

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ซึ่งมีการส่งเสริมให้ขยายพื้นที่เพาะปลูกในหลายจังหวัด ผลผลิตจากสวนปาล์มในรูปแบบปาล์มสดทั้งทะเลยทั้งหมดจะขายเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งกรรมวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้กันในโรงงานขนาดใหญ่ซึ่งมีผลผลิตในรูปแบบน้ำมันปาล์มดิบรวมกันมากกว่าร้อยละ 85 ของผลผลิตทั้งหมดจะเป็นการสกัดแบบใช้น้ำหรือแบบมาตรฐานซึ่งส่วนใหญ่จะมีกำลังการผลิตสูง จากข้อมูลของศูนย์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้พบว่าภายในสิ้นเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2539 มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำ 23 โรง และโรงงานสกัดน้ำมันแบบไม่ใช้น้ำ 29 โรง

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มแม้จะก่อให้เกิดรายได้และการจ้างงานในท้องถิ่นภาคใต้ แต่อุตสาหกรรมดังกล่าวก็ปลดปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะโรงงานสกัดน้ำมันแบบใช้น้ำหรือแบบมาตรฐานนอกจากจะมีวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็ง ได้แก่ ทะลายเปล่า เส้นใย และกะลาปาล์มแล้ว ยังมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่มีมลสารในรูปสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก โดยพบว่าการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มโดยใช้อัตรา 1 ตันทะลายปาล์มสด จะมีน้ำที่ก่อกำเนิดขึ้นประมาณ 0.87 ลบ.ม. และในน้ำดังกล่าวจะมี ซีโอดี (COD) บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (suspended solid, SS) และน้ำมัน 52.45, 26.58, 12.88 และ 8.1 กิโลกรัม ตามลำดับ (อรรถ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ, 2539) และแม้ว่าโรงงานสกัดน้ำมันแบบมาตรฐานทุกโรงจะมีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบบ่อธรรมชาติ แต่น้ำภายหลังการบำบัดเป็นน้ำที่มีสีออกน้ำตาลยังมีมลสารบางชนิดอยู่ในเกณฑ์สูง เป็นผลให้ไม่สามารถระบายน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้ ได้มีการบำบัดน้ำดังกล่าวโดยอาศัยวิธีเชิงฟิสิกส์หรือเคมีเช่นการใช้ถ่านดูดซับจัดเป็นวิธีเชิงฟิสิกส์-เคมี (physiochemical) ซึ่งก็ได้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดี แต่ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงมาก การศึกษาการกำจัดสีโดยการกรองด้วยแผ่นเยื่อบางก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งถ้ามีการศึกษาเพียงพอก็สามารถนำมาพิจารณาเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในแก้ปัญหาข้างต้น

1.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของภาคใต้ที่นับวันจะมีการเพิ่มขยายมากขึ้น เนื่องจากมีความต้องการเพิ่มขึ้นในส่วนของการใช้เป็นพลังงานทดแทน และเนื่องจากการใช้น้ำในกระบวนการผลิตที่เป็นสาเหตุของการเกิดน้ำเสีย ในเบื้องต้นจึงเป็นการกล่าวถึงกรรมวิธีต่างๆในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อจะได้ทราบถึงแหล่งที่มาของปัญหา

1.2.1 กรรมวิธีการสกัดน้ำมันจากผลปาล์ม

วิธีการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มในประเทศไทย มี 2 วิธี คือ วิธีการสกัดแบบใช้น้ำและวิธีการสกัดแบบไม่ใช้น้ำ แต่วิธีการที่สามารถรองรับวัตถุดิบได้ในปริมาณมากและให้ผลผลิตในรูปแบบน้ำมันปาล์มที่มีคุณภาพ และเป็นวิธีที่ใช้กันมาก คือ การสกัดแบบใช้น้ำ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดใหญ่ ขึ้นตอนโดยทั่วไปของการสกัดน้ำมันแบบใช้น้ำ

การอบทะเลสาปาล์มสดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 – 130 °C ความดัน 270-400 kPa เป็นเวลาประมาณ 40 – 60 นาที การอบผลปาล์มจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาโพลีซิส ที่จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม นอกจากนี้ไอน้ำ ยังทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มสะดวกต่อการย่อย และการหีบ ทั้งยังทำให้ขั้วหลุดออกจากทะเลสาปได้ง่าย

- 1 ทะเลสาปาล์มที่อบแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องแยกผลปาล์มและทะเลสาปเปล่าออกจากกัน
- 2 ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม ซึ่งภายในมีใบพัดกววนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกแยกออกจากเมล็ดและเซลน้ำมันเกิดการแตกตัวและขณะย่อยผลปาล์มจะมีการเติมน้ำลงไปเล็กน้อย
- 3 ป้อนเข้าเครื่องหีบแบบอัดเกลียวเพื่อแยกน้ำมันออกจากเส้นใยและเมล็ดใน น้ำมันที่ได้จากเครื่องหีบจะมีเส้นใย กากต่าง ๆ และน้ำ
- 4 กรองผ่านตะแกรงแบบสั่นเพื่อแยกน้ำมันออกจากสิ่งเจือปนจากนั้นจึงทำการแยกกรวดทรายออกด้วยเครื่องแยกกรวดทรายแบบไฮโดรไซโคลอน
- 5 น้ำมันที่ได้จะถูกส่งเข้าเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำและกากสลัดจ์
- 6 น้ำมันดิบที่ยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่อีกมาก โดยเฉพาะอนุภาคของของแข็งขนาดเล็กจะต้องกำจัดอนุภาคของแข็งเหล่านี้โดยใช้เครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง แล้วจึงผ่านเข้าสู่ เครื่องดูดสูญญากาศเพื่อไล่ความชื้น น้ำมันดิบที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้วจะถูกลำเลียง ไปเก็บในถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่ รอเข้าสู่ขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์หรือเตรียมจำหน่ายโรงงานทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ต่อไป (อรรถ หันพงศ์กิตติกุลและคณะ 2539)

1.2.2 ปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำ

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันผลปาล์มทั้งหมดเกิดจากน้ำที่ใช้ในระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมันซึ่งมาจาก 5 แหล่งใหญ่ คือ

1. น้ำนึ่งปาล์ม เป็นน้ำทิ้งจากการอบทะเลสาปาล์มด้วยไอน้ำ น้ำส่วนนี้แม้จะมีน้ำมันอยู่แต่มีสารแขวนลอยต่ำ และไม่มีสภาพเป็นอิมัลชัน โดยทั่วไปการอบทะเลสาปาล์ม 25 ตัน จะมีน้ำนึ่งปาล์มเกิดขึ้น ประมาณ 2.0 – 3.0 ลบ.ม.

2. น้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน น้ำทิ้งส่วนนี้เกิดขึ้นมากที่สุดและเป็นน้ำทิ้งที่มีของแข็งแขวนลอยมาก กรณีที่ใช้ decanter ในการแยกน้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.35 ลบ.ม./วัตถุดิบ 1 ตันทะเลสาปาล์มสด และในกรณีที่ใช้ separator จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.65 ลบ.ม./วัตถุดิบ 1 ตันทะเลสาปาล์มสด

3. น้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องมือที่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง ได้แก่

- เครื่องแยกกรวดทราย ต้องทำการล้างทุกครั้งชั่วโมงใช้น้ำในการล้างประมาณ 0.05 – 0.1 ลบ.ม./ครั้ง
- เครื่องแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งต้องมีการล้างทำความสะอาด ซึ่งจะมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นครั้งละ 0.2 – 0.5 ลบ.ม.

- เครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง ต้องทำการล้างทุก 20 – 30 นาที จะใช้น้ำครั้งละ 0.05 – 0.06 ลบ.ม.

นอกจากนี้ยังต้องล้างทำความสะอาดพื้น ถังพัก และภาชนะต่าง ๆ อีกด้วย น้ำทิ้งจากการล้างเครื่องมือและอุปกรณ์จะมีผงซักฟอกที่ใช้ในการกำจัดคราบไขมันเจือปนอยู่ ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำทิ้งส่วนอื่นจะได้อิมัลชันที่คง

ตัวและยากต่อการบำบัด ประมาณว่าเมื่อใช้วัตถุขีปนาวุธ 1 ตันทะเลลายปาล์มสด จะต้องใช้น้ำล้างทำความสะอาด 0.06 ลบ.ม.

4. น้ำจากการหล่อเย็นหม้อกำเนิดไอน้ำและเครื่องระเหย เป็นน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำมากและยังสะอาดอยู่

5. น้ำสลัดจ์จากเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuge) เกิดขึ้นประมาณ 0.03 – 0.15 ลบ.ม./ตันทะเลลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติคุณและคณะ 2539)

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาณทะเลลายปาล์ม (Hwang. et al, 1978 อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี 2539) หรือมีปริมาณน้ำเสีย 2.5 – 3.0 เท่าของปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

1.2.3 ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม

น้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำทิ้ง ได้แก่ น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ และน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือ เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) คุณลักษณะโดยรวมของน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ แหล่งนี้ จะเห็นว่าน้ำทิ้งจากบอรวรรวมน้ำทิ้งมีค่า ซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย และของแข็งทั้งหมดสูงกว่าน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อและน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือเครื่องเหวี่ยง (พูนสุข ประเสริฐทรัพย์ และคณะ 2533)

ตาราง 1.1 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ จากโรงงานน้ำมันปาล์มโดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ย

คุณลักษณะ	น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ	น้ำทิ้งจากเครื่องสกัดแยกน้ำมัน	น้ำทิ้งจากเครื่องเหวี่ยง	สลัดจ์	บอรวรรวมน้ำทิ้ง
สี	น้ำตาลดำ	น้ำตาล	น้ำตาลดำ	น้ำตาล	น้ำตาลคล้ำ
พีเอช (pH)	5.12	4.61	4.89	4.84	4.05 – 4.62
บีไอดี	31620	21000	45375	66550	50000 – 60000
ซีไอดี	65969	38246	67567	105955	80000 – 150000
กรดระเหย (ในรูปกรดอะซิติก)	3150	1638	2273	5355	3100 – 5800
ความเป็นด่าง (ในรูป CaCO ₃)	1576	480	86	200	68 – 200
ไขมัน (Oil&Grease)	20	-	4	1130	15 – 2500
ปริมาณของแข็ง	54546	25634	47242	448570	49000 - 88500
ของแข็งระเหยได้	44354	23056	39617	108590	4200 – 82000
ของแข็งแขวนลอย	2600	2900	20300	40000	18500 - 52000
ไนโตรเจน-แอมโมเนีย	43	23	22	61	23 - 61
สารอินทรีย์	22	-	518	1352	550 – 1400

ค่าทุกค่ามีหน่วย mg/l ยกเว้นสีและพีเอช ที่มา : พูนสุข ประเสริฐทรัพย์และคณะ(2533)

ตาราง 1.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม (ต่อน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบ	ร้อยละ	องค์ประกอบ	ร้อยละ
Ether extract	31.6	P	0.24
Protein (N*6.25)	8.2	K	0.99
Ash	14.1	Ca	0.97
Fiber	11.9	Mg	0.3
N-free extract	34.2	Na	0.08
Gross energy (Kcal/100g)	454		

ที่มา: พูนสุข ประเสริฐทรัพย์และคณะ(2533)

1.2.4 ปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มมีสีคล้ำ

1 สารวัตถุพวกแอนโทไซยานิน (anthocyanins) และ แคโรทีน (carotene) ที่อยู่ในส่วน pericarp ของผลปาล์ม ซึ่งถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันหรือไอน้ำ เนื่องจากเซลล์ผลปาล์มถูกทำลาย ดังนั้นสารวัตถุเหล่านี้จึงถูกสกัดได้ง่าย โดยแคโรทีนที่พบมากที่สุด ในส่วนของ pericarp จะเป็นเบตา-แคโรทีน สามารถละลายในไขมันได้ โดยแคโรทีนกระจายอยู่ในน้ำทิ้ง ส่วนแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารวัตถุสีม่วงแดงที่ละลายน้ำได้นั้นจะมีสีที่แตกต่างกันตามพีเอชของตัวกลางที่มันละลายอยู่ คือ พีเอชเป็นกลางจะมีสีม่วง เป็นกรดมีสีแดง และพีเอชเป็นด่างมีสีน้ำเงิน อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อ แอนโทไซยานินทำปฏิกิริยากับเหล็กจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ในน้ำทิ้งจากเครื่องสกัดน้ำมัน เพราะ มีปริมาณเหล็กที่สูงถึง 177 ppm ดังนั้นจึงน่าจะมีแอนโทไซยานินในน้ำทิ้งจากเครื่องแยกสกัดน้ำมันด้วยการถูกสกัดออกด้วยไอน้ำและน้ำร้อน

2 สารประกอบพวกโพลีฟีนอล (Poly phenol) ซึ่งพบว่าเป็นตัวหลักที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำถึงดำในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันมะกอก ซึ่งน่าจะคล้ายคลึงกันกับน้ำทิ้งจากเครื่องสกัดแยกน้ำมัน นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ด้วย เช่น แทนนิน (tannin) เพกติน (pectin) และโพลีแอลกอฮอล์ (Polyalcohol) โดยพบว่ามีปริมาณเพกตินและโพลีฟีนอลเป็น 5.7 และ 2.0 g/l ตามลำดับ ในน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อถึงแม้ว่าจะไม่มีการรายงานข้อมูลของสารตัวอื่นในกลุ่มนี้ แต่เนื่องจากแทนนินมีอยู่ทั่วไปในพืช ดังนั้น จึงน่าจะเป็นไปได้ว่าการย่อยสลายผลปาล์มโดยใช้น้ำร้อนนั้นสามารถทำให้แทนนินแพร่กระจายออกมาและเกิดเป็นคอลลอยด์ เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 295 และ 315 ppm ตามลำดับ ในน้ำทิ้งจากเครื่องสกัดแยกน้ำมันกลายเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงทำให้น้ำทิ้งขุ่น นอกจากนี้พบว่าแทนนินยังสามารถทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดเป็นสารเชิงซ้อนสีน้ำตาลคล้ำด้วย

