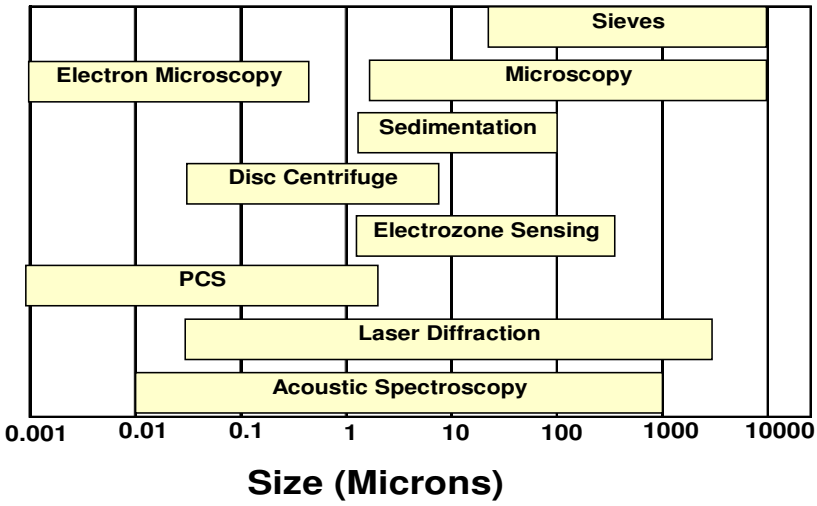
## ภาคผนวก ก. การเลือกชนิดและขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลอง

### การเลือกช่วงการดำเนินการสำหรับตัวแปรต่างๆ ของการกรองไมโครฟิลเตรชัน

สำหรับการเลือกช่วงของการดำเนินการสำหรับตัวแปรต่างๆ จะเริ่มจากการเลือกขนาดของเมมเบรนโดยทำการหาขนาดของอนุภาคของตัวอย่างน้ำเสีย เมื่อรู้ขนาดอนุภาคก็จะนำไปเลือกขนาดของเมมเบรนได้ หลังจากนั้นก็นำลักษณะสมบัติของน้ำเสียตัวอย่าง ไปเลือกชนิดของเมมเบรนดังตาราง 22 และทำการกำหนดช่วงของความดันสำหรับการดำเนินการโดยเลือกให้อยู่ในช่วงสำหรับการดำเนินการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันจากตาราง 23 ส่วนอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับพื้นที่การกรองของเมมเบรน เมื่อกำหนดความดัน และอัตราการไหลในการดำเนินการแล้ว หลังจากนั้นก็นำไปเลือกชนิดของปั๊มที่ใช้สำหรับการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันดังตาราง 25 โดยความเข้มข้นของสารป้อนที่ใช้ในการดำเนินการจะกำหนดเช่นเดียวกับ การดำเนินการบำบัดน้ำเสียสำหรับระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง

**การเลือกขนาดเมมเบรน**: ทำการวัดขนาดอนุภาคของน้ำเสียโดยการวัดขนาดอนุภาคทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคที่ต้องการวัดและใช้วิธีใดที่เหมาะสมจากภาพประกอบ 58 จะเห็นว่าการวัดขนาดอนุภาคโดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieves) จะเหมาะกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ 80-1,000 ไมครอนแต่แยกขนาดได้หยาบๆ ปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้กัน ได้แก่การวัดโดยวิธีใช้ Laser diffraction ช่วงการวัดได้ดีประมาณ 0.05-1,500 ไมครอน หรืออาจใช้วิธีที่ละเอียดกว่านี้คือใช้ Zeta potential ซึ่งสามารถวัดได้ถึงหน่วยนาโนเมตร

เครื่อง Particle size analyzer เป็นเครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคโดยให้แสงเลเซอร์ส่องผ่านอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัว Dispersant ซึ่งไหลผ่าน flow cell ตัวอย่างจะถูกวัดและคำนวณผลบันทึกผลการวัดโดยอัตโนมัติ สามารถรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การกระจาย (%Distribution) Mesh no. เป็นต้นซึ่งขนาดเมมเบรนที่เลือกใช้ในการทดลองได้แก่เมมเบรนขนาด 5 1.2 และ 0.1 ไมครอน




**ภาพประกอบ 58** แสดงวิธีการวัดขนาดอนุภาคในช่วงอนุภาคต่างๆ

ที่มา : จรรยา อินทมณี, 2546

**การเลือกชนิดวัสดุของเมมเบรน**

**ตาราง 22** การเลือกชนิดวัสดุของเมมเบรนโดยเลือกตามความสามารถในการต้านทานเคมี

| Chemical Resistance of Several Membrane Materials | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Composite | CA | PSO | PVDF | PAN | $SiO_2$ | Cellulose |
| 3 < pH < 8 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| pH<3 or pH>8 | ✓ | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Temp >35°C | ✓ | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Humic acid | (✓) | ✓ | × | × | (✓) | × | ✓ |
| Proteins | ✓ | (✓) | ✓ | (✓) | (✓) | ✓ | ✓ |
| Polysaccharides | (✓) | × | ✓ | × | (✓) | ✓ | × |
| Textile waste | ✓ | × | ✓ | (✓) | ✓ | × | × |
| Aliphatic hydrocarbon | × | × | × | (✓) | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aromatic hydrocarbon | × | × | × | ✓ | × | ✓ | (✓) |
| Oxidizers | × | (✓) | ✓ | ✓ | (✓) | ✓ | (✓) |
| Ketones, Esters | × | × | × | ✓ | × | ✓ | (✓) |
| Alcohol | ✓ | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

