

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด ทฤษฎี

2.1.1 สีย้อม (Dye)

สีย้อมมีหลายชนิดและมีส่วนประกอบของสารเคมีที่สำคัญ ซึ่งสารเคมีที่มีอยู่จะติดไปกับผ้าที่นำมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อม โดยโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมที่เกิดการเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (substantivity) กับเส้นใย แล้วทำให้เกิดการยึดแน่นของสีและเส้นใย ปรากฏเป็นเส้นใยที่มีสีต่าง ๆ สิ่งที่ทำให้เกิดอิทธิพลการดูดติดผิวเส้นใย คือ

- 1) ไฮโดรเจนบอน (hydrogen bond)
- 2) แรงแวนเดอร์วาลส์ (vander waal's forces)
- 3) แรงไอออน (ionic forces)
- 4) โควาเลนต์บอนด์ (covalent bond)

สรุปได้ว่า แรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด คือ โควาเลนต์บอนด์ (covalent bond) การเลือกใช้สีย้อมจะต้องคำนึงถึงชนิดของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยแต่ละประเภทจะมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของสีย้อมในกระบวนการฟอกย้อม

กลุ่มสีย้อม	ชนิดของเส้นใย	ปริมาณสีย้อมในเส้นใย	ปริมาณสีในน้ำทิ้ง	ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้ง
แคทไอออนิก	อะคริลิก	~ 98%	~ 2%	กรดอ่อน
แอซิด	ขนสัตว์ ไหม ไนลอน	95-98%	2-5%	กรดและอาจพบเกลือของโลหะหนัก
เมทัลคอมเพล็กซ์	ขนสัตว์ ไหม ไนลอน	95-98%	2-5%	-
ไดเรกต์	ฝ้าย เส้นใย เซลลูโลส	~ 80%	~ 20%	-
ดีสเพิร์ส	พอลิเอสเตอร์	~ 90%	~ 10%	เป็นกลางและอาจพบแคร์รีเออร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

กลุ่มสีย้อม	ชนิดของเส้นใย	ปริมาณสีย้อมในเส้นใย	ปริมาณสีในน้ำทิ้ง	ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้ง
แวนด	ฝ้าย เส้นใยเซลลูโลส	~ 90%	~ 5%	เป็นต่างและมีสารรีดิวซิ่ง
ซัลเฟอร์	ฝ้าย เส้นใยเซลลูโลส	~ 95%	~ 40%	เป็นต่างมีความเข้มข้นเกลือสูงและสารประกอบซัลเฟอร์
รีแอคทีฟ	ฝ้าย เส้นใยเซลลูโลส	50-95%	5-50%	เป็นต่างและมีความเข้มข้นของเกลือสูง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. 2548 : 4

1. สารช่วยย้อม (Additive)

สารช่วยย้อม คือ สารที่เข้าช่วยเหลือเพื่อทำให้เกิดโมเลกุลของสีย้อมและโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดีขึ้น ทำให้สีที่ติดเส้นใยคงทนและสม่ำเสมอ แบ่งออกเป็น 7 ประเภท คือ

- 1) กรดใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอน เมื่อใช้สีย้อมแอซิด
- 2) ต่างใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมอะโซอิก สีย้อมแวนดและสีย้อมกัมมะถัน
- 3) เกลือใช้ในการย้อมด้วยสีย้อมแอซิดและการย้อมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด
- 4) สารช่วยให้สีสม่ำเสมอใช้กับสีแวนดดิสเพิร์สและสีย้อมแอซิดบางชนิด
- 5) สารนำ (carrier) ใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
- 6) สารละลายอินทรีย์ใช้เมื่อย้อมขนและใยสังเคราะห์บางชนิด
- 7) สารรีดิวซิ่งใช้สำหรับรีดิวซ์ตัวสีบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปใน เส้นใย

2. การจำแนกประเภทของสี

การจำแนกประเภทตามโครงสร้างทางเคมีแบ่งสีที่สำคัญได้ 5 ประเภท ดังนี้

- 1) สีอะโซ (Azo dyes)
- 2) สีแอนทราควิโนน (Anthraquinone dyes)
- 3) สีไตรฟีนิลเมเทน (Triphenylmethane dyes)

- 4) สีซัลเฟอร์ (Sulphur dyes)
- 5) สีอินดิคอยด์ (Indigoids)
3. การจำแนกประเภทสีย้อมตามกรรมวิธีการย้อมแบ่งสีเป็น 11 ประเภท ดังนี้
 - 1) สีแอซิด (Acid dyes) คือ สีย้อมซึ่งเมื่อละลายในน้ำแล้วโมเลกุลสีจะมีประจุลบ สีที่สีย้อมในน้ำย้อมที่มีความเป็นกรดและใช้ได้กับพวกเส้นใยโปรตีนและไนลอน
 - 2) สีเบสิก (Basic dyes) สีย้อมซึ่งเมื่อละลายในน้ำแล้วโมเลกุลสีจะมีประจุบวก สีที่สีย้อมในน้ำย้อมที่มีความเป็นด่างและใช้ได้กับพวกเส้นใยอะคริลิก โปรตีน และไนลอน
 - 3) สีไดเรกต์ (Direct dyes) คือ สีย้อมซึ่งเมื่อละลายในน้ำแล้วโมเลกุลสีจะมีประจุลบสีที่สีย้อมในน้ำย้อมที่มีความเป็นด่างและจะต้องเติมสารพวกอิลคโตรไลท์ลงไปช่วยในการย้อมด้วย
 - 4) สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) คือ สีย้อมที่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเส้นใยส่วนใหญ่สีย้อมเส้นใยเซลลูโลส ขนสัตว์และไนลอน
 - 5) สีดีสเพิร์ส (Disperse dyes) คือ สีย้อมที่มีการละลายน้ำได้ต่ำ ใช้ได้ดีกับพวกเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ
 - 6) สีแวต (Vat dyes) คือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำที่มีกลุ่มคีโตอยู่ ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย
 - 7) สีซัลเฟอร์ (Sulphur dyes) คือ สีย้อมที่ไม่ละลายในน้ำและมีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างที่ทำให้เกิดสี ใช้ในการย้อมเส้นใยฝ้าย
 - 8) สีเมอร์แดนต์ (Mordant dyes) คือ สีย้อมที่เกาะติดอยู่กับเส้นใย ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอน
 - 9) สีอะโซอิก (Azoic dyes) คือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย
 - 10) สีออกซิเดชัน (Oxidation dyes) คือ สีย้อมที่สามารถถูกออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ใช้ในการย้อมเส้นใยฝ้าย
 - 11) สีอินเกรน (Ingrain dyes) คือ สีย้อมที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นในเส้นใย ใช้ในการย้อมเส้นใยฝ้าย

2.1.2 กระบวนการฟอกย้อม

กรมควบคุมมลพิษ (2548 : 3 - 9) ได้จัดทำแนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมฟอกย้อม ทั้งนี้เพื่อประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจในวิธีการและแนวทางการป้องกันและลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยกระบวนการฟอกย้อมเป็นขั้นตอนหนึ่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผ้ามีสีสันทนสวยงาม คงทนต่อการใช้งาน สวมใส่สบาย โดยมีขั้นตอนกระบวนการผลิตต่าง ๆ ดังนี้ แสดงดังแผนภูมิที่ 1

1. การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation)

เป็นขั้นตอนการนำเส้นด้ายหรือผ้ามาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อเตรียมเส้นด้ายหรือผ้าดิบนั้นให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปย้อมสีหรือตกแต่งสำเร็จต่อไป จึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเตรียมวัตถุดิบประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

1) การเผาขน (Singeing) มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดปลายเส้นใยที่โผล่ขึ้นมา ซึ่งจะมีผลทำให้ผ้าติดสีไม่สม่ำเสมอ กรรมวิธีการเผาขนทำได้โดยการผ่านผ้าในเปลวก๊าซหรือบนแผ่นโลหะที่ถูกเผาจนร้อนในอัตราความเร็วที่เหมาะสม การเผาขนส่วนใหญ่จะทำกับผ้าฝ้ายและผ้าใยผสมที่มีฝ้ายเป็นส่วนผสมอยู่

2) การลอกแป้ง (Desizing) ในการทอผ้าจะมีการลงแป้งเส้นด้ายยืนซึ่งแป้งนี้จะมีผลต่อการดูดติดสีและสารเคมี การลอกแป้งทำได้หลายวิธี เช่น การแช่และหมักด้วยเชื้อต่าง ๆ (Rot-Steeping) การแช่และหมักด้วยกรด (Acid-Steeping) การใช้เอนไซม์ และสารออกซิไดซ์ซึ่งเป็นต้น ซึ่งจะช่วยทำให้ผ้าเปียกน้ำได้ดี ดูดติดสีและสารเคมีได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผืนและทำให้ผ้านุ่มไม่หยابกระด้าง

3) การขจัดสิ่งสกปรก (Scouring) การขจัดไขมันและสารปนเปื้อนต่าง ๆ เพื่อช่วยให้สีย้อมซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น ทำได้โดยการต้มด้วยน้ำสบู่

4) การฟอกขาว (Bleaching) เป็นขั้นตอนการกำจัดสีที่มีอยู่บนเส้นใยซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็น โดยเฉพาะกับเส้นใยธรรมชาติที่จะนำไปทำเป็นผ้าขาวและผ้าย้อมสีอ่อน เพื่อให้ได้สีที่สดใสและไม่ผิดไปจากสีที่ต้องการย้อม สารเคมีฟอกขาวที่นิยมใช้ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide : H_2O_2) โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium Hypochloride : $NaClO$) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride : $NaCl$)