3 สารประกอบพวกเมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymic browning reaction หรือ mailard reaction) ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงโดยเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารประกอบสีน้ำตาลมีประจุลบเกิดแรงผลักทางไฟฟ้า ทำให้ความเสถียรของการกระจายตัวในน้ำทิ้งได้ ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงเนื่องจากพบว่า ในส่วนของสลัดจ์มีน้ำตาลและโปรตีนร้อยละ 2.5 และ 12.2 โดยน้ำหนักแห้ง โดยอาจเกิดสารประกอบนี้ก่อนที่จะแยกสลัดจ์ออกจากน้ำทิ้ง

นอกจากนี้สารประกอบเมลานอยดินอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของกรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัวในน้ำทิ้งจาก decanter ซึ่งได้สารประกอบอัลดีไฮด์ โดยอัลดีไฮด์ สามารถที่จะเกิดปฏิกิริยากับกรดอะมิโน ได้สารสีน้ำตาลคล้ำ ของเมลานอยดิน

4 สารประกอบพวกกัม (gum) ซึ่งเป็นสิ่งแปลกปลอมในน้ำทิ้งอาจละลาย ไม่ละลายหรืออยู่ในรูปของคอลลอยด์ก็ได้ โดยมีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำมันที่แยกออกไม่หมด ซึ่งเมื่อโดนความร้อนในขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มจะทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำขึ้น และสามารถรวมตัวกับเกลือของโลหะ เช่น แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ก่อให้เกิดความคงตัวของสีและสารพวกออกซิเดทิฟ (oxidative) ในน้ำทิ้งได้

1.3 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการบำบัดน้ำเสียมักมีด้วยกัน 4 กระบวนการใหญ่ คือ กระบวนการทางกายภาพ (physical processes) กระบวนการทางเคมี (chemical processes) กระบวนการทางชีวภาพ (biological processes) กระบวนการทางกายภาพ – เคมี (physico – chemical processes) การเลือกใช้กระบวนการใดขึ้นอยู่กับ ลักษณะน้ำเสีย ระดับการบำบัด สภาพท้องถิ่น ส่วนน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ ควรเลือกระบบชีวภาพ

1.3.1 วิธีการบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1.3.1.1 การบำบัดขั้นต้น (primary treatment) ได้แก่ การตกตะกอน การกรอง การกำจัดเศษกรวดทรายหยาบ การใช้ถังคักไขมัน ใช้ถังปรับสภาพกรดด่าง ใช้ตะแกรงดักสิ่งที่ย่อยน้ำ กำจัดโลหะหนัก มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมแก่การบำบัดในขั้นที่ 2 และลด บีโอดี ได้ 25-40 %

1.3.1.2 การบำบัดขั้น 2 (secondary treatment) เป็นการกำจัดสารอินทรีย์ หรือ บีโอดี ให้อยู่ในรูปสารละลาย หรือ คอลลอยด์ หรือ ตะกอนขนาดเล็ก จะใช้ระบบบำบัดทางชีวภาพ โดยใช้จุลินทรีย์เฉพาะกลุ่มแบคทีเรียแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การบำบัดแบบมีอากาศและไม่มีอากาศ

การบำบัดแบบมีอากาศได้แก่

- ระบบเลี้ยงตะกอน (activated sludge)
- ระบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon)
- ระบบทวนเวียน
- ระบบลานกรองจุลินทรีย์
- ระบบจานหมุนชีวภาพ

การบำบัดแบบ ไม่มีอากาศ

- บ่อหมักไร้อากาศ
- ถังกรองไร้อากาศ
- ระบบแอนแอโรบิกคอนแทค
- ถังหมักไร้อากาศ

การบำบัดในขั้นนี้สามารถลดค่า บีโอดี 35-95 % ระบบการบำบัดส่วนมากสิ้นสุดที่การบำบัดขั้นสอง

1.3.1.3 การบำบัดขั้นที่ 3 (tertiary treatment)

ในกรณีที่ต้องการน้ำทิ้งที่สะอาดจนสามารถนำไปใช้ในการอุปโภค และเป็นกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางกายภาพ - เคมี โดยน้ำจากระบบบำบัดขั้นที่ 2 จะถูกนำมากำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ ด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่าน การแลกเปลี่ยนประจุ reverse osmosis และ electro dialysis

ตาราง 1. 3 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังการบำบัด

Mills	Type of wastewater	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	Oil&grease (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
Southern Palm Co.Ltd.	before treatment	4.6	35850	88500	18440	5750	N/A	N/A	N/A
	After treatment	9.45	169	667	126	40.8	114	3.18	1965
Praseang Palm Oil Co.Ltd.	Before treatment	4.1	36000	N/A	11143	N/A	N/A	N/A	N/A
	After treatment	8.5	306	N/A	567	N/A	N/A	N/A	N/A
Unipalm Industry Co.Ltd.	Before treatment	4.5	44550	170300	34590	15860	N/A	N/A	N/A
	After treatment	8.8	345	480	660	58	172	20.25	2847
Asian Palm oil Co.Ltd.	Before treatment	4	37800	92500	17300	6130	N/A	N/A	N/A
	After treatment	8.6	365	1028	250	51	N/A	N/A	N/A
Srecharoon Palm oil Co.Ltd.	Before treatment	4.45	37350	95700	24500	11510	N/A	N/A	N/A
	After treatment	4.7	8730	16940	1320	216	286	91.8	1663
United Palm oil Co.Ltd.	Before treatment	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	After treatment	7.7	420	N/A	3333	N/A	N/A	N/A	N/A
Abico Holding Co.Ltd.	Before treatment	4.6	37400	71200	15200	5530	N/A	N/A	N/A
	After treatment	8.55	180	240	10	347	233	14.3	663
Trang Palm oil Co.Ltd.	Before treatment	4.25	44250	88000	25100	8820	N/A	N/A	N/A
	After treatment	7.9	474	2810	870	51.5	938	40.25	2130

หมายเหตุ N/A หมายถึง non analysis

ที่มา: ดัดแปลงจาก อนุรักษ์ หันพงศ์กิตติกุล 2537

1.3.2 วิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธีทางชีวภาพ

การใช้ระบบบำบัดไร้อากาศเป็นวิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่นิยมที่สุด การย่อยสลายแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะการสร้างกรดและระยะการผลิตก๊าซมีเทน

สมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อบำบัดมีดังนี้ พีเอช 4.2 บีโอดี 24,000 มก./ลิตร ซีโอดี 58,000 มก./ลิตร ของแข็งแขวนลอย 18,000 มก./ลิตร ของแข็งทั้งหมด 58,000 มก./ลิตร และไนโตรเจนทั้งหมด 200 มก./ลิตร ขั้นตอนการบำบัดเริ่มจากระบายน้ำเสียไปยังถังกำจัดไขมันเพื่อกำจัดน้ำมันอิสระ ตกตะกอนของแข็งทำให้น้ำเสียเป็นเนื้อ

เดียวกัน และทำให้น้ำมันที่ไม่เป็นอิสระ หลุดออกบางส่วน แล้วจึงระบายน้ำเข้าสู่บ่อผลิตกรดซึ่งมีสองระบบย่อย สามารถผลิตกรดไขมันระเหยที่ได้ 5,500 และ 5,100 มก./ลิตร ตามลำดับ ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 98.3 ที่ระยะเวลาการย่อย 2 วัน/บ่อ แล้วระบายน้ำเข้าสู่บ่อผลิตก๊าซมีเทนซึ่งเป็นบ่อไร้อากาศ 2 บ่อ บ่อแรกเป็นบ่อไร้อากาศขั้นต้น ใช้เวลากักพัก 30 วัน และบ่อที่ 2 anaerobic maturation pond ใช้เวลากักพัก 15 วัน บีโอดีจะลดลงร้อยละ 98.9 และจะมีการระบายน้ำจากบ่อผลิตก๊าซมีเทนขั้นต้นไปผสมกับน้ำในบ่อผลิตกรดบ่อแรกเพื่อให้เกิดบัฟเฟอร์ เป็นหัวเชื้อ และทำให้น้ำในบ่อดังกล่าวเย็นลง บ่อสุดท้ายเป็นบ่อกึ่งไร้อากาศ แบบกุ่มขนาน 4 บ่อ ใช้เวลากักพักเพื่อให้เกิดการย่อย 4 วัน /บ่อ ซึ่งจะทำให้ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 99.6 ซีโอดีลดลงร้อยละ 98.3 ของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 97.5 (อรัญ หันพงศ์กิตติกุลและคณะ 2542)

ตาราง 1.4 คุณภาพน้ำโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด

ก่อนและหลังกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

ปัจจัย	น้ำก่อนการบำบัด	น้ำในบ่อบำบัดที่ 14 b	
		8 ต.ค.2539	11 เม.ย. 2540
บีโอดี (mg/l)	30552 ^a	18.4 , 99.94 ^b	7.81 , 99.97 ^b
ซีโอดี(mg/l)	60287 ^a	452.8 , 99.25 ^b	308.88 , 99.49 ^b
SS (mg/l)	14713 ^a	54.5 , 99.63 ^b	15 , 99.9 ^b

หมายเหตุ a ที่มา : อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และ คณะ 2539

b ร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัด

น้ำทั้งบ่อ14b คือ บ่อบำบัดสุดท้ายของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์มจำกัด

สำหรับน้ำจากบ่อบำบัดที่ 14b แม้ว่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะมีค่าต่ำ แต่ซีโอดีตลอดจนของแข็งละลายได้ทั้งหมดยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์สูงและมีพีเอชสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำในบ่อนี้มีความเป็นด่างสูงทำให้การปรับลดพีเอชเป็นไปได้ยาก

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแม้จะผ่านการบำบัดทางชีวภาพจนความเข้มข้นของมลสารลดลงกว่า 98 % (ตาราง 1.4) แต่น้ำทิ้งยังคงมีสีซึ่งไม่สามารถระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ,

1.3.3 วิธีการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

สีของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

สีแท้ หรือสีจริง (true color) หมายถึง สีที่ละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิก (humic acid) และกรดฟุลวิก (fulvic acid) ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายพืชต่าง ๆ กรดอินทรีย์เหล่านี้มักเป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จนไม่สลายตัวอีกต่อไปแล้ว ดังนั้น การกำจัดสีแท้ ออกจากน้ำ จึงไม่อาจกระทำได้โดยง่าย

สีปรากฏ (apparent color) หมายถึง สีของน้ำที่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีการทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน การกรอง เป็นต้น การกำจัดสีปรากฏออกไปได้จะทำให้เห็นสีแท้ของน้ำดื่ม (ปอนด์คา ปลั่งกลาง 2535)

การกำจัดสีสามารถทำได้หลายวิธีทั้งวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ที่ผลิตจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรเพื่อกำจัดสีของน้ำตาลดิบ การใช้วิธีการทางชีวภาพ ร่วมกับวิธีการทางเคมีเพื่อกำจัดสีของน้ำเสียจากกากน้ำตาล การกำจัดสีจากน้ำตาลโดยใช้เชื้อรา อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าวิธีการดูดซับ การตกตะกอน การใช้โอโซนและรีเวอร์สออสโมซิสใช้ไม่ได้ผลกับการกำจัดสีของน้ำเสีย โรงงานฟอกย้อมและเป็นวิธีที่มีราคาแพง

1.3.3.1 การกำจัดสีด้วยวิธีทางชีวภาพ

1.3.3.1.1 การใช้เอนไซม์

จากรายงานของ Klibanov และคณะ (1983) กล่าวว่า การใช้เอนไซม์เปอร็อกซิเดสร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถลดความเข้มข้นของสีในน้ำเสียโรงงานแปรรูปถ่านหิน แต่จากการทดลอง (ตาราง 1.5) พบว่า สีของน้ำทิ้งที่เข้มข้นส่วนหนึ่งเกิดจากเอนไซม์เปอร็อกซิเดสที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีสีน้ำตาล นอกจากนี้เอนไซม์ที่ใช้อาจไม่สามารถเปลี่ยนสภาพของฟีนอลจากสารประกอบที่ละลายน้ำไปเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้ไม่สามารถแยกฟีนอล ซึ่งมีส่วนทำให้น้ำทิ้งมีสีน้ำตาลออกจากน้ำทิ้งได้ ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาเปอร็อกซิเดสจากยอสแตดดิซ

ตาราง 1.5 ผลของการเติมสารละลายเอนไซม์เปอร็อกซิเดส ที่มีแอกติวิตี 0.5 , 1.0 และ 1.5 ยูนิท/มล.ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ลงในน้ำทิ้งส่วนใส

ความเข้มข้นเปอร็อกซิเดส (unit/ml)	สี	หน่วยสี	Color removal (%)
0	น้ำตาลคล้ำ	11,936	-
0.5	น้ำตาลคล้ำ	13,936	+14.3
1	น้ำตาลคล้ำ	15,484	+22.9
1.5	น้ำตาลคล้ำ	17,034	+29.9

ที่มา: พูนสุข ประเสริฐสรรพ และ คณะ 2544

1.3.3.1.2 การใช้จุลินทรีย์

จากการทดลองเลี้ยง *P.chrysosporium* BKM-F-1767 ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารอาหารและการไม่เติมสารอาหาร พบว่า ความเข้มข้นของสีลดลงเล็กน้อย เท่ากับ 6.2 % และความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 3.6 % ตามลำดับ แต่เมื่อทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสีลดลงต่ำกว่าค่าสีที่ลดลงของกากน้ำตาล 80 % และความเข้มข้นของสีลดลงเล็กน้อย เท่ากับ 1.8 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งอาจมีปัจจัยอื่น ๆ หรือเอนไซม์ชนิดอื่นเกี่ยวข้อง อาจเนื่องมาจากน้ำทิ้งมีความเข้มข้นมากเกินไป โดยมี ซีไอดี สูงถึง 62,288 มก./ลิตร ที่

