้คิดหลักการในการบรรยายสีขึ้นมาโดยใช้

สามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์ ตามรูปได้กำหนดให้แม่สีเชิงบวกอยู่ที่มุมทั้ง 3 มุมของสามเหลี่ยม และให้แม่สีเชิงลบอยู่ที่ด้านทั้ง 3 ด้าน แม่สีเชิงลบที่ปรากฏอยู่ในด้าน ๆ ใดนั้น ก็จะเกิดจากการผสมของแม่สีเชิงบวก 2 โทนสีที่อยู่ในมุมที่ประกบด้านนั้นอยู่ โดยความเข้มของสีจะสูงสุดที่จุดใด ๆ บนเส้นรอบรูปสามเหลี่ยม และความเข้มจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้าสู่ศูนย์กลางของสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นสีขาว



รูปที่ 2.8 สามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์

2.15.3.1 ความอิ่มสี (Color Saturation)

ความอิ่มสี (Color Saturation) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความเต็มสี (Colorfulness) เป็นหน่วยที่จะให้ความหมายในการบรรยายสีได้มากกว่าเคิม คือ เป็นหน่วยที่บ่งให้เห็นถึงความเข้มข้นของสีในโทนหนึ่ง ๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความอิ่มสี (\%)} = \frac{\text{ความยาวจากศูนย์กลางสามเหลี่ยมไปยังจุดสี} \times 100}{\text{ความยาวจากศูนย์กลางไปยังขอบสามเหลี่ยมบนทิศทางเดียวกัน}}$$

ดังนั้น โทนสีใด ๆ ที่มีตำแหน่งอยู่บนเส้นรอบรูปสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์ ก็จะวัดค่าความอิ่มสีได้เท่ากับร้อยละ 100 ทุกครั้ง และความอิ่มสีจะลดลงเมื่อจุดสีนั้นเคลื่อนที่เข้าสู่จุดศูนย์กลางของสามเหลี่ยมแต่อย่างไรก็ตามก็จะยังคงรักษาโทนสีนั้นเอาไว้

2.15.3.2 ความจ้าของสี (Brightness)

ความจ้าของสี (Brightness) ถูกกำหนดให้ตั้งฉากกับระนาบของสามเหลี่ยมหรืออิกนัยหนึ่งการแสดงความรู้สึกเรื่องสีเราต้องแสดงออกในลักษณะ 3 มิติ ความจ้าของสีนั้นมักจะเทียบในสเกลของสีขาวและสีดำ โดยสีขาวถือว่ามีความจ้ามากที่สุดและสีดำไม่มีความจ้า ซึ่งสามารถวัดได้โดยเทียบกับผิวสีขาวที่ให้ความจ้าต่อเซลล์แสงไฟฟ้า (Photoelectric Cell) โดยถือว่าผิวสีขาวให้ความจ้าเท่ากับร้อยละ 100

2.15.3.3 ความหนาแน่นทางสายตา (Visual Density)

เป็นค่าที่แสดงให้เห็นความหนาแน่นของสีที่ประสาทตาวิเคราะห์ออกมา เช่น โทนสีเหลืองที่มีความอิ่มสีสูงเท่ากับร้อยละ 100 อาจมีค่าความหนาแน่นทางสายตาน้อยกว่าสีน้ำเงินที่มีความอิ่มสีไม่ถึงร้อยละ 100 ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นทางสายตามีความสัมพันธ์กับความจ้าซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความหนาแน่นทางสายตา} = \frac{-\text{Log แฟลคเตอร์ความจ้า (\%)}}{100}$$

2.15.3.3 ความยาวคลื่นเด่น (Dominant Wavelength)

มนุษย์เราสามารถเห็นสีได้ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 – 700 นาโนเมตรดังนั้นถ้าเราสามารถระบุความยาวคลื่นเด่นได้เราก็จะสามารถบรรยายสีนั้นได้ตามทัศนศาสตร์ โดยโทนสีที่ถูกดูกลับสำหรับช่วงความยาวคลื่นเด่นของแสงต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่

2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วงความยาวคลื่นเด่นของแสงต่าง ๆ

ช่วงความยาวคลื่นเด่น (นาโนเมตร)	โทนสีที่ถูกดูดกลืน
400 – 465	ม่วง
465 – 482	น้ำเงิน
482 – 497	เขียวออกน้ำเงิน
497 – 530	เขียว
530 - 575	เหลืองออกเขียว
575 - 580	เหลือง
580 - 587	แสดออกเหลือง
587 - 598	แสด
598 - 620	แดงออกแสด
620 - 700	แดง