5) การซุบมัน (Mercerization) เป็นการเพิ่มความเงามันให้กับเส้นด้ายหรือผ้าโดยส่วนใหญ่มักทำกับเส้นใยฝ้ายและลินินหลังจากกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวแล้ว ทำได้โดยการนำผ้ามาซุบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (ร้อยละ 15 - 30) ให้ซึมเข้าไปภายในผ้าขณะที่ผ้าถูกดึงให้ตึงอยู่ โดยใช้เครื่องจักรซุบมัน

2. การย้อมสี (Dyeing)

เส้นด้ายและผ้าดิบที่ผ่านการเตรียมและทำความสะอาดแล้วจะถูกนำไปย้อมสีในเครื่องย้อม (Dyeing machine) โดยการทำให้สีย้อมให้อยู่ในรูปของสารละลายเพื่อให้สามารถถูกดูดซึมและเกาะติดผิวภายในเส้นใยด้วยแรงทางเคมี การย้อมโดยทั่วไปแบ่งออกได้ 2 ประเภท ประกอบด้วย

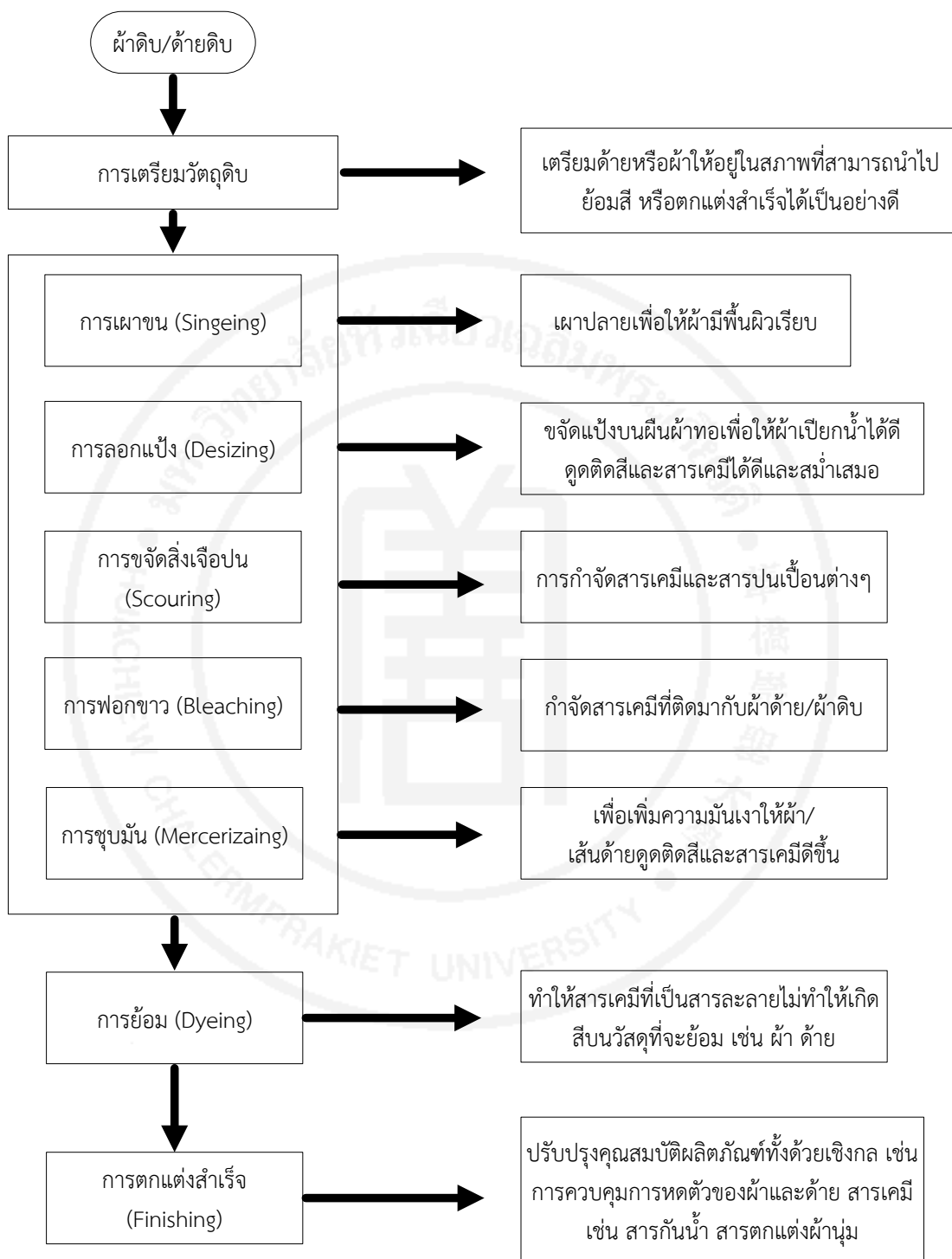
1) การย้อมแบบต่อเนื่อง (Continuous) การย้อมวิธีนี้จะใช้ลูกกลิ้ง (paddle) อัดน้ำสีเข้าไปในเนื้อผ้าโดยผ้าจะเคลื่อนที่ไปตามขั้นตอนต่าง ๆ ของการย้อมอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดแช่อยู่ที่จุดใดจนกระทั่งออกมาเป็นผ้าย้อมสำเร็จ วิธีนี้จึงเป็นวิธีการย้อมที่เร็วที่สุด และเหมาะกับการย้อม

ครวระมาก ๆ ข้อเสียของวิธีนี้คือ หากมีการผิดพลาดขึ้นในระหว่างการย้อมกว่าที่ข้อผิดพลาดนั้นจะถูกค้นพบและได้รับการแก้ไข ผ้าก็อาจเสียไปเป็นจำนวนมากแล้ว เพราะฉะนั้นก่อนที่จะดำเนินการย้อมด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องมีการเตรียมการอย่างระมัดระวังที่สุด การย้อมแบบต่อเนื่องต้องลงทุนสูงและใช้เครื่องจักรราคาแพง จึงยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร

2) การย้อมแบบแบตช์ (Batch หรือ Exhaustion) ในการย้อมวิธีนี้ผ้าหรือวัสดุที่จะย้อมจะถูกนำมาแช่ในหม้อย้อมที่มีสารละลายสีย้อม และก็จะถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อผ้าหรือเส้นด้าย การย้อมแบบแบตช์นี้นิยมใช้กับเส้นด้าย ผ้าทอ และผ้าถัก เครื่องย้อมที่มีหลายประเภท อาทิเช่น เครื่องเคียร์ เครื่องเจ็ท เป็นต้น

3) การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing) การตกแต่งสำเร็จเป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุง/เปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติมคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้หรือลูกค้า เช่น ควบคุมการหดตัวของผ้าทำให้ผ้านุ่มเป็นมันเงา เป็นต้น สามารถทำได้ทั้งโดยการใช้สารเคมีและกรรมวิธีเชิงกล เช่น การตะกรูยขน ตัดขน เป็นต้น

แผนภูมิที่ 1 กระบวนการฟอกย้อม



ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. 2548 : 4

2.1.3 น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม

กรมควบคุมมลพิษ (2548 : 15 - 17) ได้กล่าวว่า “น้ำใช้ในกระบวนการฟอกย้อมเกือบทั้งหมดจะกลายเป็นน้ำเสียที่แตกต่างกันทั้งในด้านปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทกระบวนการ ขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อม ประเภทวัตถุดิบ สี และสารเคมีที่ใช้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฟอกย้อม เช่น ขั้นตอนการเตรียมผ้า การฟอก การย้อมและการตกแต่งสำเร็จมักมีปริมาณไม่มากนัก แต่จะมีความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียสูงจากขั้นตอนการซักล้างและทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์” โดยในแต่ละขั้นตอนมีสารเคมีที่ใช้และของเสียที่เกิดขึ้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อม

ขั้นตอนที่เกิดสารเคมี	สารเคมีที่ใช้	ของเสียที่เกิดขึ้น
การลอกแป้ง (Desizing)	- เอมไซม์หรือกรดซัลฟูริก หรือ สารออกซิไดซ์ซิงค์ - สารช่วยเปียก (Wetting agent)	น้ำเสีย - ค่า BOD สูง - ค่า TS สูง - สภาพเป็นกลาง อากาศเสีย - ไอระเหยของกรด หรือ สารออกซิไดซ์ซิงค์
การขจัดสิ่งสกปรก เจือปน (Scouring)	- สารพวกอัลคาไลน์ เช่น โซดาไฟ (NaOH) โซดาแอช (Na_2CO_3) - สารจับอนุมลโลหะ (Complexing agent) - สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก (Scouring agent)	น้ำเสีย - ค่า BOD สูง - เป็นด่างสูง - ค่า TS สูง - อุณหภูมิสูง
การฟอกขาว (Bleaching)	- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) หรือโซเดียมคลอไรท์ (NaClO_2)	น้ำเสีย - ค่า BOD สูง - เป็นด่างสูง - ค่า TS สูง อากาศเสีย - ไอระเหยของสารเคมีที่ใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ขั้นตอนที่เกิดสารเคมี	สารเคมีที่ใช้	ของเสียที่เกิดขึ้น
การชุบมัน (Mercerization)	- โซดาไฟ (NaOH)	น้ำเสีย - ค่า BOD สูง - ค่า TS สูง - สภาพความเป็นด่างสูง อากาศเสีย - ไอระเหยของสารเคมีที่ใช้
การย้อม (Dyeing)	- สีย้อม - สารเคมีช่วยย้อม	น้ำเสีย - ค่า BOD สูง - สภาพความเป็นกลางหรือด่าง - น้ำเสียมีสีเข้ม
การตกแต่งสำเร็จ (Finishing)	- สารตกแต่ง เช่น เรซิน สารกันน้ำ ฯลฯ	น้ำเสีย - ค่า BOD ขึ้นกับสารเคมีที่ใช้ - สภาพเป็นกลาง อากาศเสีย - ฝุ่นแขวนลอยจากการอบผ้าให้แห้ง - สาร ISOCYANATE (TDI) เกิดจากการเคลือบผิว