สำคัญ คือ เอนไซม์ที่ใช้ในการทดลองมีค่า ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าสีเริ่มต้น และการเติมสารอาหารทำให้ค่าสีเพิ่มขึ้นด้วย และการทำงานของเอนไซม์ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส การลดค่าสีจะดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง (พูนสุข ประเสริฐสรรพ และ คณะ 2544)

1.3.3.2 การกำจัดสีโดยวิธีทางเคมี

1.3.3.2.1 การใช้โพแทสเซียมเพอร์ริกซัลเฟตร่วมกับด่าง

การใช้โพแทสเซียมเพอร์ริกซัลเฟตร่วมกับ CaO และ Ca(OH)_2 มีผลให้ความเข้มของสีลดลง ในขณะที่การใช้ KOH และ NaOH ไม่มีผลให้ความเข้มของสีลดลง น้ำทิ้งยังคงมีสีน้ำตาลเข้ม แสดงว่าการใช้โพแทสเซียมเพอร์ริกซัลเฟตร่วมกับสารเคมีที่มีแคลเซียมซึ่งมีประจุเท่ากับ $2+$ เป็นองค์ประกอบสามารถตกตะกอนและลดความเข้มของสีได้ดีกว่าสารเคมีที่มีโซเดียมหรือโพแทสเซียมซึ่งมีประจุเท่ากับ $1+$ แต่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ถ้าใช้ในปริมาณที่มาก ก็จะทำให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น

1.3.3.2.2 การใช้สารช่วยตกตะกอน

เนื่องจากน้ำทิ้งก่อนข้างเป็นกรด (pH 4.54) ซึ่งอาจเป็นพีเอชที่ไม่เหมาะสม โดยสารเคมีแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในพีเอชช่วงหนึ่งเท่านั้น เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต หรือ สารส้ม ที่พีเอช 6-7.8 เพอร์ริกคลอไรด์ที่พีเอช 6-8 เพอร์ริกซัลเฟตที่พีเอช 9 เพอร์สซัลเฟตที่พีเอช 4-11 และ กลอรีนเตตทอปเปอร์รัสที่พีเอช 6-9 โดยผลการทดลอง พบว่าให้ค่าสี ความเข้มของสี และพีเอชลดลงตามความเข้มข้นของสารช่วยตกตะกอนที่สูงขึ้น แต่ไม่สามารถลดความเข้มของสีในน้ำทิ้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอน (วีรพันธ์ เดิมหลิม ,2537)

- พีเอชของน้ำ เนื่องจากสารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในพีเอชช่วงหนึ่งเท่านั้น จึงต้องหาค่าพีเอชของน้ำก่อน เพื่อปรับสภาพน้ำให้มีพีเอชเหมาะสมในการตกตะกอน

- เกลือแร่ต่าง ๆ และการมีอนุภาคซัลเฟตหรือฟอสเฟต จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดฟล็อก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไป

- คุณสมบัติและชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ คอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือนินทรีย์ มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ เพื่อจะได้เลือกชนิดของสารเคมีตกตะกอน ได้ถูกต้อง

- ปริมาณของสารช่วยตกตะกอน จะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็ไม่ได้ บางครั้งทำให้เกิด restabilization ของคอลลอยด์ได้

ข้อจำกัด

การใช้สารเคมีตกตะกอนมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จะมีความยากลำบากในการควบคุมสถานะการเกิดปฏิกิริยาการตกตะกอน และอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดกากตะกอนอีกด้วย (วีรพันธ์ เดิมหลิม , 2537)

ตาราง 1.6 ค่าสีและซีไอดีที่คงเหลือในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ความเข้มข้นสารส้มต่าง ๆ

อลูมิเนียมซัลเฟต (กรัม/ลิตร)	ค่าสี (หน่วยสี)	ซีไอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	1013	306.16
0.5	680	273.55

1	450	242.75
1.5	243	210.14
2	140	161.23
2.5	90	148.56

ที่มา : วีรพันธ์ เดิมหลิม (2537)

1.3.3.2.3 Electro – Chemical Precipitation (ECP)

ECP คือ การตกตะกอนอนุภาคในน้ำเสียโดยใช้หลักการของไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ แอโนด และแคโทด โดยการจ่ายไฟกระแสตรงไปยังขั้วไฟฟ้าซึ่งมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อยู่ระหว่างแผ่นทั้งสอง และจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ทำให้อนุภาคในน้ำเสียที่ประจุหรืออ้อนตกตะกอนออกมา

ข้อจำกัด

- 1.เกิดผลกระทบจากการออกซิไดซ์ ทำให้เกิดไอก๊าซที่อยู่ในรูปออกซิเจนซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดี และเกิดการกัดกร่อน
2. ผลกระทบจากการลอยตัว เนื่องจากเกิดสารในรูปของออกซิเจน และก๊าซไฮโดรเจน การลอยตัวของฟองก๊าซที่ผิวน้ำและเกิดเป็นชั้นของโฟมขึ้น (พนา เมฆตรง และคณะ 2545)

1.3.3.2.4 การใช้ก๊าซโอโซน

สิ่งที่หลงเหลืออยู่ภายในน้ำที่นำมาบำบัดจะมีเพียงก๊าซออกซิเจนเท่านั้น และสำหรับคุณสมบัติที่เป็นการฆ่าเชื้อโรค โอโซนจะช่วยทำให้น้ำที่บำบัดนั้นมีรสดีไม่มีกลิ่นและไม่มีสีหลงเหลืออยู่ ปัจจุบันนอกจากจะมีการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวในการบำบัดแล้ว พบว่าได้มีการนำโอโซนมาใช้บำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนที่จะมีการบำบัดทางชีววิทยาต่อไป ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดทางชีววิทยาคือ

สีของน้ำโดยทั่วไปแล้วเกิดการปนเปื้อนของอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งสีของน้ำแต่ละแหล่งจะแตกต่างกันไปขึ้นกับสารที่ปนเปื้อน ในส่วนของน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์ตามธรรมชาตินั้น เรียกว่าเป็นสีจริง สีพวกนี้อาจมีโครงสร้างที่ซับซ้อนของโลหะปนอยู่ด้วย การใช้โอโซนเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีสามารถทำให้สีลดลงได้ แต่การกำจัดอาจไม่สมบูรณ์ 100 %

หลักการคือ โอโซนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ chromophores (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสารอินทรีย์ ที่ดูดซับแสงที่เราสามารถมองเห็นได้) และทำการแลกเปลี่ยน chromophores เหล่านั้นให้อยู่ในรูปของสารเคมีที่ไม่ดูดซับแสงที่เราสามารถมองเห็นได้

ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโอโซน

- แรงดันของระบบ : เมื่อมีแรงดันสูง โอโซนก็สามารถเข้าสู่ได้มากขึ้น
- อุณหภูมิของน้ำ : อุณหภูมิของน้ำยิ่งต่ำ โอโซนก็ยิ่งเข้าสู่ได้มาก
- ความเข้มข้นของโอโซน : ยิ่งความเข้มข้นของโอโซนสูงก็สามารถเข้าสู่ได้มาก

- ขนาดของฟองโอโซน : เมื่อโอโซนในรูปของก๊าซแตกตัวเป็นฟองเล็ก ๆ ยิ่งเล็กมากเท่าใดก็จะมีจำนวนฟองมากขึ้น เพราะพื้นที่สัมผัสระหว่างโอโซนกับน้ำจะมากขึ้นด้วย

ข้อจำกัด

- การซ่อมบำรุงขึ้นกับคุณภาพของน้ำเพราะอาจเกิดการอุดตันที่บริเวณกระจายฟองอากาศ
- ไม่เหมาะกับระบบผลิตน้ำที่ต้องการความต่อเนื่องในการผลิต (เวลาที่น้ำพักในถังเก็บสั้น)
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการเดินระบบค่อนข้างสูง
- มีความสามารถในการกำจัดสีแต่ละชนิดแตกต่างกัน เนื่องจากสีแต่ละชนิดมีพีเอชต่างกัน

(พนา เมฆตรง และคณะ 2545)

ตาราง 1.7 การกำจัดสี และ ซีโอดี โดยใช้โอโซน

ขนาดเครื่องผลิตโอโซน	เวลาในการทำปฏิกิริยา	การกำจัดสี (%)	การกำจัดซีโอดี (%)	references
8 g/h	6 hr	*	50	LIN&LIN ,1992
7.5 g/h	*	89.7	*	CHURCHLEY,1994
30 g/h	8.9 hr	Complete	Low	LIN&LIN ,1992
30 g/h	4 min	Complete	20	LIN&LIN ,1992
45 mg/l	*	89	40	NEBEL&STUBER,1997
*	*	92	62	HARDISTY&ROSEN,1997

หมายเหตุ : * ข้อมูลไม่แน่นอน

ที่มา : (พนาเมฆตรง และคณะ 2545)

1.3.3.3 การกำจัดสีโดยวิธีทางกายภาพ

1.3.3.3.1 การใช้ถังกรอง

การใช้ถังกรองโดยการบรรจุวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ ทรายละเอียด ทรายหยาบ ถ่านกัมมันต์ และสำลี เป็นชั้น ๆ ในภาชนะทรงสูง พบว่า น้ำที่ผ่านการกรองมีค่าสีลดลง เนื่องจากการดูดซับ และการกรอง เอาตะกอนและสีของน้ำทิ้งโดยวัสดุต่าง ๆ ทำให้ค่าสีของน้ำทิ้งลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปสารแขวนลอยและน้ำมันอาจไปอุดตันระหว่างอนุภาคของวัสดุต่าง ๆ โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์เริ่มมีการสะสมของตะกอนทำให้อัตราการดูดซับลดน้อยลง

1.3.3.3.2 การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยการกระตุ้น (activation) ซึ่งจะทำให้พื้นผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าศึกษาด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึก (crystallites) อยู่

บ้าง แต่มีข้อบกพร่องไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านหินลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น ที่ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวมีโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง

โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซาโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่สูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า (เพียรพรรค , 2534)

จากการทดลองนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางจุลินทรีย์และเคมีมาดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่าสามารถลดค่าสีตัวอย่างน้ำทิ้งได้ประมาณ 30-40 % (จตุรงค์ มะเดื่อ และ คณะ , 2546)

ข้อจำกัด : ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นออกจากถ่านกัมมันต์ให้หมด ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเวลา แรงงาน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการล้างและอบแห้ง อีกทั้งสารเคมีบางชนิดยังมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะบรรจุและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์สั้นลง

1.3.3.3 การใช้กระบวนการเมมเบรน (membrane process)

กระบวนการเมมเบรน เป็นกระบวนการที่อาศัยเยื่อเมมเบรนในการแยกสารหรือเพิ่มความเข้มข้นหรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้นสำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ จะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนทำให้สารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่นแล้วเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือ ผลต่างของความดัน ลักษณะที่สำคัญของเมมเบรน คือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น (semi-permeable/permselective membrane) การเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือ ทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมี affinity ของเมมเบรน ต่อสารนั้น ๆ หรือจากขนาดของรูพรุน ซึ่งสารละลายที่ผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า เพอมิเอท (permeate) ส่วนที่ไม่ผ่านเมมเบรน เรียกว่า Retentate หรือ Concentrate ความสามารถในการแยกได้จากตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ

1. Flux คืออัตราการไหลผ่านเมมเบรน ซึ่งมีหน่วยเป็นปริมาตร หรือน้ำหนัก หรือโมลของ เพอมิเอท ต่อพื้นที่ของแผ่นเยื่อกรอง

2. % rejection คือ ความสามารถในการเก็บกักของตัวถูกละลายของเมมเบรน (ซึ่งแผ่นเมมเบรนที่ดีต้องมีค่า % rejection สูง และ flux ที่สูงด้วย)

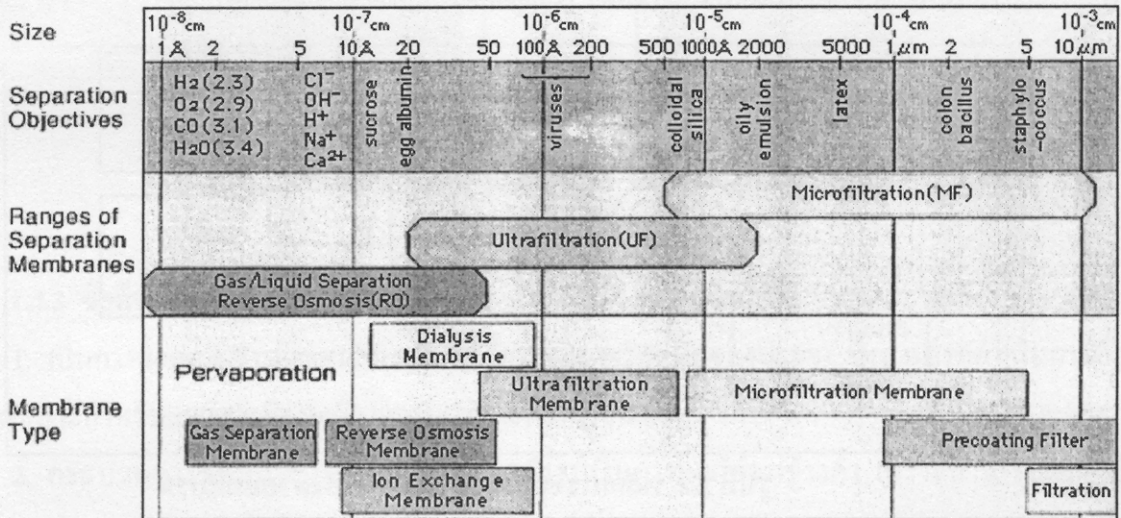
1.4 การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วย การใช้กระบวนการเมมเบรน

1.4.1 การจำแนกกระบวนการเมมเบรน

จะมีการจำแนกตามหลักการของแรงดัน (เช่น ความเข้มข้น, ความดัน, ความต่างศักย์, permeate หรือ retentate (concentrate) ซึ่งสามารถแยกได้ดังนี้