2.15.4 การวัดค่าสี

การวัดค่าสีแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะการวัด คือ

- 1) เทียบกับสีมาตรฐานที่ย้อมให้เป็นสีอ้างอิง เช่น สีตามมาตรฐาน APHA
- 2) วัดค่าเปอร์เซ็นต์ของแสงที่ส่องผ่าน (% Transmittance)
- 3) วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
- 4) วัดโดยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี

2.15.4.1 วิธีเทียบกับสีมาตรฐานที่ย้อมให้เป็นสีอ้างอิงตามมาตรฐาน APHA

วิธีนี้กำหนดขึ้นโดย APHA (American Public Health Association) เป็นการวัดสีในน้ำโดยเปรียบเทียบด้วยตารางระหว่างตัวอย่างน้ำกับสารละลายสีมาตรฐานซึ่งเตรียมได้โดยใช้ K_2PtCl_6 และ $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สีของสารละลายมาตรฐานนี้มีสีค่อนข้างเหลืองคล้ายกับแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป แต่เมื่อพิจารณาสีของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมฟอกย้อมและฟอกหนังซึ่งมีน้ำทิ้งหลากสีแล้ว การเทียบสีกับสารละลายมาตรฐานดังกล่าวแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย

2.15.4.2 วัดค่าร้อยละของแสงที่ส่องผ่าน (% Transmittance)

วัดค่าร้อยละของแสงที่ส่องผ่าน (% Transmittance) โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร ด้วยหลักที่ว่าถ้าวัตถุดูดสะท้อนแสงออกมามากในช่วงความยาวคลื่นนั้นๆก็จะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นโทนสีของแสงที่สะท้อนออกมา

2.15.4.3 วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

ใช้หลักการเกี่ยวกับการวัดค่าร้อยละของแสงที่ส่องผ่าน (% Transmittance) แต่ให้วัดออกมาเป็นค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

2.15.4.4 วัดโดยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี

จากหลักการผสมสีของแม่สี 3 สี ซึ่งมี 2 วิธี คือ ผสมแม่สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน แสงสีเขียว และ ผสมสารสีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน โดยใช้เครื่องโทมิเตอร์วัดสีโดยการใช้องค์ผสมแม่สี 2 ใน 3 สีร่วมกับการปรับความสว่างในการมอง เพื่อเลียนแสงสีให้เหมือนกับตัวอย่างที่ต้องการวัด

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัฒนพิมล ลีวีรวงศ์ (2537) ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยและการนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดสี พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการผลิต คือ อุณหภูมิในการเผาเท่ากับ 550°C . ใช้เวลา 20 นาที จะให้ผลผลิตประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น และในการกระตุ้นที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับ (Molasses Test) คือที่เวลา 30 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านที่มีค่าความชื้นร้อยละ 63 ซึ่งเป็นถ่านที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีดีที่สุด เนื่องจากมีรูพรุนมากที่สุดและสภาพพื้นผิวเหมาะแก่การดูดซับมากที่สุด

มานัด แก้วถาวร (2537) ศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้สารกระตุ้น 3 ชนิด คือ โซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าการกระตุ้นด้วยสารทั้ง 3 ชนิดนั้นจะทำให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติในการดูดซับดีขึ้นกว่าการใช้ถ่านธรรมดาเป็นสารดูดซับ การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นจาก 30 – 120 นาที จะทำให้ได้ถ่านที่มีค่าการดูดซับไอโอดีน (I_2) ดีขึ้นแต่ร้อยละของผลผลิตจะลดลงประมาณ 0.6 – 5.6 การศึกษาผลของขนาดกะลาพบว่า ขนาดของกะลาที่เล็กลงจะทำให้ถ่านมีคุณสมบัติการดูดซับที่ดีขึ้น แต่ให้ค่าร้อยละของผลผลิตลดลง ซึ่งอัตราส่วนของสารกระตุ้นคือ ซิงค์คลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์ ต่อปริมาณกะลามะพร้าวที่เหมาะสมคือ 1 : 1

และ 2 : 1 ตามลำดับ ส่วนในการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารกระตุ้นนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ $800 - 900^{\circ}\text{C}$

จากการใช้สารกระตุ้นทั้ง 3 ชนิดนั้น พบว่า โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าซิงคลอไรด์ แต่ซิงคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นที่ดีแต่เป็นพิษ ต้องล้างออกให้สะอาดก่อนนำไปใช้งาน และมีราคาแพง เมื่อใช้งานแล้วจึงต้องพยายามนำกลับมาใช้ใหม่