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. 2548 : 11

1. น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอมีแหล่งที่มา 5 แหล่ง

จินตนา จุลอุล (2550 : 3 - 8) ได้กล่าวถึงแหล่งกำเนิดที่ระบายน้ำทิ้งลงในรางระบายน้ำโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอไว้ 5 แหล่ง ดังนี้

1) ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อมน้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิตแต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำทิ้งภายหลังการผลิตน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้มีปริมาณไม่มากนักแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนค่อนข้างสูงและน้ำที่

ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อมน้ำในส่วนนี้มีปริมาณมากแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยรวมแล้วต่ำกว่าน้ำทิ้งในประเภทแรก

2) น้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมมักอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนกับสารละลายสีย้อมโดยตรงก็จะเพิ่มปริมาณของสารละลายสีย้อมและจะรวมเป็นน้ำทิ้งที่สกปรกที่สุด

3) น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นในกระบวนการฟอกย้อมบางขั้นตอนทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้นซึ่งทำได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็นซึ่งน้ำที่ใช้เป็นน้ำสะอาดและสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่

4) น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน น้ำในส่วนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอและในบางกรณีเป็นน้ำทิ้งที่มีความสกปรกสูงมาก เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

5) น้ำจากแหล่งอื่น ๆ นอกจากน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ ข้างต้นโรงงานฟอกย้อมสิ่งทออาจมีน้ำทิ้งจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

2. ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำ

1) สีย้อม การย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในสารละลาย และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

2) สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) สารช่วยย้อม ได้แก่ สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก สารที่ช่วยในการย้อมสีให้ได้สม่ำเสมอ

(2) สารเคมีพื้นฐาน เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ต่าง สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

(3) สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา และสารกันไฟ เป็นต้น ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อม หรือน้ำซักล้างและถูกปล่อยปนออกมากับน้ำเสีย

3) สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้วยังมีสิ่งเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติที่ต้องขจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้า สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารซีมีน ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่าง ๆ สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูก

ขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และจะหลุดติดออกมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

4) เศษเส้นใย หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้

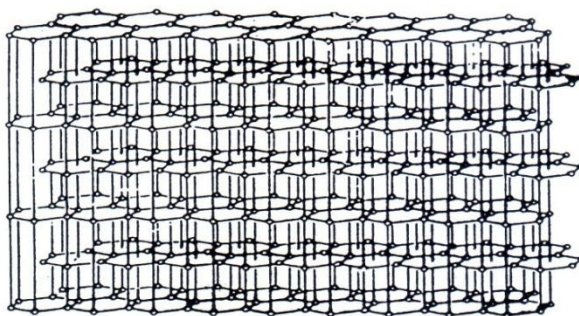
5) โลหะหนักเนื่องจากสารโลหะหนักมีคุณสมบัติในการให้ความสดีใสกับสีของสิ่งทอ ดังนั้นจึงมีการเติมสารโลหะหนัก เช่น โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอท โคบอลท์ ลงไปในสีย้อมและใช้เป็นสารออกซิไดซ์อีกด้วยซึ่งปริมาณและชนิดของโลหะหนักที่พบนั้นขึ้นอยู่กับเคมีภัณฑ์ของในแต่ละบริษัทก็จะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน

6) สิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการขจัดรอยเปื้อนบนผ้าซึ่งเป็นสารประเภทคลอรีนเบนซีน (chlorinated benzene) สารเคมีที่ใช้ในการล้างเครื่อง เป็นต้น ซึ่งสารเคมีบางตัวก็อาจมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งในภายหลัง

2.1.4 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับสูงมีการนำไปใช้ในงานต่าง ๆ โดยเฉพาะการบำบัดน้ำ วัสดุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์มีหลายชนิดด้วยกันและที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรมคือ ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดซับสูงและมีรูขนาดเล็ก ซึ่งวัสดุที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติ คือ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ราคาถูก หาง่าย มีโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ลักษณะเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราไฟต์ (graphite) คือ อะตอมของคาร์บอนเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แสดงดังภาพที่ 1 แต่ละชั้นห่างกันประมาณ 0.335 นาโนเมตร มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้น คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ แต่ละชั้นประกอบด้วยกลุ่มอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างรูปหกเหลี่ยม (ธราพงษ์ วิทิตสานต์. 2553 : 1)

ภาพที่ 1 โครงสร้างของกราไฟต์



1. ความพรุน (porosity) อยู่ระหว่าง 0.5 - 1.5 ml/g จากลักษณะและขนาดของรูพรุนสามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด

1) รูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000 - 20,000 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 ml/g พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดใหญ่มีค่าน้อยกว่า $2 \text{ m}^2/\text{g}$

2) รูพรุนขนาดกลาง (transitional pores) อยู่ระหว่าง 20 - 1,000 อังสตรอม มีปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.1 ml/g มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 5% ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

3) รูพรุนขนาดเล็ก (micropores) มีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6 - 8 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.5 ml/g และพื้นที่ผิวจำเพาะอย่างน้อยที่สุด 95% ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

2. ขนาดและปริมาตรรูพรุน (pore size and volume) ทั้งขนาดและปริมาณของการกระจายขนาดของรูพรุนขนาด เล็ก กลางและใหญ่ จะเป็นตัวกำหนดถึงคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือ รูพรุนที่มีขนาดเล็กไม่สามารถที่จะดักจับสารที่มีขนาดใหญ่ (large adsorbate) ส่วนรูพรุนขนาดใหญ่ก็ไม่สามารถที่จะเหนี่ยวรั้งสารขนาดเล็ก (small adsorbates)

3. ประเภทของถ่านกัมมันต์ในน้ำ

ในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปจะจำแนกประเภทของของถ่านกัมมันต์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) คาร์บอนแบบผง (powder activated carbon) มีขนาดประมาณ 10 - 50 ไมครอน หรือน้อยกว่า การเติมคาร์บอนผงอาจทำพร้อมกับการเติมโคแอกกูแลนต์ โดยคาร์บอนที่ใช้แล้วจะรวมอยู่กับสารแขวนลอยกลายเป็นฟล็อก ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการตกตะกอน หรือการกรอง การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะเลือกจากลักษณะของหอดูดซับ การผสมถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับของเหลว การแยกของถ่านกัมมันต์ชนิดผงหลังจากที่ดูดซับแล้ว

(1) ข้อดีของคาร์บอนผง คือ ราคาไม่แพงถูกกว่าแบบเกล็ด ในกรณีเพิ่มหรือลดปริมาณคาร์บอนสามารถทำได้สะดวก และการดูดติดผิวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวคาร์บอนได้ง่าย

(2) ข้อเสียของคาร์บอนผง คือ การทำรีเจนเนอเรชันจะสิ้นเปลืองเพราะคาร์บอนผงเมื่อใช้แล้วจะต้องทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2) คาร์บอนแบบเกล็ด (granular activated carbon, GAC) มีขนาดใกล้เคียงกับทรายกรองน้ำ แข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย ทำให้น้ำสามารถไหลผ่านได้ เวลาสัมผัสระหว่าง

ถ่านกัมมันต์กับน้ำเสียอยู่ในช่วง 10 - 30 นาที นิยมใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการกำจัดสี กำจัดกลิ่น และสิ่งเจือปนในระบบผลิตน้ำดื่มและใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสีย

(1) ข้อดีของคาร์บอนชนิดเกล็ด คือ เมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยนำไปทำรีเจนเนอเรชั่น

4. การดูดซับของถ่านกัมมันต์ (activated carbon adsorption)

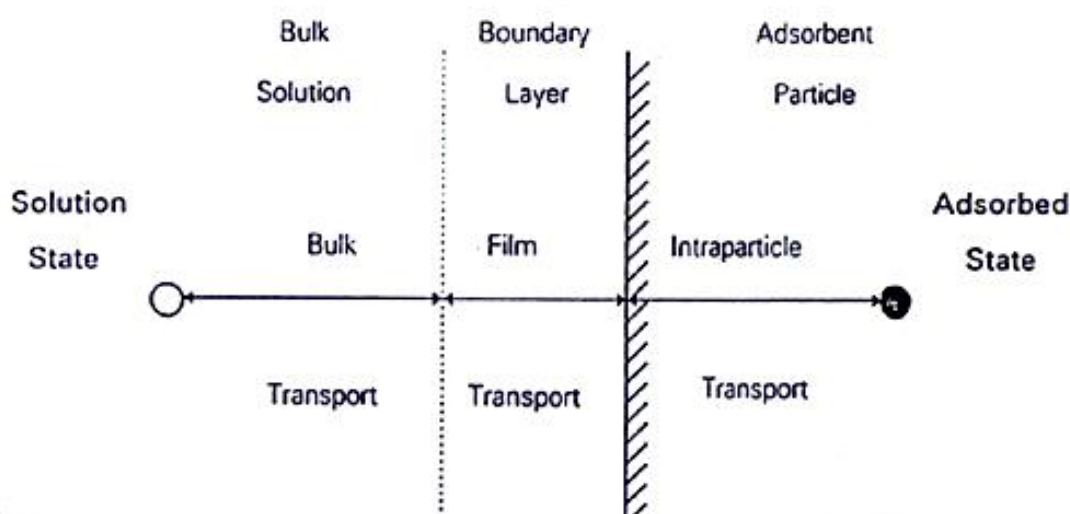
สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์ (2551 : 43 - 44) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการดูดซับถ่านกัมมันต์มี 3 ขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 2 ได้แก่

1) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (absorbate) เข้าหาผิวฟิล์มของคาร์บอน หรือสารดูดซับ (bulk transport)

2) film diffusion เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้ามาถึงคาร์บอน ซึ่งตามปกติมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบาง ๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มนี้ให้ได้จึงจะเข้าถึงผิวคาร์บอนได้ (film transport)

3) pore diffusion เนื่องจากคาร์บอนมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ที่โพรง หรือช่องว่างภายใน ดังนั้นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจึงต้องแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในคาร์บอน จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น Intraparticle (Pore) Transport

ภาพที่ 2 ขั้นตอนในการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์



ที่มา: Mattson & Mark. 1971 อ้างถึงใน สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์. 2551

การดูดซับของถ่านกัมมันต์ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนหรือการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) เกิดจากแรง Electrostatic Attraction ระหว่างประจุบนถ่านกัมมันต์กับประจุของสารที่ถูกดูดซับ
- 2) การดูดซับทางฟิสิกส์ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับอย่างอ่อนด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์
- 3) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดจากอิเล็คตรอนอิสระของถ่านกัมมันต์เกิดพันธะเคมีกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งบางครั้งพันธะนี้แรงกว่าพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอน ซึ่งทำให้ตัวถูกดูดซับไม่สามารถหลุดออกไปได้ง่ายเหมือนการดูดซับทางกายภาพ

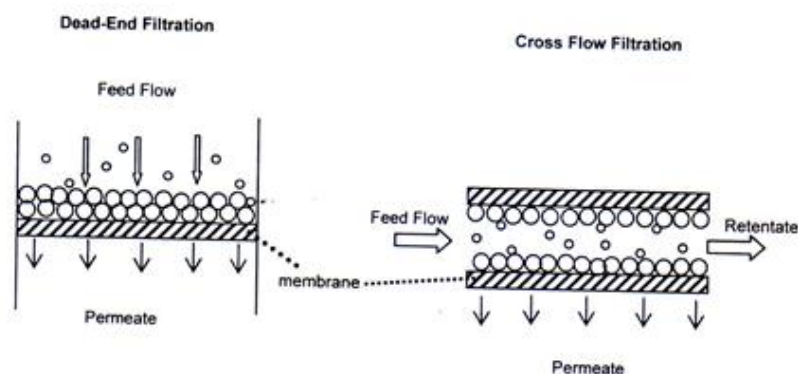
2.1.5 ระบบเอ็มบีอาร์ (Membrane bioreactor, MBR)

ระบบเอ็มบีอาร์ เป็นระบบเอเอสอีกรูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้แผ่นเยื่อชีวภาพแทนถังตกตะกอน รูปทรงที่มีขนาดเล็กของแผ่นเยื่อชีวภาพนั้นสามารถกักจุลินทรีย์ในระบบไม่ให้ออกไปกับน้ำทิ้งได้ น้ำที่ต้องการบำบัดเมื่อกรองผ่านเมมเบรนแล้ว มีลักษณะน้ำที่ใสและไม่มีตะกอนแขวนลอยเจือปน จุลินทรีย์ในระบบจึงมีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบทั่วไป (ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร. 2545 : 42)

1. กระบวนการเมมเบรน (Membrane processes)

กระบวนการเมมเบรนเป็นกระบวนการที่ละเอียดอ่อนจากภายนอกโดยการไหลผ่านของน้ำและมีแรงดันผ่านเมมเบรนเป็นแรงขับเคลื่อน ทำให้สารเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน การที่สารจะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้จะต้องทำให้มีความแตกต่างของแรงดันสองข้างระหว่างเมมเบรน และเมมเบรนนั้นจะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (permselective barrier) ในการขวางกั้นสารแขวนลอยและจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายทางชีวภาพและถูกแยกออกจากน้ำที่ต้องการบำบัดด้วยการกรองผ่านเมมเบรน น้ำที่ผ่านเมมเบรนมีลักษณะน้ำที่ใส และไม่มีตะกอนแขวนลอยเจือปนขณะที่สารที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนไปอยู่อีกด้านหนึ่งเรียกว่า Permeate phase ผลต่างของความเข้มข้นและความดัน แสดงดังภาพที่ 3 แสดงการเดินระบบเมมเบรนที่บังคับทิศทางการไหลแบบแนวตั้งฉาก (ก) หรือ dead end filtration และแบบ (ข) เป็นการไหลในแนวขนานกับเมมเบรน หรือ cross flow filtration ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันของเมมเบรนช้ากว่าการเดินระบบในแบบแรก

ภาพที่ 3 การเดินระบบเมมเบรน



ก. แนวตั้งฉาก

ข. แนวขนานกับเมมเบรน

ที่มา: ผกาดี แก้วกันเนตร. 2554 : 12

ในขณะที่ความสามารถในการแยกสารของเมมเบรนแต่ละชนิดนั้น อยู่กับขนาดช่องว่างหรือรูพรุน (pore size) หรือการคัดสรรด้วยน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight cutoff : MWCO) ของเมมเบรน โดยอาศัยกลไก 2 ชนิดคือ การกรองติดค้าง (Sieve mechanism) และการแพร่ผ่าน (Diffusion mechanism) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มความเข้มข้นหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น

2. ประเภทของเมมเบรน

1) เมมเบรนที่มีโครงสร้างแบบสมมาตร (symmetry membranes) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่

- (1) เมมเบรนชนิดมีรูพรุนเป็นทรงกระบอก (cylindrical porous membranes)
- (2) เมมเบรนชนิดมีรูพรุน (porous membranes)
- (3) เมมเบรนแบบไม่มีรูพรุน (homogeneous or non porous membranes)

2) เมมเบรนชนิดอสมมาตร (asymmetry membranes)

- (1) เมมเบรนชนิดมีรูพรุน (porous membranes)
- (2) เมมเบรนชนิดมีรูพรุนและมีพื้นผิวส่วนบน (porous membranes)
- (3) เมมเบรนชนิดเชิงประกอบคอมโพสิตและมีพื้นผิวส่วนบนหนา (composite with dense top layer membranes)

3) เมมเบรนชนิดโลหะและเซรามิก (metal and ceramic membranes) เมมเบรนในกลุ่มนี้สังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์และมีความทนทานสูงทั้งต่อค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิสูง

เมมเบรนชนิดโลหะโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มีโลหะพลาติเนียมเป็นโครงสร้างหลักถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ เป็นเวลานานแล้ว

3. คุณสมบัติทางโครงสร้างของเมมเบรน (membranes structure properties) คุณสมบัติทางโครงสร้างที่ดีที่สุดของเมมเบรน คือ การที่เมมเบรนมีความสามารถในการควบคุมอัตราการผ่านเมมเบรนได้ของสารที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของคุณสมบัติของเมมเบรนมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดเป็นประเภทต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความมั่นใจเมื่อนำเมมเบรนไปใช้ในการแยกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้สารปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่เกาะติดบนผิวของเมมเบรน ซึ่งจะสามารถทำให้โครงสร้างบนผิวเมมเบรนเปลี่ยนและมีผลสืบเนื่องทำให้ประสิทธิภาพของเมมเบรนลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเมมเบรนอาจมีความแตกต่างในแง่โครงสร้างและในหน้าที่การทำงาน

1) รูพรุนเมมเบรน (pore sizes of membranes) จำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มเมมเบรนที่มีรูพรุนและกลุ่มเมมเบรนชนิดไม่มีรูพรุน โดยในระบบเมมเบรนทั่วไปขนาดของรูพรุนมักจะมีขนาดแน่นอน และสามารถใช้เทคนิคหลายอย่างในการจัดจำแนกลักษณะของรูพรุนในเมมเบรนชนิดนั้น เช่น ในปัจจุบันนิยมการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ในการถ่ายภาพเพื่อวัดขนาดรูพรุนเมมเบรนได้โดยตรง หรือก่อนหน้านี้อาจใช้วิธีการวัดโดยใช้เทคนิคการวัดฟองอากาศที่เกิดขึ้นบนผิวเมมเบรน (bubble point) วิธีการแทนที่ด้วยของเหลว (liquid displacement) และวิธีการวัดการผลึกสารละลาย (solute rejection) เป็นต้น นอกจากนี้ในปี ค.ศ.1985 สหภาพเคมีบริสุทธิ์และเคมีประยุกต์นานาชาติหรือ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ยังได้กำหนดและจัดแบ่งขนาดรูพรุนเมมเบรนออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

(1) เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนใหญ่ (Macro pores) หมายถึง เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร (>50 nm)

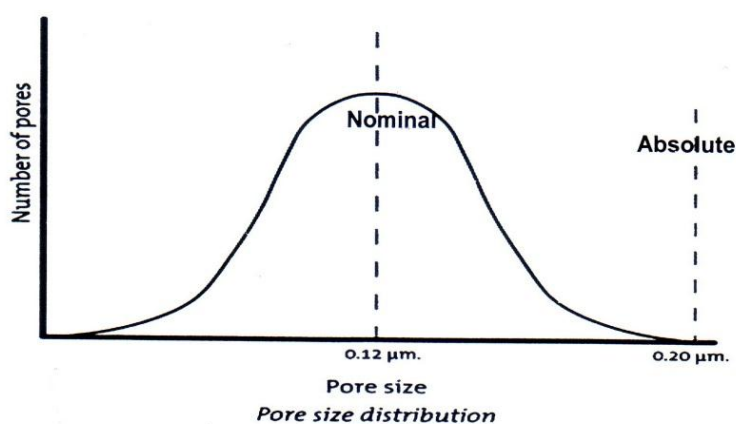
(2) เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนขนาดกลาง (Meso pores) หมายถึง เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่า 2 นาโนเมตรแต่มีขนาดเล็กกว่า 50 นาโนเมตร (<2 nm, <50 nm)