1. กระบวนการไดอะไลซิส (dialysis process) ไดอะไลซิสใช้ผลต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายระหว่างสองด้านของเมมเบรนเป็นแรงขับเคลื่อนให้สารละลายเพอเมมเบรนตัวถูกละลายขนาดเล็ก จะถ่ายเทโดยการแพร่ผ่านเมมเบรนจากด้านที่มีความเข้มข้นสูง ไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นต่ำ

2. กระบวนการอิเล็กโทรไดอะไลซิส (electrodialysis, ED) อิเล็กโทรไดอะไลซิส เป็นกระบวนการแยกองค์ประกอบที่มีประจุจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นกระบวนการแยกองค์ประกอบที่มีประจุจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนมาต่ออนุกรมกัน และอยู่ระหว่างขั้วบวก (anode) และขั้วลบ (cathode) มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็นแรงขับเคลื่อนร่วมกับการเลือกผ่านไอออนของเมมเบรน ทำให้เกิดการแยก โดยไอออนบวกจะผ่านเมมเบรนไอออนบวก ส่วนไอออนลบจะผ่านเมมเบรนไอออนลบให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออนสูง และสารละลายเจือจาง



* Note: 1 Å = 10⁻¹⁰ m, 1 μm = 10⁻⁶ m

รูปที่ 1.1 การจำแนกช่วงการกรองด้วยเมมเบรน

3. ออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis, RO) หรืออาจเรียกว่า hyperfiltration เช่น กระบวนการแยกสลายโดยใช้ผลต่างของความดันระหว่างแผ่นเมมเบรน เช่น แรงขับเคลื่อนซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1 – 10 mPa หรือ 10 – 100 atm มีความสามารถในการเก็บกักโมเลกุลขนาดเล็ก (น้ำหนักโมเลกุล < 1000 หรือ มีขนาด 0.1 – 1 nm) การผ่านเมมเบรนของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ (solution diffusion) ในเมมเบรน

4. อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (microporous) สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ คอลลอยด์ (colloid) ออกจากน้ำและสารโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งแผ่นเมมเบรนมีขนาดรูพรุนประมาณ 2 – 20 nm แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในการแยกต่ำกว่า ออสโมซิสผันกลับคือ 100 – 800 kPa

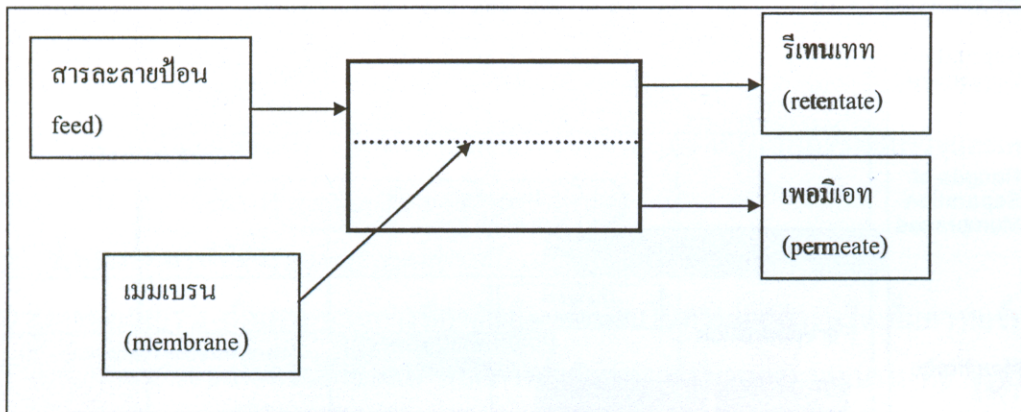
5. ไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration, MF) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ คือ 0.1 – 10 nm สำหรับแยกโมเลกุลใหญ่ ๆ สารแขวนลอย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ออกจากของเหลว โดยใช้ความดันอยู่ในช่วง 100 – 500 kPa

6. นาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ คือ 2 – 5 nm โดยกักเก็บ Ions ไว้บางส่วน โดย Ions ที่มีขนาดเล็ก และสารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถผ่านได้

7. กระบวนการแยกก๊าซ (gas separation) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกก๊าซผสมแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ก๊าซเพอเมชัน (gas permeation, GP) ซึ่งโมเลกุลของก๊าซหรือไอผ่านแผ่นเมมเบรน แบบแน่นไม่มีรูพรุน

ด้วยกลไกการละลาย – การแพร่ (คล้ายกับ Reverse Osmosis) ใช้แรงดันในการแยก 100 kPa – 10 Mpa และ ก๊าซดิฟฟิวชัน (gas diffusion, GD) เป็นการแยกก๊าซผ่านเมมเบรนรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งแรงขับเคลื่อนอาจเป็นผลต่างของความเข้มข้น หรือความดันย่อย

8. เพอวาปอเรชัน (pervaporation, PV) เป็นการแยกองค์ประกอบหนึ่ง ๆ ออกจากสารผ่านแผ่นเมมเบรนแบบแน่นด้วยกลไกการละลาย-การแพร่ องค์ประกอบที่ผ่านเมมเบรนแล้วจะอยู่ในรูปของไอ (ด้านเพอมีเอท) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากควบคุมความดันด้านเพอมีเอทให้ต่ำกว่า ความดันย่อยของสารที่ผ่านเมมเบรน และการเก็บตัวอย่างที่เป็นไอสามารถทำได้โดยการลดยุณหภูมิให้สารนั้นกลั่นตัวเป็นของเหลวหรืออาจใช้ (emulsion) หรือ ฟิล์มของเหลวที่เกาะหรือพองตัวอยู่บนเมมเบรนธรรมดา (supported liquid membrane)



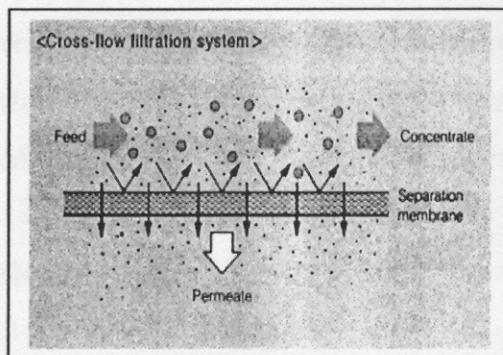
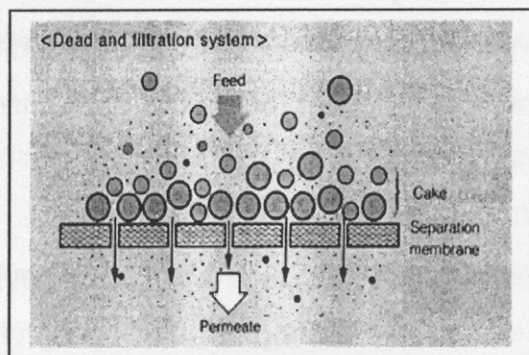
รูปที่ 1.2 หลักการของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน

1.4.2 ลักษณะการกรองในกระบวนการของเมมเบรน

แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. การกรองแบบ Dead – end เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับแผ่นเมมเบรน ทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบนผิวแผ่น เรียกว่า เค้ก (cake) การสะสมของเค้กทำให้ความต้านทานในการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้ฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ต้องหยุดการกรองเพื่อกำจัดชั้น เค้กที่เกิดขึ้น ดังนั้น การกรองแบบ dead – end จึงควรใช้เมื่อสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก มีความเข้มข้นต่ำ และดำเนินการแบบกะ

2. การกรองแบบไหลขวาง (cross flow หรือ tangential flow) เป็นการป้อนสารละลายขนานกับแผ่นเมมเบรนหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอมีเอท ซึ่งเป็นแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในกระบวนการออสโมซิสผันกลับและอัลตราฟิลเตรชัน การป้อนสารละลายแบบไหลขวางมีผลของแรงเฉือน ทำให้สารละลายกวาดอนุภาคออกจากผิวหน้าเมมเบรน ดังนั้นจึงลดการเกิด concentration polarizatio (CP) จึงมีการสะสมของเค้กเพียงบาง ๆ เท่านั้น การลดของฟลักซ์ไม่มากเท่าในการกรองแบบ dead-end จึงเหมาะสมสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน จึงเป็นกระบวนการออสโมซิสผันกลับและอัลตราฟิลเตรชันแบบไหลขวางเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 1.3 การกรองแบบ dead – end และแบบไหลขวาง

1.4.3 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรน

1. เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งสามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้
2. กระบวนการของเมมเบรนส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเฟส
3. ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเมมเบรนทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งเพอมีเอท และรีเทนเทท
4. สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยากเนื่องจากชุดของเมมเบรนมีลักษณะเป็นชุด (Modular) หรือหน่วยและสามารถนำหน่วยย่อยต่าง ๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก
5. สามารถดำเนินการแบบกะ (Batch) หรือ แบบต่อเนื่อง (Continuous) ตลอดจนติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก
6. มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองเนื้อที่ เพราะชุดอุปกรณ์เมมเบรนมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

1.4.4 ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

1. Concentration polarization (CP) หมายถึง การสะสมของโมเลกุล/อนุภาคของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านแผ่นเมมเบรนได้ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าของเมมเบรนสูงกว่าใน bulk solution (บริเวณที่อยู่ห่างออกไป) CP จะลดสมรรถนะของการแยกทั้งในแง่ของฟลักซ์และการกักกัน เพราะส่งผล (ต่อเนื่อง) ให้เกิดฟาวลิง การลด CP ในระดับหนึ่งทำได้โดยการออกแบบอุปกรณ์ให้มีการป้อนสารผ่านเมมเบรนแบบไหลขวาง และที่ความเร็วสูงซึ่งจะช่วยให้ตัวถูกละลายที่สะสมเกิดการแพร่กลับไปใน Bulk solution
2. ฟาวลิง (fouling) การเกิดฟาวลิง ของเมมเบรน หมายถึงการสะสม/อุดตันของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเมมเบรนและภายในรูพรุน จึงทำให้ฟลักซ์ลดลงและการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนแปลง (อาจลดลงหรือเพิ่มขึ้น)

3. ความคงตัวของแผ่นเมมเบรนแผ่นเมมเบรนที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากโพลีเมอร์ จึงมีความคงตัวจำกัด เช่น เมมเบรนจำพวกเซลลูโลส (cellulosics) คงตัวช่วง pH 4 – 8 ส่วนโพลีซัลโฟน (polysulfone) สามารถใช้งานในช่วงกว้างกว่า คือ pH 1 – 13 อุณหภูมิก็มีผลต่อเมมเบรน ปัจจุบันมีการพัฒนาเมมเบรนโพลีเมอร์ที่ทนอุณหภูมิ 60 – 80°C เมมเบรนบางชนิดไม่ทนต่อคลอรีน หรือตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนเมมเบรนเซรามิกส์ (ceramics) มีความคงตัวอุณหภูมิและสารเคมีดีมาก สามารถนำเช็ดด้วยไอน้ำได้ ทนต่อจุลินทรีย์ แต่ความสามารถในการแยกยังด้อยกว่าเมมเบรนโพลีเมอร์ การพัฒนาค่อนข้างจำกัด ราคาแพง

1.4.4.1 สาเหตุของการเกิดฟาวลิง

1. การเกิด CP เป็นลักษณะการเกิด ฟาวลิง เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายที่ผิวหน้าเมมเบรนมีค่าสูง

2. การอุดตันของรูเมมเบรน (plugging) คือการที่อนุภาคขนาดเล็กไปอุดตันที่รูของเมมเบรนองค์ประกอบของสารที่ทำให้อุดตันได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 1/5 เท่าของรูพรุนเมมเบรน

3. Biological fouling เกิดเนื่องจากการดูดซับของ microorganisms ของเซลล์เป็น 2 แบบ คือ

- การอุดตันแบบ blocking เกิดจากเซลล์แบคทีเรีย เช่น humic substance ของเซลล์เป็น layer ทำให้เกิดการขีดขวางฟลักซ์ภายในรู ซึ่งการขยายตัวของเซลล์เป็น layer อาจหนาได้ถึง 20 micron

- Microbial attacking เกิดจากแบคทีเรียไปทำลายกักกินเมมเบรน ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของโมเลกุลของเมมเบรน สามารถป้องกันได้โดยการกำจัดแบคทีเรียเหล่านี้

4. การตกตะกอนของ Solute ที่ผิวเมมเบรน (precipitation of solute on membrane surface) เกิดจากตะกอนหรือตะกอนที่มีส่วนช่วยลด Permeability membrane ความเข้มข้นของ Solute มากเกิน Solute limit ก็จะทำให้เกิดการตกผลึก ซึ่งทำให้เกิด ฟาวลิง

5. การเกิด gel formation เกิดได้ 2 สาเหตุคือ

- Compressible gel foulant ส่วนเป็นโมเลกุลของสารที่มี diffusion ต่ำ เช่น phenol, ยาฆ่าแมลง (Pesticide) โมเลกุลโปรตีน น้ำมัน surfactance tannin ทำให้ฟลักซ์ลดลง นอกจากนี้ยังมีพวก humic substance ที่มีอยู่ในดิน และยังมีพวก inorganic gel บางชนิด เช่น Gel ที่เป็นส่วนประกอบของ Ca, P, S, Cl

- Non-compressible gel foulant จะเกี่ยวข้องกับการตกผลึกที่ผิวของเมมเบรน เช่น ส่วนประกอบของ CaSO_4 , CaCO_3 , Mn(OH)_2 , Fe(OH)_3 และพวก OH ของโลหะอื่น ๆ ตัวที่ผลต่อการเกิดฟาวลิง มากที่สุด คือ amorphous silica ซึ่งส่วนใหญ่เมื่อก่อตัวขึ้นที่ผิวเมมเบรนจะกำจัดได้ยาก และยังยากที่จะกำจัดออกที่ Feed ด้วย จึงต้องมี การกำหนด amorphous silica ในมาตรฐานของน้ำใน feed