พงศธร โคว์วชาภรณ์ (2538) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดรวมทั้งศึกษาคุณสมบัติและการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าขังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ปริมาณร้อยละของผลผลิตและคุณสมบัติขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อซิงค์คลอไรด์ โดยที่อัตราส่วน 1 : 2 อุณหภูมิ 400°C เวลาการเผา 3 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณร้อยละของผลผลิตมากกว่าแต่ประสิทธิภาพการฟอกสียังไม่ดี เมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 600 และ 800°C ซึ่งจะได้ถ่านซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่า แต่ปริมาณร้อยละของผลผลิตจะต่ำกว่า

ตัณษวัณ อิงคภักย์ (2539) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดซีโอดีและสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดซับด้วยวิธีใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และแกลบ โดยใช้ถังดูดซับแบบแบ่งป้อนน้ำเสียแบบไหลลง พบว่าถ่านไม้และถ่านแกลบไม่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เนื่องจากความสามารถในการดูดซับซีโอดีและสีต่ำส่วนถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมโดยประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดซีโอดีและสีอยู่ในช่วงร้อยละ 78 - 89 ตามลำดับ ในการทดลองที่ชั้นความสูงถ่านกัมมันต์ 1.2 เมตร อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.15 ลูกบาศก์เมตร / ตารางเมตร - ชั่วโมง ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสามารถในการลดซีโอดีและสีสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดซีโอดีและสีเท่ากับร้อยละ 97 และ 96 ตามลำดับ

Lambert และคณะ (1997) ได้ทำการทดสอบสารดูดซับอนินทรีย์ 3 ชนิด คือ Activated bauxite , Fuller Earth และ Synthetic Clay โดยศึกษาเปรียบเทียบกับ Activated carbon ในการกำจัดสีซีย้อมและสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ สีซีย้อมที่ปนเปื้อนนี้ คือ สีรีแอกทีฟ (Reactive Dyes) และสารกำจัดศัตรูพืชพวกเพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) และโพรพีแทมฟอส (Propetamphos) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า synthetic clay มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการดูดซับสีซีย้อมรีแอกทีฟ ภายใต้สภาวะพีเอช 5.5 - 8.5 อุณหภูมิ $20 - 40^{\circ}\text{C}$ และภายใต้สภาวะ

ที่เป็นกรด activated bauxite มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่า ๆ กันกับ Activated carbon ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด แต่ความสามารถในการดูดซับสารกำจัดศัตรูพืช นั้น ทั้ง Activated bauxite , Fuller Earth และ Synthetic Clay มีประสิทธิภาพยังไม่ดีเพียงพอในการกำจัด สารกำจัดศัตรูพืชพวกเพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) และ โพรพีแทมฟอส (Propetamphos)

Ramakrisna และ Viraraghavan (1997) ได้ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งโดยใช้วิธีการดูดซับด้วยสารดูดซับ 4 ชนิด คือ Peat , Steel Plant Slag , Bentonite Clay และ Fly Ash โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ Granular activated carbon ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Fly Ash และ Steel Plant Slag มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมแอซิด (Acid Dyes) สูงสุด ในขณะที่ Peat และ Bentonite clay สามารถดูดซับสีย้อมเบสิก (Basic Dyes) ได้ดี แต่สำหรับสีย้อมดิสเพอร์ส (Disperse Dyes) นั้น ผลการทดลองปรากฏว่า Granular activated carbon จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่สูงกว่าสารดูดซับชนิดอื่น ๆ

Bousher และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีอินทรีย์ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมเคมี ด้วยวิธีการดูดซับโดยทำการทดลองใช้สารดูดซับที่ผลิตจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันหลาย ๆ ชนิด คือ Saw dust , Linseed straw , Peat , Pressed sludge cake , Coal dust , Pyrolysis tyre , Sugar beet pulp , Leather hide powder , Dealginated seaweed , Chitin , Montmorillonite , Bentonite , Bone charcoal และ Activated carbon แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร วัดการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอคือน้ำทิ้ง และวัดค่าการดูดซับสารองค์ประกอบแต่ละชนิดของน้ำทิ้ง พบว่าสารองค์ประกอบบางชนิดของน้ำทิ้งจะถูกดูดซับได้ดีกว่าตัวอื่น บางชนิดก็ไม่ถูกดูดซับเลย และที่สำคัญสารดูดซับบางชนิดกลับไปเพิ่มค่าซีไอคือน้ำทิ้งให้สูงขึ้นกว่าเดิม ในขณะที่สีของน้ำทิ้งลดลง

Ozoh (1997) ได้ทดลองใช้ Semi - Activated carbon จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น Guinea corn carbon , Maize carbon และ cane sugar carbon ในการบำบัดน้ำเสียในแม่น้ำซึ่งไม่สามารถบำบัดตัวเองได้เนื่องจากได้รับการปนเปื้อนจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 96 - 98 และสารระเหยถูกกำจัดไปได้ร้อยละ 3 - 3.8