(3) เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนขนาดเล็ก (Micro pores) หมายถึง เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร (>2 nm)

2) การกระจายขนาดของรูพรุนเมมเบรน (Pore sizes distribution of Membranes) รูพรุนที่พบในเมมเบรนไมโครฟิลเตรชันจะมีขนาดไม่เท่ากันและมีขนาดรูพรุนที่แตกต่างจากขนาดรูพรุนจำเพาะ (nominal pore size) ซึ่งเรียกว่าเมมเบรนนั้นมีการกระจายตัวของรูพรุนตลอดทั้งแผ่น (pore size distribution) แสดงดังแผนภูมิที่ 2 แสดงการกระจายตัวของรูพรุนขนาดต่าง ๆ ของเมมเบรนซึ่งเมมเบรนนี้สามารถกำหนดลักษณะของเมมเบรนที่รูพรุนปกติอยู่ที่ 0.12 ไมโครเมตร หรือ

ที่ขนาดรูพรุนสัมบูรณ์ (absolute pore size) หมายความว่า ที่จุดกำเนิดรูพรุนสัมบูรณ์ของเมมเบรน สารหรือโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.2 ไมโครเมตร จะถูกกักขังไว้บนผิวของเมมเบรนหรือไม่สามารถ เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน ในทางตรงกันข้ามที่จุดที่กำหนดขนาดรูพรุนปกติหมายความว่า สารหรือ โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุน ณ ตำแหน่งนี้มากกว่า 95% หรือ 98% จะไม่สามารถกรองผ่าน เมมเบรนนี้ได้

แผนภูมิที่ 2 ตัวอย่างการกระจายตัวของรูพรุนขนาดต่าง ๆ ของเมมเบรน



ที่มา: Mulder. 1997 อ้างถึงใน ผกาวัตติ แก้วกันเนตร. 2554

4. การเกิดฟาวลิง (Fouling)

การเกิดฟาวลิงกับเมมเบรน หมายถึง การที่เมมเบรนนั้นเกิดการสะสมและอุดตันของ สารที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนออกไปได้ ส่งผลให้การไหลลดลง

การเกิดฟาวลิงมีกลไกต่าง ๆ ที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับลักษณะของเมมเบรนและสารที่จะกรอง ผ่านเมมเบรน การเกิดฟาวลิงมีหลายกรณี เช่น กรณีที่ 1 รูพรุนของเมมเบรนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เล็กกว่าขนาดของสารที่จะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน กรณีที่ 2 เกิดการอุดตันภายในรูพรุนเมมเบรน ถึงแม้ว่าสารที่จะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรนก็ตามแต่ ระหว่างที่สารเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุนสารและเมมเบรนเกิดแรงดึงดูดระหว่างกัน ทำให้สาร หยุด เคลื่อนที่จนอุดตันขวางรูพรุนเมมเบรนไว้ กรณีที่ 3 เกิดจากการที่ชั้นผิวของเมมเบรนเกิดการสะสม ของตะกอนของสารที่มาเกาะและสารที่มาเกาะก็มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ารูเมมเบรนทำให้ เกิดการกักขังและสะสมของสารบนพื้นผิวเมมเบรน ยิ่งสะสมนานอาจเกิดเป็นชั้นหนามากเรียกว่า fouling layer

5. ชนิดของเมมเบรน

1) ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration membrane) เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงผลักดันจากปั๊มที่ติดตั้งอยู่ภายนอก เพื่อคัดแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าไมครอน เมมเบรนชนิดนี้สามารถกรองและกักอนุภาคแขวนลอยและจุลชีพ ตะกอน ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solid : TSS) ที่มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.1 ถึง 1 ไมครอน แต่ยอมให้สารละลายและน้ำผ่าน กระบวนการตกตะกอนผ่านได้ และมีขนาดรูพรุน (pore size) ประมาณ 0.03 - 10 ไมครอน ค่า MWCO ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดขนาดของสารในระดับโมเลกุลสูงสุดมากกว่า 100,000 ดาลตัน ที่จะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน โดยปกติระบบนี้ใช้แรงดันต่ำประมาณ 100 - 400 กิโลปาสกาล (kPa) หรือ 15 - 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) กระบวนการกรองไมโครฟิลเตรชันได้มีการนำไปใช้หลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยาเภสัชภัณฑ์ อุตสาหกรรมการผลิตไวน์และเบียร์ อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และการบำบัดน้ำเสีย

2) อุลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration membrane) ใช้เมมเบรนชนิดที่มีรูพรุนเล็กมาในการแยกของแข็งแขวนลอยในระดับไมครอน และจุลินทรีย์ ตลอดจนสารอนุภาคละเอียด เช่น ราบาคทีเรีย และอนุภาคของสารคอลลอยด์ ซึ่งแสดงตามน้ำหนักโมเลกุลในระดับต่ำกว่าไมครอน เมมเบรนที่ใช้ในการกรองแบบอุลตราฟิลเตรชันส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบอสมมาตร มีลักษณะเฉพาะตัวที่เรียกว่า “unique skinned” ในกรณีสารที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุนบนผิวของเมมเบรนจะถูกกักไว้ได้อย่างสมบูรณ์ การกรองแบบอุลตราฟิลเตรชันถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสี และการชุบโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร การผลิตน้ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ และงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

3) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration membrane) คือกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนชนิดรูพรุนเล็กเป็นพิเศษ ซึ่งสามารถกักอนุภาคที่มีขนาดประมาณ 1 นาโนเมตร หรือเท่ากับ 10 อังสตรอม (Å) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) มากกว่า 200 - 400 ซึ่งเป็นกระบวนการที่อยู่กึ่งกลางระหว่างกระบวนการเมมเบรนอุลตราฟิลเตรชันและกระบวนการเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซิส นาโนฟิลเตรชันได้พัฒนาขึ้นเพื่อแยกสารในช่วงมวลโมเลกุลต่ำกว่า 300 ถึงสารที่ใช้แรงดันในการแยกต่ำกว่าแรงดันของออสโมซิสผันกลับทั่วไปด้วยเหตุนี้อัตราในการกำจัดสารจึงต่ำกว่าระบบรีเวอร์สออสโมซิสผันกลับ เช่น เกลือที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดออกในช่วง 70 - 90% คือ เกลือที่มีประจุลบเดี่ยวชนิดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือเกลือแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl) จะถูกกำจัดออก 70 - 90% ปกติการใช้งานหลักคือการกำจัดสี และคาร์บอนของอินทรีย์สารทั้งหมด (Total organic carbon : TOC) จากน้ำผิวดิน การกำจัดความกระด้างในน้ำบาดาล การลดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solid : TDS) และแยกสารอินทรีย์ออกจากสารอนินทรีย์ โดยเฉพาะในงานด้านอาหาร และการบำบัดน้ำเสีย

4) รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis membrane) เป็นระบบการกรองละเอียดที่สามารถกำจัดเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำและแยกเกลือออกจากน้ำเกลือ น้ำทะเล และน้ำกร่อย ซึ่งจะใช้แรงดันจากภายนอกที่มากกว่าแรงดันตามธรรมชาติของน้ำหรือเรียกว่า “แรงดันออสโมซิส (osmotic pressure)” กระบวนการนี้ทำงานโดยอาศัยการไล่ความดันเข้าไปในสารละลายเข้มข้น ความดันที่ไล่เข้าไปต้องมากกว่าความดันออสโมซิสของสารละลาย ซึ่งทำให้น้ำบริสุทธิ์ไหลผ่านเมมเบรน โดยจะทิ้งเกลือและสิ่งเจือปนเอาไว้ โดยใช้ความดันสูงถึง 1,380 - 6,890 kPa ในการควบคุมการแยกสาร ซึ่งชั้นเมมเบรน RO จะทำหน้าที่เหมือนเป็นชั้นกั้นเกลือละลายน้ำ และโมเลกุลอนินทรีย์สารทุกชนิด เช่นเดียวกับกับ โมเลกุลของสารอนินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณมากกว่า 100 แต่โมเลกุลน้ำลอดผ่านเข้าไปในเมมเบรนได้อย่างสะดวก และรวมตัวเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ ซึ่งปกติเกลือที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ 95 ถึงมากกว่า 99% อุตสาหกรรมที่นำไปใช้คือ อุตสาหกรรมผลิตน้ำดื่ม และใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

6. การจัดแบ่งชนิดของโมดูล (Classification of Modules)

กระบวนการเมมเบรนในการแยกสารต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องคำนึงหลักสำคัญ 2 ประการ คือ การเลือกใช้ระดับของระบบของเมมเบรนอย่างเหมาะสม เช่น ไมโครฟิลเตรชัน อุลตราฟิลเตรชัน หรือรีเวอร์สออสโมซิส เป็นต้น นอกจากนี้โมดูลที่จะใช้ต้องออกแบบให้มีความกะทัดรัด เหมาะสมกับเมมเบรนที่ใช้ ตลอดจนสามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนได้มากที่สุดเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการกรองแยกต่อปริมาตรมากที่สุด นอกจากนี้โมดูลที่จะใช้ต้องทำความสะอาดได้ง่ายและง่ายต่อการซ่อมแซมและเปลี่ยน