6. การเสื่อมสภาพของเมมเบรน (Membrane degradation) เกิดขึ้นเนื่องจากการทำลายของแบคทีเรีย หรือ อาจเกิดเนื่องจากสารเคมีพวกอินทรีย์ หรือ อนินทรีย์ บางชนิด เช่น Cl_2 , NH_3 ซึ่งเป็นพวก oxidizing agent ที่เกิดได้ง่าย

1.4.4.2 การล้างและการทำความสะอาดแผ่นเมมเบรน (membrane cleaning)

การนำเมมเบรนไปใช้งานในการแยกสารละลายที่เป็นของเหลว เช่น ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ และอัลตราฟิลเตรชัน ถึงแม้จะมีการบำบัดเบื้องต้น (pretreatment) เพื่อแยกองค์ประกอบที่อาจก่อให้เกิดความ

หายต่อเมมเบรน และเพื่อยืดอายุการใช้งานของเมมเบรน มีการออกแบบหน่วยอุปกรณ์ตลอดจนเลือกสภาวะดำเนินการที่ลดการเกิด CP ก็ยังพบว่าการเกิดฟาวลิง ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง ค่าการกักกันเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงต้องมีความจำเป็นต้องทำความสะอาดเมมเบรนด้วยวิธีที่เหมาะสมเป็นระยะ ๆ เพื่อให้เมมเบรนที่สภาพใกล้เคียงเมมเบรนที่ใหม่มากที่สุด และเพื่อยืดอายุการใช้งาน การล้างวิธีการทำความสะอาดแบ่งออกได้ 2 วิธีหลัก คือ

1 วิธีทางกายภาพ (physical methods) หมายถึง การทำความสะอาดที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานเป็นหลัก เช่น การเพิ่มอัตราการไหลซึ่งเพิ่มแรงเฉือนที่ผิวหน้าเมมเบรน แต่ก็ลดการสะสม/อุดตัน ได้ระดับหนึ่งเท่านั้น วิธีกายภาพที่ใช้กันแพร่หลาย และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือการล้างกลับทาง (back washing) ทำได้โดยการป้อนสารละลายภายใต้ความเข้าทางค่านเพอมีเอทซึ่งจะทำให้สารละลายคั้นสารละลายอุดตันหลุดออกจากแผ่นเมมเบรน ซึ่งการล้างกลับทางอาจจะทำระหว่างการกรองหรือทำเมื่อเสร็จสิ้นการกรอง วิธีกายภาพใช้ได้ผลดีในกรณีที่มีการสะสมที่ผิวหน้าเมมเบรนมากกว่าการอุดตันในรูพรุน หลังจากล้างกลับทางแล้ว ฟลักซ์อาจจะมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่น่าพอใจขึ้นอยู่กับชนิดของสารอุดตัน แต่ในระยะยาวแล้วก็อาจพบว่าฟลักซ์ก็ยังคงลดลงอยู่

2 วิธีเคมี (chemical methods) สารเคมีอาจมีส่วนช่วยในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยสารเคมีอาจทำให้สารอุดตันพองตัว หดตัว ละลาย เกิดการหลุดออก หรือสารเคมีที่ใช้อาจทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอุดตัน เช่น การเกิดไฮโดรไลซิส การย่อยสลายพันธะเปปไทด์ของโปรตีนและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นต้น สารเคมีที่ใช้ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ละลายสารอุดตันหรือทำให้สารอุดตันเกาะตัวกันน้อยลงด้วยกลไกทางกายภาพหรือทางเคมี
2. รักษาสภาพการกระจายตัวของสารอุดตันไม่ให้กลับไปสะสมอีก
3. ไม่เป็นสารที่อาจก่อให้เกิดการอุดตันเสียเอง
4. ไม่ทำให้แผ่นเมมเบรนเสื่อมสภาพ

สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

1. กรด ใช้ได้ทั้งกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ ใช้ได้ผลดีในการละลายตะกอนที่เป็นโลหะออกไซด์ เกลือคาร์บอเนต แต่ใช้ไม่ได้ผลกับสารอุดตันที่เป็นซิลิกา คอลลอยด์ และจุลินทรีย์

2. ด่าง ใช้ได้ผลดีกับสารอุดตันที่เป็นสารอินทรีย์

3. เอ็นไซม์ (enzyme) ใช้สำหรับทำความสะอาดสารอินทรีย์ ซึ่งต้องเลือกเอ็นไซม์ที่เหมาะสม เอ็นไซม์จัดเป็นสารทำความสะอาดที่อ่อนไม่เป็นอันตรายต่อแผ่นเมมเบรนแต่มีราคาแพง

4. สารลดแรงตึงผิว (surfactants) เป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และส่วนชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งเป็นส่วนที่เมื่ออยู่ในน้ำจะแสดงประจุบวก ประจุลบ หรือเป็นกลางขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวสามารถเข้าถึงส่วนต่าง ๆ ของแผ่นเมมเบรนได้ดี จึงสัมผัสกับสารอุดตันได้ดี ล้างออกได้ง่าย แต่ควรเลือกอย่างระมัดระวัง เพราะสารลดแรงตึงผิว อาจถูกดูดซับโดยเยื่อแผ่นบางชนิด จึงอาจกลายเป็นสารอุดตันเสียเอง

5. สารฆ่าเชื้อ (disinfectant) สารฆ่าเชื้อส่วนมากเป็นตัวออกซิเดนต์ (oxidant) เป็นสารที่ออกฤทธิ์แรง ควรใช้อย่างระมัดระวัง เพราะอาจเป็นผลเสียต่อแผ่นเมมเบรนและส่วนอื่น ๆ ของอุปกรณ์

6. สารทำความสะอาดกำหนดสูตร formulated cleaner) เป็นสารที่ผู้จำหน่ายกำหนดส่วนประกอบขึ้น โดยอาจใช้สารหลายชนิดผสมกันให้มีความเหมาะสมกับชนิดของสารอุดต้นและแผ่นเมมเบรน แต่มีราคาค่อนข้างแพง

3 ขั้นตอนการทำทำความสะอาด (cleaning sequences)

การล้างเยื่อแผ่นเป็นสิ่งสำคัญและอาจต้องใช้เวลาาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสารละลายและแผ่นเมมเบรน อาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้สารทำความสะอาดมากกว่า 1 ชนิด วิธีปฏิบัติใช้ค่าฟลักซ์ของน้ำที่สภาวะหนึ่ง ๆ เป็นค่าอ้างอิง หลังผ่านขั้นตอนการล้างแล้วจึงจำเป็นต้องทดสอบฟลักซ์ของน้ำ ซึ่งหลังจากการล้างค่าฟลักซ์ของน้ำ ควรสูงกว่า 85% ของค่าเริ่มต้น ขั้นตอนในการล้างที่ปฏิบัติโดยทั่วไปมีดังนี้

1. นำสารละลายออกจากระบบ
2. ล้างทิ้ง (rinse) ด้วยน้ำสะอาด
3. ล้างด้วยสารทำความสะอาดในลักษณะไหลวนอยู่ในระบบ และถ้าใช้สารทำความสะอาดมากกว่า 1 ชนิด ต้องทำซ้ำในขั้นตอนนี้
4. ล้างทิ้งด้วยน้ำเพื่อกำจัดสารทำความสะอาด
5. ทดสอบฟลักซ์ของน้ำ ถ้ายังไม่ได้ค่าที่พอใจ เช่น 85% ของค่าเริ่มต้นให้ทำซ้ำข้อ 3-4

1.4.4.3 รูปแบบการเกิด ฟาวลิง

1.4.4.3.1 ไมโครฟิลเตรชัน

1 ฤกษ์ฎิไมโครฟิลเตรชันแบบ Dead-end

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่ากลไกการกักกันอนุภาคหรือคอลลอยด์ ในไมโครฟิลเตรชัน เป็นการคัดขนาด โดยความต้านทานต่อการไหลที่เกิดขึ้นเป็นความต้านทานจากตัวเยื่อแผ่นและชั้นของเค้ก

Darcy's law สามารถนำมาคำนวณค่าฟลักซ์

$$J_v = (I/A_m) (dV/dt) = \Delta P / \mu_v (R_m + R_c) \quad (1.1)$$

เมื่อ J_v = ฟลักซ์ของเพอมีเอท (m^3/m^2h)

A_m = พื้นที่หน้าตัดเยื่อแผ่น (m^2)

V = ปริมาตรของเพอมีเอท (m^3)

T = เวลา (h)

ΔP = ผลต่างความดันขั้นเต็กกับผิวเยื่อแผ่น (Pa)

μ_v = ความหนืดของสารละลาย (Pa.s)

$R_m + R_c$ = ความต้านทานของเยื่อแผ่นและเค้ก (m^{-1})

การเกิด ฟาวลิง จะเป็นการเปลี่ยนแปลง R_m และการสะสมของเค้กที่อัดตัวแน่นภายใต้ความดัน R_m และ R_c สามารถหาได้จากการทดลอง คำนวณค่า R_m จาก

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu_w R_m} \quad (1.2)$$

เมื่อ μ_w = ความหนืดของน้ำ (Pa.s)

R_m = ความต้านทานของเยื่อแผ่น (m^{-1})

ใช้สารละลายเป็นน้ำ หรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พลั๊กซ์กับ ΔP จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยมี slope เท่ากับค่า R_m คำนวณค่า R_c โดยใช้สมการ (1) และ สมมุติความต้านทานที่เพิ่มขึ้นในการกรองสารละลายเกิดจากเค้กเท่านั้น

2 แบบจำลองสมการกรองภายใต้ความดันคงที่ (Constant pressure filtration model)

แบบจำลองการกรองสารละลาย เมื่อความดันคงที่ ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีแนวคิดในเรื่องการอุดตันต่างกัน

- **Complete Blocking Model (CBM)** มีสมมติฐานว่า โมเลกุลหรืออนุภาคที่มาถึงเยื่อแผ่นจะเข้าไปอุดตันรูพรุนโดยทุก ๆ โมเลกุลหรืออนุภาคมีส่วนในการอุดตันรูพรุนโดยไม่ซ้อนทับกัน สมการอัตราการไหลของเพอมีเอทที่เสนอในแบบจำลองนี้ คือ

$$Q = Q_0 - K_b V \quad (1.3)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของเพอมีเอทที่เวลาใด ๆ (m^3/h)

Q_0 = อัตราการไหลของเพอมีเอทเริ่มต้น (ก่อนเกิดการอุดตัน) (m^3/h)

K_b = ค่าคงที่การกรองของ CBM (h^{-1})

V = ปริมาตรของเพอมีเอท (m^3)

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ V จะได้กราฟเส้นตรง

$$\text{Slope ของกราฟ} = -K_b \quad \text{intercept} = Q_0$$

ซึ่งนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเพอมีเอทกับเวลา คือ

$$K_b V = Q_0 (1 - \exp(-K_b t)) \quad (1.4)$$

เมื่อ t = เวลา (h)

ถ้าการอุดตันมีลักษณะตามสมมติฐาน ปริมาตรของเพอมีเอท ควรขึ้นกับเวลาตามสมการ (1.4)

- **Intermediate Blocking Model (IBM)** ลักษณะการอุดตันคล้ายกับ CBM โดยมีสมมติฐานว่า โมเลกุลหรืออนุภาคหนึ่ง จะสามารถซ้อนทับอยู่บนอีกโมเลกุล หรืออนุภาคหนึ่งได้ สมการอัตราการไหลของเพอมีเอทที่เสนอในแบบจำลองนี้ คือ

$$\frac{1}{Q} = K_i t + 1/Q_0 \tag{1.5}$$

เมื่อ K_i = ค่าคงที่การกรองของ IBM (m^{-3})

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/Q$ กับ t จะได้กราฟเส้นตรง

$$\text{Slope} = K_i \quad \text{intercept} = 1/Q_0$$

ซึ่งนำไปสู่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเพอมีเอท กับเวลา คือ

$$V = \ln(1 + K_i Q_0 t) / K_i \tag{1.6}$$

ถ้าการอุดตันมีลักษณะตามสมมติฐาน ปริมาตรของเพอมีเอทควรขึ้นกับเวลาตามสมการ (1.6)

- Standard Blocking Model (SBM)

การอุดตันเกิดจากมีอนุภาคบางส่วนถูกดักจับอยู่ภายในรูพรุน ทำให้เกิดการอุดตันภายในโครงสร้างของเยื่อแผ่นเท่านั้น ไม่เกิดขึ้นสะสมบนผิวหน้า ของเยื่อแผ่น โดยอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนมาก โดยอนุภาคสามารถผ่านรูพรุนไปได้บางส่วน ดังนั้น ปริมาตรรูพรุนของเยื่อแผ่นลดลงเป็นสัดส่วนกับเพอมีเอท ตามสมการ

$$Q^{0.5} = Q_0^{0.5} - (K_b Q_0^{0.5} V/2) \tag{1.7}$$

เมื่อ K_b = ค่าคงที่การกรองของ SBM (h^{-1})

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Q^{0.5}$ กับ V จะได้กราฟเส้นตรง

$$\text{Slope} = K_b Q_0^{0.5} / 2 \quad \text{intercept} = Q_0^{0.5}$$

นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเพอมีเอท กับเวลา คือ

$$V = Q_0 v / (1/K_b Q_0 v/2) \tag{1.8}$$

ถ้าการอุดตันมีลักษณะตามสมมติฐาน ปริมาตรของเพอมีเอท ควรขึ้นกับเวลา [สมการ (1.8)]

- Cake Filtration Model (CFM)

อธิบายการอุดตันของอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันคือ

1. ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กและใหญ่ผสมกัน อนุภาคขนาดเล็กจะถูกสะสมอยู่ภายในรูพรุน และต่อมาจะเกิดการสะสมของอนุภาคขนาดใหญ่ เกิดเป็นเค้กที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นจนในที่สุดเยื่อแผ่นสามารถกักโมเลกุลหรืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเกิดเป็นชั้นบางบนเยื่อแผ่น (ถ้าเป็น โมเลกุลเรียกเจล และถ้าเป็นอนุภาคเรียกเค้ก) สมการอัตราการไหลของเพอมีเอทเป็นดังนี้

$$1/Q = 1/Q_0 + K_c V \tag{1.9}$$

โดย K_c = ค่าคงที่การกรองของ CFM (h/m^2)

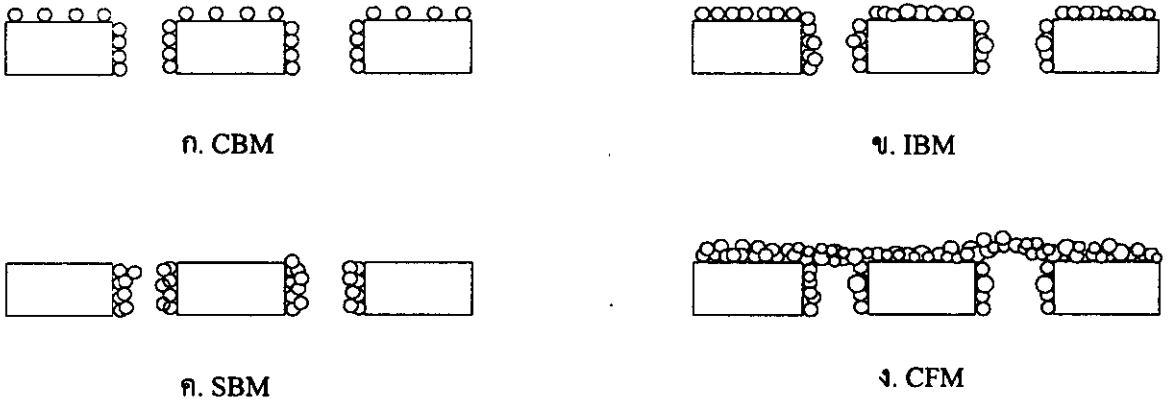
เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/Q$ กับ V จะได้

$$\text{Slope} = K_c \quad \text{intercept} = 1/Q_0 \quad (1.10)$$

นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเพอมีเอท กับเวลา คือ

$$V = ((-1/Q_0) + (1/Q_0^2 + 2K_c t)^{1/2})/K_c \quad (1.11)$$

ถ้าการกรองมีการขัดขวางการไหลของสารละลายตามที่เสนอใน CFB ปริมาตรของเพอมีเอทควรขึ้นกับเวลาตามสมการ (1.11)



รูปที่ 1.4 การอุดตันรูพรุนที่เสนอโดยแบบจำลองต่าง ๆ

ในความเป็นจริงแล้วกลไกการอุดตันรูพรุน ไม่ได้เกิดเป็นขั้นตอนชัดเจน แต่สามารถเกิดได้ด้วยหลายกลไกในเวลาเดียวกัน เพราะเชื่อแผ่นมีการกระจายขนาดของรูพรุน Belfort (1984) ได้เสนอการอุดตันที่อาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันหรือในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน ดังต่อไปนี้

1. เกิดการอุดตันรูพรุนที่เล็กที่สุดก่อน
2. เกิดการสะสมภายในผิวรูพรุนที่มีขนาดใหญ่
3. อนุภาคใหญ่เริ่มปกคลุมหรือสะสมกับอนุภาคที่สะสมหรืออุดตันอยู่ก่อน
4. เกิดชั้นเค้ก เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่

กรณีที่มีการกวน

การกรองลักษณะไหลขวาง ของ คอลลอยด์ ผ่านไมโครฟิลเตรชัน เมมเบรน โดยความดันคงที่ สามารถใช้ได้กับการกรองลักษณะ Dead-end ดังสมการต่อไปนี้

1 Complete Blocking Filtration Model

$$J = J_0 - K_c V \quad (1.12)$$

ถ้าการกรองมีการอุดตันตามที่เสนอใน CBM แบบมีการกวน J เพอมีเอทฟลักซ์ควรขึ้นกับปริมาตรเพอมีเอทตามสมการ (1.12)

2 Intermediate Blocking Filtration Model

$$1/J = 1/J_0 + K_c t \quad (1.13)$$

ถ้าการกรองมีการอุดตันตามที่เสนอใน IBM แบบมีการกวน $1/J$ ควรขึ้นกับเวลาตามสมการ (1.13)

3 Standard Blocking Filtration Model

$$\sqrt{\frac{J}{J_0}} = 1 - \frac{K_s V}{2s} \quad (1.14)$$

ถ้าการกรองมีการอุดตันตามที่เสนอใน SBM แบบมีการกววน

$$\sqrt{\frac{J}{J_0}} \text{ ควรขึ้นกับปริมาตรของเพอมีเอทตามสมการ (1.14)}$$

4 Cake Filtration Model

$$1/J = 1/J_0 + K_s V \quad (1.15)$$

การกรองมีการอุดตันตามที่เสนอใน SBM แบบมีการกววน $1/J$ ควรขึ้นกับ V ตามสมการ (1.15)

- โดย
- J = เพอมีเอทฟลักซ์
 - J_0 = เพอมีเอทฟลักซ์ เริ่มต้น
 - K_s = ค่าคงที่การกรองของ CBM (h^{-1})
 - K_i = ค่าคงที่การกรองของ IBM (m^{-3})
 - K_c = ค่าคงที่การกรองของ SBM (h^{-1})
 - K_c = ค่าคงที่การกรองของ CFM (h/m^3)
 - V = ปริมาตรของเพอมีเอท

ค่า K_s , K_i , K_c และ K_c สามารถหาได้เช่นเดียวกับการกรองแบบไม่มีการกววนซึ่งนำเสนอในข้างต้น

1.4.4.3.2 กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration process)

อัลตราฟิลเตรชันเป็นกระบวนการแยกสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน เอ็นไซม์ และแป้งออกจากน้ำและสารโมเลกุลเล็กอื่น ๆ ตัวอย่าง สารละลายที่อาจแยก หรือเพิ่มความเข้มข้นได้โดยกระบวนการนี้ ได้แก่ น้ำนม น้ำผลไม้ สารละลายเอ็นไซม์ สารปฏิชีวนะ ในการดำเนินงานใช้ความดันในการป้อนสารละลายผ่านเยื่อแผ่นในช่วง 2-10 บรรยากาศ เยื่อแผ่นที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวหนา 0.1–2 μm มีขนาดรูพรุน 10–500 Å หรือเทียบเป็น MWCO (molecular weight cut-off) 500–300000

1 ฟลักซ์และค่าการกักกัน

ในอัลตราฟิลเตรชัน ฟลักซ์และค่าการกักกันเป็นค่าที่แสดงสมรรถนะของกระบวนการเช่นเดียวกับออสโมซิสผันกลับ สมการของฟลักซ์เขียนในรูปของแรงขับเคลื่อนและความต้านทานต่อการไหลเป็นดังนี้

$$J_v = \frac{(\Delta P - \Delta p)}{\mu_v R_t} \quad (1.16)$$

- เมื่อ
- J_v = ฟลักซ์ของสารละลายผ่านเยื่อแผ่น ($m^3/h^3:s$)
 - ΔP = ผลต่างความดันที่ให้กับสารละลาย (Pa)

$\Delta\pi$ = ผลต่างความดันออสโมติกของสารละลาย (Pa)

μ_v = ความหนืดของสารละลายที่ผ่านเยื่อแผ่น (Pa.s)

R_t = ความต้านทานรวมต่อการไหลผ่าน (m^{-1})

สำหรับสารละลายของสารโมเลกุลใหญ่ค่า $\Delta\pi \ll \Delta P$ จึงอาจตัดเทอม $\Delta\pi$ ทั้งสมการ (1.16) ลครูป
เป็น

$$J_v = \frac{\Delta P}{\mu_v R_t} \quad (1.17)$$

สำหรับการกักกันองค์ประกอบหนึ่ง ๆ คำนวณเป็นเศษส่วน หรือเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$R = \left(1 - \frac{C_P}{C_R} \right) 100 \quad (1.18)$$

โดย C_p และ C_R เป็นความเข้มข้นขององค์ประกอบในเฟอมีเอท และสารป้อน (หรือค้ำนรีเทนเทท) ตามลำดับ ค่า R จากสมการ (1.18) เป็นค่าปรากฏ เพราะทั้ง C_p และ C_R หาได้จากการเก็บตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ แต่เนื่องจากปรากฏการณ์ CP ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ทำให้ตัวถูกละลายโมเลกุลใหญ่สะสมอยู่ที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ส่งผลให้ความเข้มข้นที่บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่น (C_w) มีค่าสูงกว่า C_t ค่าการกักกันจริง R_{int} สูงกว่าค่าการกักกันปรากฏ โดย

$$R_{int} = \left(1 - \frac{C_P}{C_W} \right) 100 \quad (1.19)$$

โดย $R_{int} > R$

สำหรับกลไกที่เยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชันสามารถกักกันตัวถูกละลายได้ เป็นกลไกการคัดขนาด (molecular sieving) โดยอาจมี interaction ระหว่างตัวถูกละลายและเยื่อแผ่นได้ เพราะสารละลายที่ต้องการแยกหรือเพิ่มความเข้มข้นโดยอัลตราฟิลเตรชันส่วนมากมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนคือ ประกอบด้วยตัวถูกละลายที่มีขนาดต่างกันในปริมาณที่ต่างกันด้วย

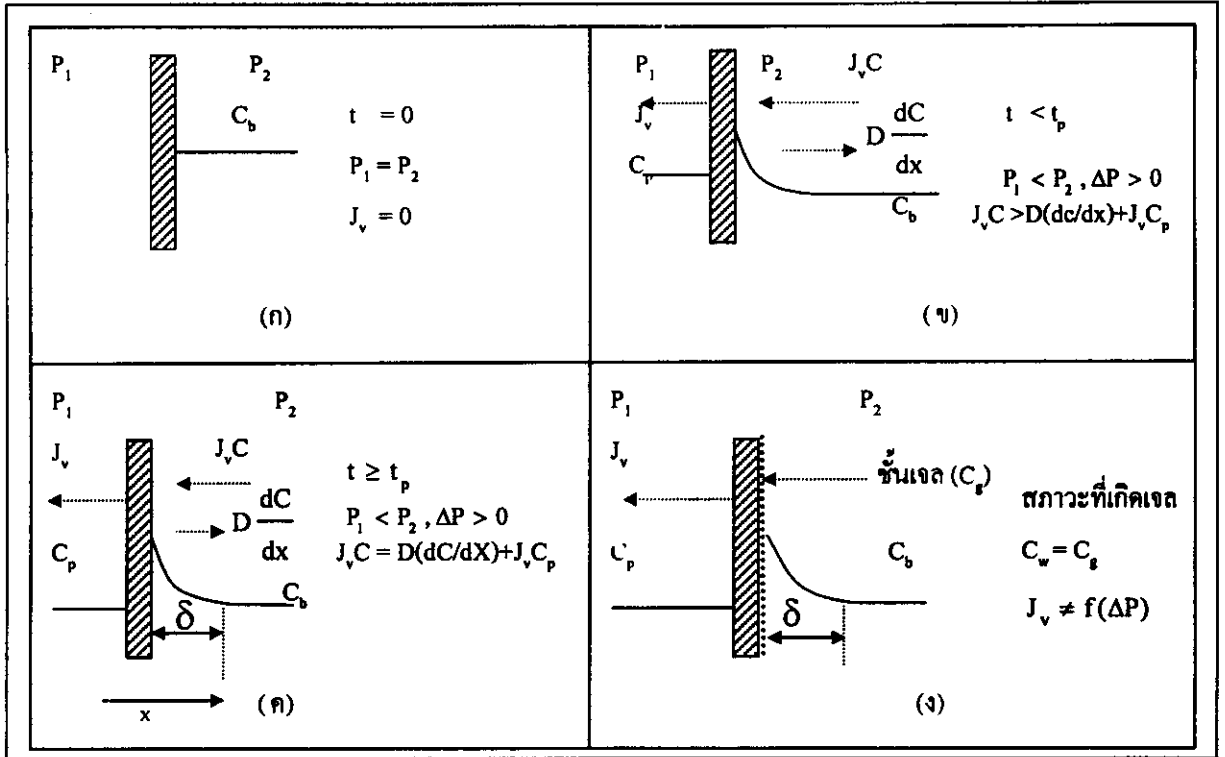
2 concentration polarization (CP)

การเกิด CP ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมีลักษณะคล้ายกับในออสโมซิสผันกลับ และเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายต่าง ๆ ถูกพาสู่เยื่อแผ่น ตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่และไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ จึงถูกกักกันและสะสมอยู่ที่ผิวแผ่น และความเข้มข้น (C_w) มีค่าสูงกว่าใน Bulk ของสารละลาย (C_b)

รูปที่ 1.4 แสดงการเกิด CP โดยรูป (ก) แสดงสภาวะที่ยังไม่ได้เริ่มดำเนินการ (คือที่เวลา $t=0$) ความดัน 2 ด้านของเยื่อแผ่นเท่ากันหรือ $\Delta P = P_2 - P_1 = 0$ ในรูป (ข) เริ่มป้อนสารละลายโดยความดันด้านป้อนเป็น P_2 เริ่มเกิด CP แต่ยังไม่ถึงสภาวะคงตัว ถ้า t_p คือเวลาที่เกิด CP ถึงสภาวะคงตัวซึ่งหมายถึงว่าถ้า $t \geq t_p$ ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (รูป ค.)