โดยทั่วไปแล้วโมดูลที่มีจำหน่ายแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

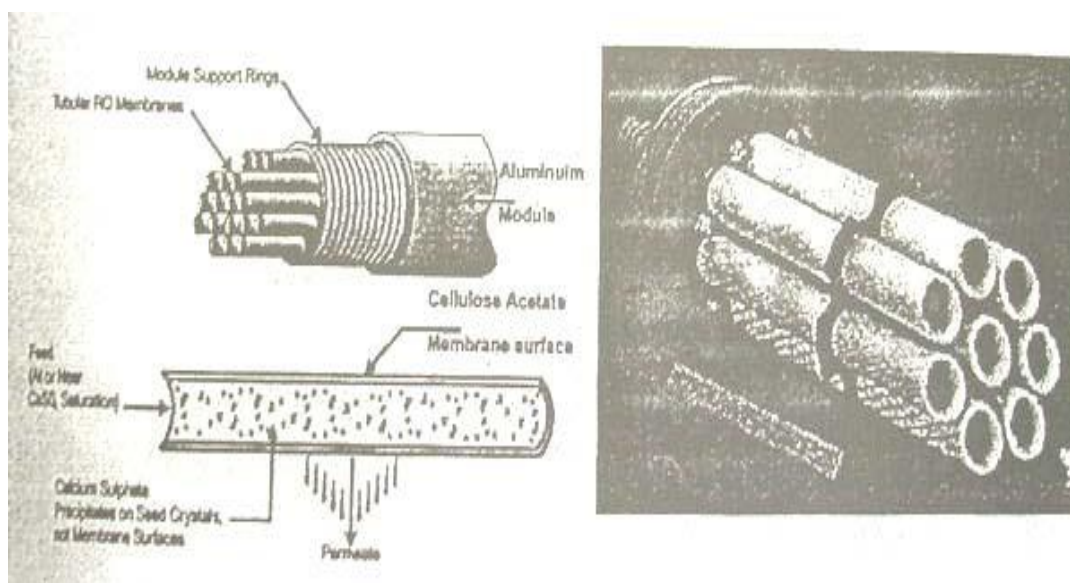
1. โมดูลแบบแผ่น (plate and frame module) เมมเบรนนี้ประกอบด้วยแผ่นเมมเบรนช่องว่างสำหรับการนำเข้าของสารกรอง และช่องว่างสำหรับเก็บสารที่กรองแยกได้จากเมมเบรน โดยแผ่นเมมเบรนจะถูกวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (porous plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนกันและสลับกันเป็นชั้น ๆ โดยน้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรนมาที่แผ่นรองรับและไหลออก ส่วนที่สามารถผ่านเมมเบรนได้ จะถูกรวบรวมไปตามช่องและไหลออกจากโมดูลไปตามทางที่นำไปสู่จุดศูนย์กลางที่ทำหน้าที่รวบรวมผลิตภัณฑ์ที่กรองแยกได้ แสดงดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 โมดูลแบบแผ่น



2. โมดูลแบบท่อ (Tubular module) มีลักษณะคล้ายท่อกลวงยาวที่สามารถให้น้ำ หรือ สารละลายหรือของผสมที่ต้องการแยกเคลื่อนที่ผ่านได้ โดยเมมเบรนที่ใช้บรรจุลงในโมดูลชนิดนี้ จำเป็นต้องมีรูปร่างลักษณะเป็นท่อกลวงที่เรียวยาววิธีการม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นหลอดหรือท่อ ขนาดเล็กและบรรจุหรือยึดติดไว้ภายในโมดูลชนิดท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยสแตนเลส หรือไฟเบอร์กลาส และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนไม่ให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งานและใช้เป็นทางออก ของน้ำที่สามารถกรองผ่านเมมเบรนออกมาได้อีก สารละลายหรือของผสมจะถูกสูบลำเข้าไปในท่อ ด้วยความดัน แรงดันของของผสมจะทำโมเลกุลของของไหลสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับ ออกไปสู่ภายนอก เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมใช้ในกรณีที่มีการอุดตัน เกิดขึ้นเร็ว นิยมนำมาใช้กับระบบเมมเบรนอุลตราฟิลเตรชัน แสดงดังภาพที่ 5

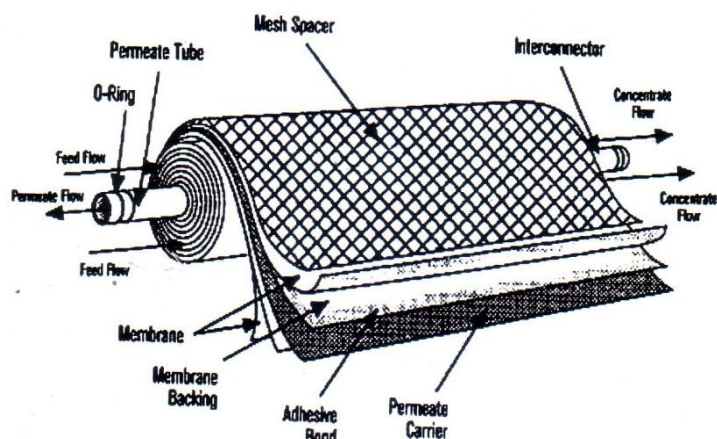
ภาพที่ 5 โมดูลแบบท่อ



ที่มา: Osamu. 2001 อ้างถึงใน วิทยุ โอบางพินธ์. 2550

3. โมดูลแบบม้วน (spiral wound module) โครงสร้างของโมดูลชนิดนี้ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกบกันเป็นคู่ ๆ และมีจำนวนหลาย ๆ คู่ โดยมีโมดูลที่มีลักษณะเป็นแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบนและแผ่นวัสดุทั้งสามรอบท่อเจาะรู ซึ่งทำหน้าที่เป็นท่อเก็บรวบรวมสารที่กรองผ่านเมมเบรน โดยมีแผ่นตะแกรงที่ทำด้วยพลาสติกโพลีโพรไพลีน (polypropylene) คลุมปิดด้านนอกขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกยึดไว้ด้วยกาวพิเศษ การม้วนเมมเบรน แผ่นรองรับและตะแกรงพลาสติกเข้าด้วยกัน จะทำให้ได้โมดูลรูปทรงกระบอกที่สามารถบรรจุลงในท่อทรงกระบอกธรรมดาได้ สารละลายที่ต้องการแยกจะถูกบังคับให้ไหลในแนวแกนของโมดูลเข้าไปตามแผ่นตะแกรง และจะถูกแรงดันอัดให้น้ำซึมผ่านเมมเบรนตามแนวรัศมีลงไปยังแผ่นรองรับซึ่งจะส่งน้ำ หรือสารที่สามารถกรองผ่านเมมเบรนได้นั้นไปยังท่อเจาะรูเพื่อนำน้ำออกจากโมดูลต่อไป แสดงดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 เมมเบรนโมดูลชนิดม้วน



ที่มา: GE infrastructure Water & Technologies. USA อ้างถึงใน ผกาวัตติ แก้วกันเนตร. 2554

4. โมดูลแบบใยกลวง (Hollow fiber module) มีผิวคล้ายฟองน้ำล้อมรอบผิวชั้นใน (ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.1 ไมโครเมตร) จะมีการนำเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงมามัดรวมกันเป็นมัด ๆ และงอพับเป็นรูปเกือกม้าหรือตัวยู ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัดถูกตรึงติดอยู่กับด้านใดด้านหนึ่ง แรงดันเพื่อบังคับให้สารละลายเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนจะเข้าระบบทางด้านข้าง และสารที่สามารถผ่านการกรองแยกได้ด้วยเมมเบรนจะไหลผ่านผนังไฟเบอร์ออกสู่ปลายเปิดของอีกด้านของไฟเบอร์ที่โมดูล เมมเบรนและโมดูลเมมเบรนชนิดนี้เหมาะในการนำไปใช้ในการกรองแยกน้ำดิบที่มีความสกปรก หรือของแข็งเจือปนสูง เพราะว่ามีช่องว่างขนาดใหญ่ ทำให้มีโอกาสอุดตันได้น้อย แสดงดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7 เมมเบรนโมดูลชนิดท่อใยกลวง



ที่มา: ปฐมาภรณ์ นิลดี. 2552 : 21

7. หลักเกณฑ์การเลือกโมดูล

ผนวกดี แก้วกันเนตร (2554 : 66 - 67) ได้กล่าวถึงหลักเกณฑ์การเลือกโมดูล ดังนี้

1) การเลือกใช้โมดูลเมมเบรนให้ถูกต้องตามระดับของระบบเมมเบรนที่ใช้ขึ้นเป็นการคำนึงถึงแรงดันที่จะใช้กับระบบเมมเบรนด้วย เช่น ถ้าระบบเมมเบรนที่เลือกเป็นนาโนฟิลเตรชันหรือรีเวอร์สออสโมซิส โมดูลที่ใช้ควรจะเป็นแบบท่อหรือแบบเส้นใยกลวง เป็นต้น ทั้งนี้หากเลือกโมดูลเมมเบรนแบบกรอบอัด อาจทำให้เมมเบรนเกิดการฉีกขาดความเสียหายเนื่องจากความดันที่ใช้มีค่าสูงหรือในกรณีที่ต้องการควบคุมการเดินระบบเมมเบรนให้มีการไหลแบบแนวขนานกับเมมเบรนนั้นหมายความว่าไม่สามารถใช้โมดูลแบบกรอบอัดได้เพราะโมดูลแบบนี้มีการไหลเข้าของสารมักกระทบหรือสัมผัสโดยตรงกับพื้นที่ผิวเมมเบรน เป็นต้น