3 แบบจำลองการถ่ายเทมวล

การเสนอแบบจำลองการถ่ายเทมวลในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ก็เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ และเพื่อให้เข้าใจกลไกการถ่ายเทของโมเลกุล ผ่านเยื่อแผ่นหรือการกักกันโมเลกุลโดยเยื่อแผ่น แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในช่วงแรก ๆ ได้แก่ แบบจำลองรูพรุน (pore model) ซึ่งสมมุติว่ารูพรุนเป็นทรงกระบอกและอนุภาคเป็นทรงกลม ฟลักซ์ของตัวทำละลาย คำนวณจากสมการ Hagen-Poiseuille ส่วนฟลักซ์ของตัวถูกละลาย



รูปที่ 1.5 การเกิด gel polarization

ละลายเกิดจากการแพร่ผ่านรูพรุนและการกรองโดยการคัดขนาด และมีผลของการบดบัง และแรงเสียดทานที่เกิดจากรูพรุนด้วยอย่างไรก็ตามสมการที่เกี่ยวข้อง ค่อนข้างซับซ้อน ถึงแม้ว่าจะมีการดัดแปลงให้เหมาะสมขึ้นก็ยังคงพบว่าไม่มีความถูกต้องเพียงพอในการอธิบายผลการทดลอง แบบจำลองที่ศึกษากันเป็นส่วนใหญ่มีดังต่อไปนี้

แบบจำลองเจลโพลาริเซชัน (gel polarization model : GP)

แบบจำลองนี้อธิบายว่าการลดลงของฟลักซ์เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดเจลที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น จากรูปที่ 1.4 ซึ่งแสดงลำดับขั้นของการเกิด CP ซึ่งเมื่อถึงสภาวะคงตัว ตามรูป 1.4 (ค)

สมการสมดุลมวลของตัวถูกละลายที่ภาวะของการเกิด CP เขียนได้ดังนี้

$$\left(\begin{array}{l} \text{อัตราการพาสู่เยื่อแผ่น} \\ \text{ของตัวถูกละลาย} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{อัตราการแพร่กลับ} \\ \text{ของตัวถูกละลาย} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{อัตราการผ่านเยื่อแผ่น} \\ \text{ของตัวถูกละลาย} \end{array} \right)$$

$$J_v c = D \frac{dc}{dx} = J_v C_p \tag{1.20}$$

อินทิเกรตโดยใช้สภาวะขอบเขตคือ ที่ $x = 0, C = C_b$ และที่ $x = \delta, C = C_w$ จะได้

$$J_v = \frac{D}{d} \ln \frac{C_w - C_p}{C_b - C_p}$$

หรือ

$$J_v = k \ln \frac{C_w - C_p}{C_b - C_p} \tag{1.21}$$

- เมื่อ C, C_b, C_w, C_p = ความเข้มข้นของสารละลาย, ใน bulk, ที่ผิวเยื่อแผ่น, ในเพอมีเอทตามลำดับ
- X = ระยะห่างจากชั้นขอบเขต
- K = D/δ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวถูกละลาย
- D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient)
- δ = ความหนาของชั้นขอบเขต

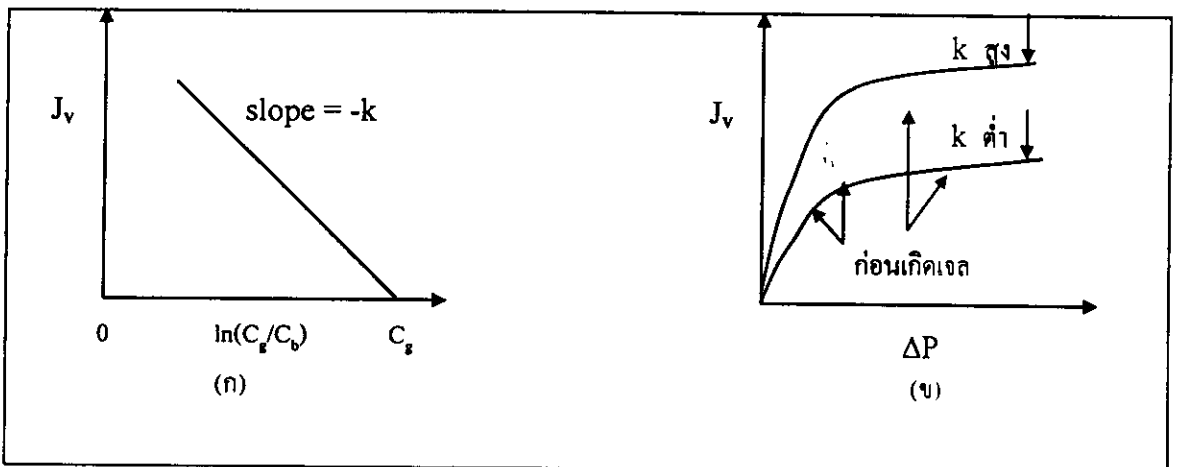
หากความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่บริเวณใกล้ผิวเยื่อแผ่น มีค่าสูงถึงขีดจำกัดการละลาย ($C_g = \text{gel concentration}$) ของสารนั้น ตัวถูกละลายอาจเกิดลักษณะคล้ายเจลที่บริเวณผิวเยื่อแผ่น ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า เจลโพลาริเซชัน ดังแสดงในรูปที่ 1.4 (ง) ชั้นเจลจะขึ้นครอบคลุมผิวเยื่อแผ่นมีลักษณะคล้ายเยื่อแผ่นอีกแผ่นหนึ่ง ต่ออนุกรมอยู่กับเยื่อแผ่นเดิม ทำให้ความต้องการการไหลสูงขึ้น พลัคซ์ของสารละลายจึงมีค่าลดลง และชั้นเจลอาจทำให้ค่าการกักสารของเยื่อแผ่นเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติทางกลของชั้นเจลที่เกิดขึ้น ถ้าตัวถูกละลายขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่ในชั้นเจลได้เร็วกว่าในเยื่อแผ่นเดิม ค่าการกักกันตัวถูกละลายขนาดเล็กจะลดลงในทางตรงข้าม ถ้าตัวถูกละลายนั้นเคลื่อนที่ในชั้นเจลได้ช้า หรือรุกรุนในชั้นเจลเล็กและแน่นกว่าเยื่อแผ่น โอกาสที่ตัวถูกละลายขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นเจลสู่เยื่อแผ่นเดิมย่อมเป็นไปได้ยาก ทำให้การกักกันเพิ่มขึ้น

ในสภาวะที่เกิดเจล $C_w = C_g$ แทนในสมการ (1.21)

$$J_v = k \ln \frac{C_g - C_p}{C_b - C_p} \tag{1.22}$$

กรณีที่มีเจลชั้นมีค่าสูง C_g จะมีค่าน้อยมาก สมการ (1.21) จะลดรูปเป็น

$$J_v = k \ln C_g/C_b \tag{1.23}$$



รูปที่ 1.6 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างพลัคซ์กับความเข้มข้นตามสมการ (1.23)

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างพลัคซ์กับความดัน

จากสมการ (1.23) สามารถหาค่า C_g ได้โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง J_v กับ $\ln C_b$ จะได้กราฟเส้นตรงมีความชัน $= -k$ และจุดตัดบนแกนที่ $J_v = 0$ คือ C_g (รูปที่ 1.6 ก)

สามารถลดการเกิด CP ได้โดยการกวนสารละลาย การเพิ่มอัตราการไหลตามขวางของสารละลาย และใช้ท่อที่มีขนาดเล็ก (เพื่อลด δ) เป็นต้น

แบบจำลองเจลโพลาริเซชัน สามารถอธิบายปรากฏการณ์ช่วงที่ฟลักซ์ไม่ขึ้นกับความดันได้ด้วยเหตุผลว่าเมื่อ C_w สูงถึงค่า C_g แรงขับเคลื่อนในการแพร่กลับของตัวถูกละลาย เนื่องจากผลต่างของความเข้มข้นจะมีค่าคงที่ การเพิ่มความดันจึงไม่มีผลให้อัตราการแพร่กลับของตัวถูกละลายสู่ bulk สูงขึ้น แต่เป็นการเพิ่มอัตราการสะสมตัวถูกละลายในชั้นเจลอีกทั้งทำให้ชั้นเจลแน่นขึ้นด้วยฟลักซ์จึงมีค่าคงที่ (รูปที่ 1.6 ข) ถึงแม้ว่าแบบจำลองเจลโพลาริเซชันจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่กล่าวมา และมีผลการทดลองของสารหลายชนิดที่สอดคล้องกับทฤษฎีก็จริง แต่แบบจำลองนี้ยังมีจุดที่เป็นปัญหา คือ

ก. แบบจำลองเจลโพลาริเซชัน สมมติว่าความเข้มข้นของการถูกละลายในการเกิดเจล (C_g) สำหรับตัวถูกละลายชนิดหนึ่ง ๆ มีค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับชนิดของเยื่อแผ่นและสภาวะการดำเนินการ เช่น อัตราการไหลหรือความดัน

ข. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลที่ใช้ในแบบจำลองเจลโพลาริเซชัน ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งในความจริงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยนแปลง จะทำให้ความหนืดและสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารเปลี่ยนไป อันจะเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในระบบที่เกิด CP สูง ความเข้มข้นที่ผิวเยื่อแผ่นอาจเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เท่าของความเข้มข้นใน bulk ทำให้มีความแน่นอนในการคำนวณค่า k ค่อนข้างมาก

นอกจากนี้แบบจำลองเจลโพลาริเซชันยังไม่ได้คำนึงถึงการเกิดฟาวลิง และเมื่อความเข้มข้นของของตัวถูกละลายมีค่าเป็น C_g ที่สภาวะการทำงานหนึ่ง ๆ แล้ว ฟลักซ์จะมีค่าเป็นศูนย์ตามรูปที่ 1.6 (ก) แต่ในความเป็นจริงฟลักซ์จะยังคงลดลงช้า ๆ ขณะดำเนินการเป็นเวลายาวนาน อย่างไรก็ตามกล่าวได้ว่ามีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้อธิบายผลการทดลองมากกว่าแบบจำลองอื่น ๆ หรือมีการทดลองที่สามารถทำนายค่าฟลักซ์โดยใช้สมการ (1.23) ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองอยู่หลายแห่ง

4 แบบจำลองความดันออสโมติก (osmotic pressure model)

โดยทั่ว ๆ ไปความดันออสโมติกของสารโมเลกุลใหญ่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสารโมเลกุลเล็ก ๆ (เช่น เกลือ, น้ำตาล) ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ดังนั้น การคำนวณฟลักซ์ในอัตราฟิลเตรชันถึงจึงมักตัดค่า $\Delta\pi$ ออก (ดูสมการ (1.16)) แต่เนื่องจากการเกิด CP ทำให้มีการสะสมของสารโมเลกุลใหญ่ที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นหลายเท่าตัว ดังนั้นการไม่คิดค่าความดันออสโมติกอาจทำให้ค่าฟลักซ์คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง แบบจำลองความดันออสโมติกอธิบายว่า การที่ฟลักซ์ลดลงเกิดจากความดันออสโมติกที่เพิ่มขึ้น ทำให้แรงขับเคลื่อน $(\Delta P - \Delta\pi)$ ลดลง

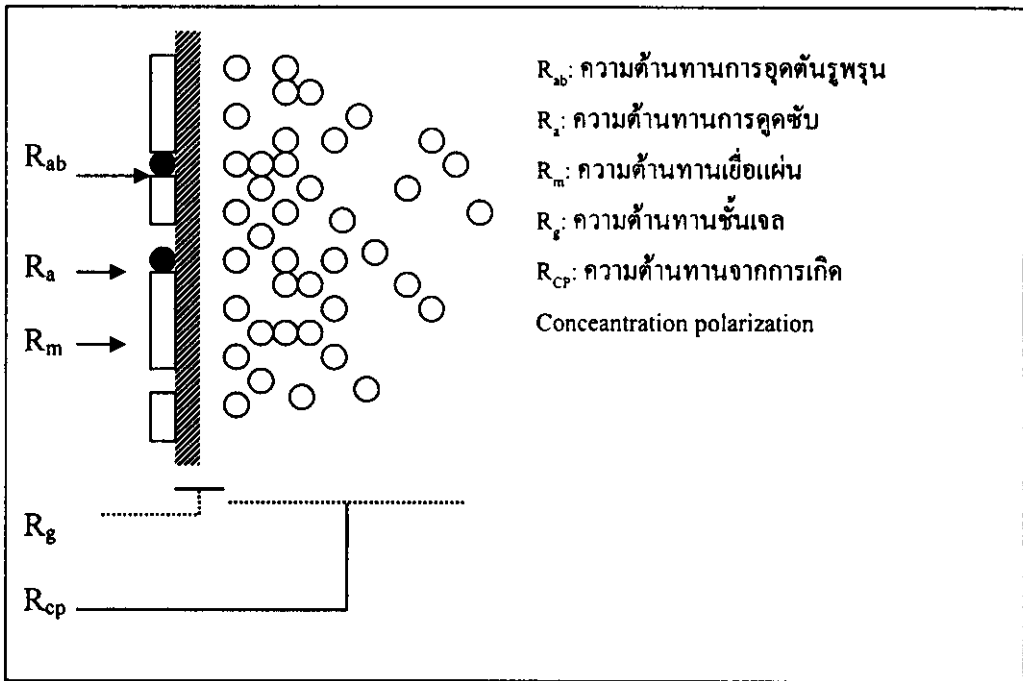
5 แบบจำลองอนุกรมความต้านทาน (resistance-in-series-model)