2) โมดูลที่ใช้ต้องมีการออกแบบให้กะทัดรัด (compact) ไม่ควรมีขนาดใหญ่มากนัก แต่อย่างไรก็ตามต้องสามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนได้มากที่สุด เพื่อให้เมมเบรนมีพื้นที่ผิวสำหรับการกรองแยกสารต่อปริมาตรของสารนำเข้าให้มากที่สุด

3) ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบเมมเบรน โดยจำเป็นต้องพิจารณาหาจุดที่คุ้มค่าที่สุด เช่น จากเกณฑ์ในการเลือกข้อ 1 และ 2 ข้างต้น จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการแยกสารต่อปริมาตรทั้งหมดที่เข้าระบบเมมเบรนได้ แต่อย่างไรก็ตามจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการใช้พลังงานในการแยกสารนั้น เนื่องจากแรงดันภายนอกที่ใช้สูง ทำให้ความเร็วหรืออัตราการไหลในระบบเมมเบรนมีการหมุนเวียนสูงหรือเร็วขึ้น การที่โมดูลเมมเบรนมีพื้นที่หน้าตัดเล็กก็จะมีผลทำให้มีการสูญเสียเฮด (head) อันเนื่องมาจากแรงดันมากขึ้น

4) โมดูลเมมเบรนที่ใช้ต้องทำความสะอาดได้ง่าย เพราะเมื่อเดินระบบไประยะหนึ่งระบบเมมเบรนจำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดทั้งในส่วนของโมดูลเมมเบรนและแม้กระทั่งในส่วนของเมมเบรนเอง ทั้งนี้อันเนื่องมาจากการเกิดปัญหาฟาวลิงหรือการอุดตันของสารต่าง ๆ ที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้

5) โมดูลเมมเบรนที่ใช้จะต้องง่ายต่อการถอดออกจากระบบเมื่อมีความจำเป็นต้องซ่อมแซมและเปลี่ยนอะไหล่หรืออุปกรณ์ที่เสีย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์ (2551) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการเติมถ่านกัมมันต์ในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นเพื่อบำบัดและกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะการศึกษา คือ ระยะที่ 1 ศึกษาจลพลศาสตร์ของการบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟโทนแดง 141 ที่แหล่งคาร์บอนต่างกันโดยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกาศเพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และสี ซึ่งผลการทดลองพบว่า การบำบัดสีย้อมในสภาวะไม่ใช้ออกาศเมื่อใช้แหล่งคาร์บอนต่างกันไม่มีความ

แตกต่างกันเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นสูงจะกำจัดสีได้ดีเมื่อใช้ Modified Starch (MS) เป็นแหล่งคาร์บอน และระยะที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดของถังปฏิกรณ์แผ่นที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ในช่องที่ต่างกัน โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์และตามด้วยน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และสีเมื่อเติมถ่านกัมมันต์ในช่องที่แตกต่างกับไม่เติมถ่านกัมมันต์ พบว่าการเติมถ่านกัมมันต์ในถังปฏิกรณ์จะได้ค่าน้ำออกจากระบบบำบัดไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน โดยการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สามารถบำบัดสีได้ร้อยละ 60 - 70

สกล ศิริรัตน์ (2546) ศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟและสีย้อมเบสิกจากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเคลือบด้วยไคโตซาน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟและสีย้อมเบสิกด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเคลือบด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ธรรมดา โดยใช้อัตราส่วนของถ่านกัมมันต์ที่นำมาเคลือบต่อไคโตซานเท่ากับ 5 : 1 ผลการศึกษาพบว่าลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์หลังเคลือบไคโตซานมีรูพรุนลดต่ำลงจากการดูดซับด้วย Freundlich ISO Therm พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เคลือบไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับสีรีแอคทีฟได้มากขึ้น และถ่านกัมมันต์ที่ไม่เคลือบไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับสีเบสิกได้สูงสุดและค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมมีผลต่อกระบวนการดูดซับ โดยเมื่อค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมลดต่ำลงความสามารถในการดูดซับสีรีแอคทีฟมีค่าเพิ่มขึ้นและสีเบสิกมีค่าลดต่ำลง

สุจินต์ เอี่ยมปี (2544) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมสีโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสี ซีไอที ของแข็งแขวนลอยและความขุ่น โดยกำหนดความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ 20, 50 และ 80 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่าความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ 80 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการดูดซับมากกว่าความสูงที่ 50 และ 20 เซนติเมตร ประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราน้ำล้นผิวลง ประสิทธิภาพการดูดซับสี ซีไอทีและความขุ่นจะลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาการเดินระบบมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพการดูดซับของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มขึ้น

ศิริอุมา บำรุงวงศ์ (2541) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอนพบว่า ความสูงของชั้นคาร์บอนที่ 80 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุด และเมื่อใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอนพบว่า ความสูงของชั้นคาร์บอนที่ 80 เซนติเมตร ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งดีที่สุดเช่นกัน

อดิศักดิ์ อัญชลีสงาศ (2546) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยการกรองด้วยทรายและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์พบว่า การกรองด้วยทรายทำให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพ

สูงขึ้นสามารถบำบัดความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย สี ซีโอดี และลดค่าพีเอชได้ดีที่สุดเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของระบบบำบัดเพราะชั้นถ้ำแคลเซียมเกิดการอุดตันช้าลง

จุฑามาส แก้วสุข (2549) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตนม โดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัว ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแปรผกผันกับค่าสัดส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ และแปรผกผันกับค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 97 ที่ค่า F/M 0.05 กก.บีโอดีต่อกก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน เมื่อค่าภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 0.09 กก.บีโอดีต่อวันและระยะเวลาการเก็บกัก 1 วัน

ปิยรัตน์ วัฒนศัพท์ (2549) ศึกษาการลดความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เชื้อราเบสิดิโอไมไซติในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเยื่อกรองละเอียดจมตัว โดยชุดการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองเบื้องต้นในถังปฏิกรณ์แบบทีละ (Batch) ที่ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 4 ชม. และ 8 ชม. พบว่าค่าตะกอนของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น ชุดการทดลองที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ของผลผลิตการเจริญเติบโตของเชื้อราในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบมีเยื่อกรองละเอียดจมตัว โดยควบคุมระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 8 ชม. พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีร้อยละ 85.3, 91.6 และ 86.3 ชุดการทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์แบบเอสปีอาร์และมีเยื่อกรองละเอียดจมตัว โดยควบคุมระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 4 ชม. พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีร้อยละ 90.6, 85.7 และ 87.5

ภิญญา โอภาพงพันธ์ (2550) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรนกรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองเปลี่ยนแปลงตามค่าอายุสลัดจ์ที่ 30 วัน 20 วัน และ 60 วัน พบว่า การบำบัดน้ำเสียจากน้ำทิ้งฟอกย้อมที่อายุสลัดจ์ 60 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งมากที่สุด

พัฒน์พงษ์ ดิษระา (2552) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเท่ากับ 99.79%, 99.61% และ 99.54% ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 98.54%, 93.49% และ 94.10% ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยเท่ากับ 98.88%, 98.24% และ 98.36% ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นเท่ากับ 91.20%, 75.13% และ 74.47%

สุนิสา ปิยะสุวรรณ (2546) ศึกษาสภาวะการทำงานและประสิทธิภาพของชั้นกรองเม็ดพลาสติกลอยร่วมกับเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชันสำหรับน้ำดิบของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน ในช่วงความขุ่นต่ำ (20 - 40 NTU) และความขุ่นสูง (80 - 200 NTU) พบว่าโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่อัตราการกรองผ่านชั้นพลาสติก 15 ลบ.ม./ตร.ม.- ชม. และอัตราการกรองผ่านเมมเบรน 0.6 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน ซึ่งรวมถึงน้ำดิบความขุ่นต่ำและความขุ่นสูง

สุนทรีย์ ปัสนานนท์ (2550) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดและฟิล์มชีวภาพในระบบผลิตน้ำประปาแบบชั้นกรองตัวกลางลอย พบว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดมีประสิทธิภาพการกำจัด NOM ในรูป UV₂₅₄ ร้อยละ 39 และ TOC ร้อยละ 62 โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่อง อัตราการกรองผ่านชั้นกรองเม็ดพลาสติกลอย 11 ลบ.ม./ตร.ม.- ชม. ชั้นกรองถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดและชั้นกรองฟองน้ำ 2 ลบ.ม./ตร.ม.- ชม. นอกจากนั้นถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดและชั้นกรองฟองน้ำยังสามารถลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคได้ร้อยละ 29 และลดปริมาณสารไตรฮาโลมีเทน

สมศักดิ์ ปัสนานนท์ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยชั้นกรองตัวกลางพลาสติกกลอยร่วมกับเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา โดยใช้สารสร้างตะกอนชนิดต่าง ๆ และใช้น้ำดิบของโรงงานผลิตน้ำบางเขนและทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม เพอริคคโลไรด์ และโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ โดยวิจัยจาร์เทสต์ พบว่า เพอริคคโลไรด์และโพลีลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูป UV₂₅₄ และสาเหตุของการอุดตันของเมมเบรนมาจากความขุ่นและสารอินทรีย์ธรรมชาติ

วีระพงษ์ แซ่โจ้ว (2545) ศึกษาการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยระบบ SBR วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีต่าง ๆ ที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมของตะกอนจุลินทรีย์ชนิดที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตและตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวม 1 มีค่าการดูดซับมากกว่าโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน 2

Han Seung - Kim et al (2005) ศึกษาการพัฒนาเยื่อกรองชีวภาพร่วมกับถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการบำบัดน้ำเสีย โดยควบคุมปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้น 0 g/L , 10 g/L และ 40 g/L พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและมีประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นด้วย