แบบจำลองอนุกรมความต้านทานอธิบายการลดลงของฟลักซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานในการไหลเพิ่มขึ้น จากสมการ (1.16) R_t คือ ความต้านทานรวมในการไหล ซึ่งเป็นผลบวกของความต้านทานเยื่อแผ่น และความต้านทานที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการเกิด CP ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเกิดจาก 1) ความต้านทานจากการเกิดโพลาไรเซชัน (R_p) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการเกิด CP (R_{cp}) และเจต (R_g) และ 2) ความต้านทานเนื่องจากการเกิด ฟาวลิง (R_f) ซึ่งได้แก่ ความต้านทานเนื่องจากการดูดซับ (R_s) และความต้านทานเนื่องจากการอุดตันรูพรุนของตัวถูกละลาย R_{pb} เป็นต้น ดังนี้

$$R_t = R_m + (R_{cp} + R_g) + (R_s + R_{pb} + \dots)$$

$$R_t = R_m + R_p + R_f \tag{1.24}$$

ดังนั้นความต้านทานรวมจึงเป็นผลบวกของความต้านทานย่อย



รูปที่ 1.7 แสดงความต้านทานต่าง ๆ ตามแบบจำลองอนุกรมความต้านทาน

โพลาไรเซชันเป็นกระบวนการที่ผันกลับหรือสามารถล้างออกด้วยน้ำกลั่นไม่ว่าจะใช้สภาวะใด ซึ่งเมื่อใช้น้ำทำความสะอาดเยื่อแผ่น จะสามารถกำจัดเฉพาะชั้นโพลาไรซ์ออกไปเท่านั้น แต่ไม่อาจทำลายชั้น ฟาวลิง ได้ ดังนั้น ความต้านทานการไหลของน้ำสำหรับเยื่อแผ่นที่ใช้แล้วหลังจากล้างด้วยน้ำกลั่น คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่น R_m และ R_f

$$J'_w = \frac{\Delta P}{\mu_w (R_m + R_f)}$$

หรือ

$$J'_w = \frac{\Delta P}{\mu_w J'_w} \tag{1.25}$$

เมื่อ J_w คือ ฟลักซ์ของน้ำหลังการล้างเยื่อแผ่นที่ใช้แล้วด้วยน้ำความดันทาน R_f สามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$R_f = (R_m + R_p) - R_m \tag{1.26}$$

R_m คำนวณจากสมการ (5.2) เมื่อสารละลายเป็นน้ำสะอาด โดย

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu_w R_w} \tag{1.27}$$

โดย J_w, μ_w เป็นฟลักซ์และความหนืดของน้ำตามลำดับ

ดังนั้น $R_p = R_f - (R_m + R_p) \tag{1.28}$

สมการ (1.17) และ (1.24)–(1.28) แสดงขั้นตอนการคำนวณตามด้านทานต่าง ๆ จากผลการทดลองเมื่อล้างแผ่นเยื่อแผ่นด้วยสารทำความสะอาดและด้วยขั้นตอนที่เหมาะสม จะสามารถกำจัด R_f

แบบจำลองอนุกรมความดันทานเป็นแบบจำลองที่ง่าย เมื่อนำไปอธิบายผลการทดลอง และคำนวณค่าความดันทานหลัก ๆ ออกมา (ได้แก่ R_m, R_p และ R_f) จะทำให้เข้าใจกลไก หรือการลดลงของฟลักซ์ได้ชัดเจนขึ้นว่าอยู่กับตัวแปรอะไรบ้าง ปกติ R_m มีค่าต่ำ คือ ไม่เกิน 10% ของความดันทานรวม ส่วน R_p และ R_f นั้นขึ้นอยู่กับสภาวะการดำเนินงาน (เช่น ความดัน ความเร็วที่ป้อนสารละลายผ่านเยื่อแผ่น) และชนิดของสารละลาย นั้นว่ามีส่วนประกอบอย่างไร ตลอดจน interaction ระหว่างตัวถูกจะละลายด้วยตัวเอง จากขั้นตอนการคำนวณความดันทานที่อธิบายมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าเราอาจไม่สามารถแยก R_m ออกจาก R_p เพราะคาดว่าชั้นของตัวถูกละลายที่สะสมเป็นเจลสามารถละลายน้ำได้ R_f ก็เช่นเดียวกันเกิดจากกลไกที่ซับซ้อน

การวิเคราะห์ความดันทานต่าง ๆ เป็นฟังก์ชันกับตัวแปรในการดำเนินงานทำให้ทราบว่าความดันทานใดมีผลต่อการลดลงของฟลักซ์มากกว่ากัน และควรปรับเปลี่ยนสภาวะการทดลองอย่างไร เพื่อให้ได้ค่าฟลักซ์สูง

Jiratananon et al, 1996 อธิบายผลการเกิดฟาวลิง ในการกรองน้ำเสาวรศโดยวิเคราะห์ความดันทานต่าง ๆ พบว่า R_p และ R_f เพิ่มขึ้นกับความดัน เพราะที่ความดันสูง เกิด CP มาก และโมเลกุลถูกพาไปสะสมที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น และในรูปพุนมากขึ้น การเพิ่มอัตราการไหลช่วยลด CP จึงลดความดันทานทั้ง R_p และ R_f ความเข้มข้นที่สูงขึ้นส่งผลให้ความดันทานเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยความดันทานเนื่องจากชั้นโพลาไรซ์ เป็นความดันทานหลักที่ทำให้ฟลักซ์ลดลง

1.5 การสำรวจเอกสาร (Literature survey)

1.5.1 วิธีการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

การกำจัดสีสามารถทำได้หลายวิธีทั้งวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ ดังนั้นการใช้วิธีการในการกำจัดสีของน้ำเสีย จึงขึ้นกับคุณลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสีย รวมทั้งประเภทของสี (พูนสุข ประเสริฐสรรพ และ คณะ 2544) ได้ศึกษาผลของการเติมสารละลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่มีแอกติวิตี 0.5 , 1.0 และ 1.5 ยูนิต/มล.ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ลงในน้ำทิ้งส่วนใดพบที่สามารถกำจัดสีได้ 29.9 % ที่แอกติวิตี 1.5 ยูนิต/มล และพบว่า การใช้สารช่วยตกตะกอนสามารถกำจัดสีได้ในระดับหนึ่งจากการทดลองใช้สารส้มที่ระดับความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 กรัม/ลิตร ตกตะกอนสีและซีโอดีในน้ำทิ้ง

จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่า สารส้มเป็นสารตกตะกอนสามารถลดสีในตัวอย่างน้ำทิ้ง อีกทั้งยังช่วยลดพีเอชของตัวอย่างน้ำทิ้งได้ จากการเติมสารส้มในตัวอย่างน้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 2.5 กรัม/ลิตร พีเอชของน้ำทิ้งลดลงจาก 9.43 เป็น 6.45 ในการใช้โพลีเฟอร์ริกซัลเฟตในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้มีสีเหลืองอ่อนใสขึ้น แต่ pH ที่ได้กลับมีความเป็นด่างสูงขึ้น ซึ่งจากมาตรฐานน้ำทิ้ง pH ที่ได้ไม่อยู่ในเกณฑ์กำหนด จากการทดลองพบว่าปริมาณที่เหมาะสมของโพลีเฟอร์ริกซัลเฟตในการนำไปใช้งานคือ 10 มล./ลิตร ซึ่งสามารถลดความเข้มของสีได้ 79 % pH มีค่า 12.26 นอกจากนี้ยังพบว่าโอโซนสามารถใช้กำจัดสีได้ หลักการคือ โอโซนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ chromophores (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสารอินทรีย์ ที่ดูดซับแสงที่เราสามารถมองเห็นได้) และทำการแลกเปลี่ยน chromophores เหล่านั้นให้อยู่ในรูปของสารเคมีที่ไม่ดูดซับแสงที่เราสามารถมองเห็นได้

จินตนา แก้วบริสุทธิ์ (2541) ศึกษาการกำจัดสี และการลดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การเปรียบเทียบโอโซนเสริมการดูดซับซีโอดีของถ่านกัมมันต์ ที่ระดับพีเอช 6 7 8 และที่พีเอชของน้ำทิ้ง ซึ่งเท่ากับ 9.5 ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการดูดซับที่ระดับพีเอชต่ำ จะดีกว่าการดูดซับที่ระดับพีเอชสูง ในส่วนของการลดค่าบีโอดี พบว่าชั้นถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีค่อนข้างต่ำ และการเปลี่ยนแปลงอัตราน้ำล้นผิวไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับบีโอดี แต่มีผลต่อการลดค่าซีโอดี โดยพบว่าที่อัตราน้ำล้นผิวต่ำ จะมีผลทำให้ค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากคอลัมน์มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ใช้อัตราน้ำล้นผิวสูง การทดลองพ่นสภาพถ่านเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ 100 ครั้ง ซึ่งชั้นถ่านกัมมันต์มีความสูงลดลงเหลือเท่ากับความลึกวิกฤติของการดูดซับที่สภาวะนี้ พบว่าสามารถปรับลดค่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำจาก 1200 บาท/ลบ.ม. เป็น 38.5 บาท/ลบ.ม.

จตุรงค์ มะเคือ และ คณะ (2546) ทดลองนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางจุลินทรีย์และเคมีมาดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่าสามารถลดค่าสีตัวอย่างน้ำทิ้งได้ประมาณ 30-40 %

Jonsson, A.-S. et al.(1996) ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำทิ้งจากการเคลือบกระดาษโดยใช้ UF พบว่าสามารถนำส่วนรีเทนเททกลับ ไปใช้ในการเคลือบได้ และส่วนของ เพอมิเอทก็นำไปเป็นน้ำใช้ในกระบวนการ องค์กรประกอบของสีมีผลต่อประสิทธิภาพการกรอง โดยสีที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบมีค่าฟลักซ์ และประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำสุด ขณะที่สีที่มี CaCO_3 เป็นองค์ประกอบจะมีค่าฟลักซ์สูงสุด

Mutlu, S.H., et al., (2002) ศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตยีสต์ทำขนมปัง โดยใช้ MF UF และ NF พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของการกำจัดสีคือการใช้ 0.8 μm MF ค่อนุกรมกับ 400 Da NF โดยสามารถลดสีและ COD ได้ 89 และ 71 % ตามลำดับ และพบว่าการติดตั้ง UF ตรงกลางระหว่าง MF และ NF ไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์ และประสิทธิภาพของการกำจัดสี และ COD

D. Abdessemed, D et al (1998) ได้ศึกษาการกำจัด คอลลอยด์ที่ไม่สามารถกำจัดในกระบวนการทางชีวภาพ โดยการใช้ระบบการก่อกองรวมกับการกรองด้วยไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนขนาด 0.2 อัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน ขนาด 50 kDa และ นาโนฟิลเตรชันขนาด 150 Da พบว่าขั้นตอนการก่อกองมีผลประสิทธิภาพของระบบอย่างมาก โดยค่าเพอมิเอทฟลักซ์ขึ้นกับความเข้มข้นของ สารก่อกอง

Wisniewski, C. et al (1998) ศึกษาฟาวลิงในกระบวนการกรองตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าจากการทำการกรองอนุภาค 3 ชนิด ชนิดที่ตกจมได้ง่าย ชนิดที่เป็นคอลลอยด์ และที่ละลายได้ ส่วนที่มีผลต่อการเกิดฟาวลิงมากที่สุดคือส่วนที่ละลายได้ โดยค่าความต้านทานทั้งหมดที่ได้มาจาก ส่วนที่เป็นสารละลายประมาณ 50 %

Goodwin, C. O. et al (1991) ได้ศึกษาการใช้กระบวนการกรองด้วยอัลตราฟิลเตรชันในการกำจัดสีน้ำตาลในเหล้าอุ่งขาวแทนการใช้ซัลไฟต์ พบว่าการกรองด้วย UF ขนาด 50,000 d MWCO จะยับยั้งกระบวนการออกซิเดชันที่ทำให้เกิดสีในเหล้าอุ่งขาวได้

การใช้กระบวนการเมมเบรน (membrane process)

ข้อมูลที่ใช้เมมเบรนในการกรองมีน้อยมาก กระบวนการเมมเบรน เป็นกระบวนการที่อาศัยเยื่อเมมเบรนในการแยกสารหรือเพิ่มความเข้มข้นหรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้นสำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ จะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนทำให้สารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่นแล้วเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือ ผลต่างของความดัน ลักษณะที่สำคัญของเมมเบรน คือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น (semi-permeable/permeable membrane) การเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือ ทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมี affinity ของเมมเบรน ต่อสารนั้น ๆ หรือจากขนาดของรูพรุนซึ่งสารละลายที่ผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า เพอเมอเทต (permeate) ส่วนที่ไม่ผ่านเมมเบรน เรียกว่า Retentate หรือ concentrate ความสามารถในการแยกได้จากตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ

1. Flux คืออัตราการไหลผ่านเมมเบรน ซึ่งมีหน่วยเป็นปริมาตร หรือน้ำหนัก หรือโมลของ เพอเมอเทตต่อพื้นที่ของแผ่นเยื่อกรอง

2. % rejection คือ ความสามารถในการเก็บกักของตัวถูกละลายของเมมเบรน (ซึ่งแผ่นเมมเบรนที่ดีต้องมีค่า % rejection สูง และ flux ที่สูงด้วย)

การจำแนกกระบวนการเมมเบรน

จะมีการจำแนกตามหลักการของแรงดัน (เช่น ความเข้มข้น, ความดัน, ความต่างศักย์, permeate หรือ retentate (concentrate) ซึ่งสามารถแยกได้เป็น กระบวนการไดอะไลซิส กระบวนการอิเล็กโตรไดอะไลซิส ออสโมซิสผันกลับ อัลตราฟิลเตรชัน ไมโครฟิลเตรชัน นาโนฟิลเตรชัน เพอวาปอเรชัน

ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้กระบวนการ อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration, UF) และ ไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration, MF)

อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (microporous) สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ คอลลอยด์ (colloid) ออกจากน้ำและสารโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งแผ่นเมมเบรนมีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 nm แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในการแยกต่ำกว่า ออสโมซิสผันกลับคือ 100 - 800 kPa

ไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration, MF) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ คือ 0.1 - 10 nm สำหรับแยกโมเลกุลใหญ่ ๆ สารแขวนลอย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ออกจากของเหลว โดยใช้ความดันอยู่ในช่วง 100 - 500 kPa

1.6 วัตถุประสงค์

- 1 เพื่อศึกษาหาชนิดและขนาด pore size ของเมมเบรนที่นำมาใช้ในกระบวนการกรองน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม
- 2 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการทดลอง
- 3 เพื่อศึกษาหาสาเหตุและลักษณะการเกิด ฟาวลิง เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดวิธีการล้าง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกลไกของการกำจัดสีด้วยกระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน และกระบวนการไฮบริดเมมเบรน
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำทิ้งได้