ChoonAun Ng et al (2013 : 38 - 47) การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเยื่อกรองชีวภาพ โดยการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 2 เรื่อง คือ ประสิทธิภาพของความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ในระบบเยื่อกรองชีวภาพและประสิทธิภาพของเวลากักพักตะกอน SRT โดยการเติมถ่านกัมมันต์ และไม่เติมถ่านกัมมันต์ ควบคุม SRT ที่ 10, 30 และมากกว่า 30 วัน พบว่ากรณีไม่เติมถ่านกัมมันต์ระยะเวลาที่ตะกอนนานการทำงานจะลดลงทำให้เกิดการอุดตันที่การไหลพอประมาณ กรณีเติมถ่านกัมมันต์ระยะเวลาที่ตะกอนสั้นควบคุมการอุดตันได้ถือว่าเป็นเพราะส่วนใหญ่ถ่านกัมมันต์ยังใหม่อยู่

Yamimi Satyawali and Malini Balakrishnan (2009 : 457 - 465) การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระบบเยื่อกรองชีวภาพกรณีศึกษา น้ำทิ้งโรงกลั่นผลกระทบบของการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการเดินระบบเยื่อกรองชีวภาพ การกำจัดน้ำเสียจากกากน้ำตาลอ้อยในโรงกลั่น โดยมีถังปฏิกรณ์ขนาด 8 ลิตร การเดินระบบใช้เวลามากกว่า 200 วัน ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ $4.2 - 6.9 \text{ kgm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ควบคุมการเติมถ่านกัมมันต์ในถังปฏิกรณ์ระหว่างการเริ่มเดินระบบจะเกิดฟองและเพิ่มการไหลที่ 23% ดังนั้นการทำความสะอาดการกรองจะใช้ระยะเวลาเป็นไปได้อย่างการเติมถ่านกัมมันต์เมื่อเดินระบบอัตราภาระสารอินทรีย์จะสูง การกำจัด COD สูง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการย่อยสลายในถังปฏิกรณ์และน้ำหนักของโมเลกุลในถ่านกัมมันต์สูงไม่มีผลต่อการส่งเสริมถ่านกัมมันต์มีหน้าที่ทำปฏิกิริยากับ polysaccharide ของตะกอน

Faisalbney Hai et al (2011 : 2199 - 2206) การเพิ่มชีวภาพระบบเยื่อกรองชีวภาพด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมอัตราสูง ผลการทดลองระยะยาว การเพิ่มชีวภาพระบบเยื่อกรองชีวภาพที่มีถ่านกัมมันต์ในส่วนไร้อากาศ สำหรับการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมที่มีโครงสร้างสีอะโซแตกต่างกัน ลักษณะเฉพาะของกระบวนการเติมด้วยวิธีการแยกออกของเสียในโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ การใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดสีเป็นที่ยอมรับ สียอมจะผ่านเข้าสู่ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ส่วนที่เหลือที่ไม่มีสีก็จะผ่านไปเติมอากาศ การทดลองเบื้องต้นยืนยันความสำคัญของถ่านกัมมันต์ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงไม่เติมอากาศและเติมอากาศของระบบเยื่อกรองชีวภาพและกระบวนการเติมเป็นที่ยอมรับและมีหลักฐานว่ามีประสิทธิภาพ ภายหลังจากอัตราบรรทุกสีค่อย ๆ เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะความเข้มข้นของสี สำหรับถ่านกัมมันต์และการซึมผ่านเยื่อกรองชีวภาพ อัตราบรรทุกสี 0.1 - 1 g/L.d ผลถ่านกัมมันต์ (3, 105) ซึมผ่าน (0, 5) ความเข้มข้น TOC ในการซึมผ่านเมมเบรน อัตราบรรทุก 3 และ 54 mg/L การขจัดสีเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

Luong N. Nguyen et al (2012 : 169 - 173) การกำจัดสารอินทรีย์โดยระบบเยื่อกรองชีวภาพ - ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ผลสามารถยืนยันระบบเยื่อกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพกำจัด hydrophobic และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ ข้อมูลยังเน้นข้อจำกัดของระบบ MBR ในเรื่องการจัดกำจัด hydrophobic และสารประกอบ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดสามารถเป็นส่วนประกอบของระบบ MBR ได้เป็นอย่างดีเป็นกระบวนการบำบัดขั้นเริ่มต้น ระบบ MBR - GAC แสดงให้เห็นว่ากำจัดสารอินทรีย์ได้สูงประกอบด้วย hydrophobic และ persistent ย่อยสลายทางชีวภาพได้ถึง 406 BV อย่างไรก็ตามต้องดำเนินการต่อไปสังเกตจากความก้าวหน้าของ diclofenac ที่ 7320 BV

Cong Ma et al (2013 : 19 - 24) ผลกระทบของความแตกต่างของอุณหภูมิและการอุดตันของเมมเบรนในการบำบัดมลพิษขนาดเล็กบนพื้นผิวหน้าที่ความเข้มข้นสูงของระบบ PAC - MBR ผลการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์ 50 g/L พัฒนาการบำบัดมลพิษขนาดเล็กบนพื้นผิวหน้าภายใต้อุณหภูมิ 10 °C และ 20 °C ผลกระทบของอุณหภูมิจากการทดลองและการอุดตันของ

เมมเบรน อุณหภูมิต่ำ (10°C) สำหรับการเริ่มต้นระบบใช้ระยะเวลา 9 วัน และกระบวนการไนตริฟิเคชัน 10 วัน ทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัด $\text{NH}_3\text{-N}$ 90% และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (DOC 10%, UV_{254} 5%, SUVA 4%) ที่อุณหภูมิต่ำ (10°C) Polysaccharides เป็นหลักในการอุดตันเมมเบรน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปเงื่อนไขและข้อกำหนดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ แสดงดังตารางที่ 3



ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อ	น้ำเสีย	กระบวนการ	เงื่อนไขการทดลอง	ผลการทดลอง
Ng, C. A., D. Sun, et al	น้ำเสียสังเคราะห์	MBR-PAC	Set-up - MLSS = 1,000 mg/L - SRT = 10 d., 30 d., long - PAC = 5 g/L	10 d. MLSS = 10,330 mg/L 20 d. MLSS = 15,530 mg/L long MLSS = 18,780 mg/L - MBR (BAC) ควบคุมการอุดตันได้ดีกว่า MBR (AS) เนื่องจากการคงที่ของการเติมถ่านกัมมันต์ - อายุของถ่านกัมมันต์จะเสื่อมสภาพเมื่อกรองผ่านเมมเบรน - ไม่เติมถ่านกัมมันต์ SRT นานจะควบคุมการอุดตันได้ดีที่อัตราการไหลพอประมาณ - เติมถ่านกัมมันต์ SRT สั้นจะควบคุมการอุดตันได้ดีกว่า
Nguyen, L. N., F. I. Hai, et al.	น้ำเสียสังเคราะห์	MBR-GAC	Set-up - GAC = 7.5 g - HRT = 24 hr.	- Turbidity = 0.2 NTU - ประสิทธิภาพการกำจัด TOC = 97 - 99

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อ	น้ำเสีย	กระบวนการ	เงื่อนไขการทดลอง	ผลการทดลอง
			- Flow rate = 2.4 mL/min	- MLSS = 4.9 - 7.4 g/L - MBR มีประสิทธิภาพการกำจัด hydrophobic และการดูดซึมสารอินทรีย์
Ma, C., S. Yu, et al	น้ำเสียสังเคราะห์	PAC-MBR	Set-up - HRT = 2 hr. - อุณหภูมิ = 10 °C, 20 °C - เติระบบ = 28 นาที - อัตราการไหล = 16.6 L/(m ² h) - PAC = 50 g/L	- ประสิทธิภาพการกำจัด NH ₃ -N 90% - ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (DOC 10%, UV ₂₅₄ 5%, SUVA 4%) - ที่อุณหภูมิต่ำ 10 °C เคมีไม่มีผลทำให้เมมเบรนอุดตัน
Hai, F. I., K. Yamamoto, et al.	น้ำเสียสังเคราะห์	MBR-GAC	Set-up - เติระบบต่อเนื่อง 210 วัน	- MLSS = 6 g/L - GAC = เต็มทีละน้อย 30 g, 60 g และ 120 g - ความเข้มข้น TOC ในการซึมผ่าน

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อ	น้ำเสีย	กระบวนการ	เงื่อนไขการทดลอง	ผลการทดลอง
Satyawali, Y. and M. Balakrishnan.	Treating distillery effluent	PAC-MBR	Set-up - เติมหอากาศ = 2.6-4.5 L/min - DO = 2 และ 4 mg/L - MLSS = 3.9 g/L - เตินระบบไม่ต่อเนื่อง เติน 10 นาที หยุด 99 วินาที - HRT = 7 วัน - อุณหภูมิ 21-26 °C - PAC = 2 g/L - Flow rate = 0.7 mL/min	เมมเบรน อัตราการระบรทุก 3 และ 54 mg/L - ยอมรับถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสี - TMP = 0 - 0.07 kPa ที่อัตราการไหล 4.16 L/m ² /h - TMP = 3.72 kPa ที่อัตราการไหล 4.8 L/m ² /h - MLSS = 11 g/L - ไม่เติมถ่านกัมมันต์ ใช้เวลา 140 วัน ความเข้มข้น MLSS = 8 g/L - เตินระบบมากกว่า 200 วัน VSS/MLSS มีค่าระหว่าง 0.70 และ 0.80 - เมื่อเติมถ่านกัมมันต์สามารถกำจัด COD ได้สูง

2.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

แผนภูมิที่ 3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