ที่มา : Jorgen, W., 2001

โดยเมมเบรนที่เลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้เป็น เซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน

**ตาราง 23** แสดงช่วงการดำเนินการสำหรับกระบวนการเมมเบรนแต่ละชนิด

| | Reverse Osmosis | Nanofiltration | Ultrafiltration | Micro filtration |
|---|---|---|---|---|
| Membrane | Asymmetrical | Asymmetrical | Asymmetrical | Symmetrical<br>Asymmetrical |
| Thickness<br>Thin film | 150 μm<br>1 μm | 150 μm<br>1 μm | 150 - 250 μm<br>1 μm | 10-150 μm |
| Pore size | <0.002 μm | <0.002 μm | 0.2 - 0.02 μm | 5 - 0.02 μm |
| Rejection of | HMWC, LMWC<br>sodium chloride<br>glucose<br>amino acids | HMWC<br>mono-, di- and<br>oligosaccharides<br>polyvalent neg. ions, | Macro molecules,<br>proteins,<br>polysaccharides<br>vira | Particles,<br>clay<br>bacteria |
| Membrane material(s) | CA<br>Thin film | CA<br>Thin film | Ceramic<br>PSO, PVDF, CA<br>Thin film | Ceramic<br>PP, PSO, PVDF |
| Membrane Module | Tubular,<br>spiral wound,<br>plate-and-frame | Tubular,<br>spiral wound,<br>plate-and-frame | Tubular,<br>hollow fiber,<br>spiral wound,<br>plate-and-frame | Tubular,<br>hollow fiber |
| Operating pressure | 15-150 bar | 5-35 bar | 1-10 bar | <2 bar |

ที่มา : Jorgen, W., 2001

ความดันสำหรับการดำเนินการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันจะใช้แรงดันต่ำโดยมีค่าไม่เกิน 2 bar

สำหรับการวิจัยที่ศึกษาตัวแปรต่างๆ ในการดำเนินการกรองไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวางซึ่งจะดำเนินการในช่วงต่างๆ แสดงดังตาราง 24

**ตาราง 24** แสดงช่วงดำเนินการของพารามิเตอร์ต่างๆ

| ตัวแปรสำหรับการดำเนินการ | ช่วงในการดำเนินการ | หน่วย | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| ความดัน | 5-15 | psi | อยู่ในช่วงการดำเนินการสำหรับกระบวนการกรองไมโครฟิลเตรชัน ดังตาราง 23 |
| ขนาดรูพรุนของเมมเบรน | 0.1-5 | Micron | อยู่ในช่วงการดำเนินการสำหรับกระบวนการกรองไมโครฟิลเตรชัน ดังตาราง 23 |
| ความเข้มข้นของน้ำเสีย | 1,500-3,500 | mg/l | อยู่ในช่วงการดำเนินการบำบัดน้ำเสียสำหรับบ่อเติมอากาศของระบบตะกอนเร่ง |
| อัตราการไหลของสารป้อน | 1.25-1.75 | Lpm | ขึ้นอยู่กับพื้นที่การกรองของเมมเบรน |

**การเลือกชนิดปั๊ม**

จากการออกแบบการทดลองสำหรับช่วงดำเนินการของอัตราการไหล และแรงดัน ตามตาราง 24 จึงทำการเลือกใช้ไดอะแฟรมปั๊มในการทดลองโดยเลือกชนิดของปั๊มจากตาราง 25 โดยเลือกตามอัตราการไหลและแรงดันที่ใช้ในการทดลอง

**ตาราง 25** การเลือกชนิดของปั๊มสำหรับน้ำเสียที่ความดันและอัตราการไหลต่างๆ

**Pump Selection as Function of Flow and Pressure**

| | Piston pump | | | | Diaphragm pump | | | | Single-stage centrifugal | | | | Multi-stage centrifugal | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| bar | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 70 | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ |
| 40 | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ |
| 25 | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ |
| 15 | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ |
| 5 | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | |
| | 0.5 $m^3/h$ | | | | 2 $m^3/h$ | | | | 10 $m^3/h$ | | | | >50 $m^3/h$ | | | |

ที่มา : Jorgen, W., 2001

**ภาคผนวก ข. ข้อมูลจากการทดลอง**

**ตาราง 26** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 10.96 | 10.96 | 37.92 |
| 20 | 17.06 | 6.1 | 21.11 |
| 30 | 22.42 | 5.36 | 18.55 |
| 40 | 28.43 | 6.01 | 20.80 |
| 50 | 33.45 | 5.02 | 17.37 |
| 60 | 39.76 | 6.31 | 21.83 |
| 70 | 45.61 | 5.85 | 20.24 |
| 80 | 51.93 | 6.32 | 21.87 |
| 90 | 57.24 | 5.31 | 18.37 |
| 100 | 63.23 | 5.99 | 20.73 |
| 110 | 69.11 | 5.88 | 20.35 |
| 120 | 74.41 | 5.3 | 18.34 |
| 130 | 79.55 | 5.14 | 17.78 |
| 140 | 84.28 | 4.73 | 16.37 |
| 150 | 89.27 | 4.99 | 17.27 |
| 160 | 93.71 | 4.44 | 15.36 |
| 170 | 97.98 | 4.27 | 14.77 |
| 180 | 102.13 | 4.15 | 14.36 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 27** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 31.94 | 31.94 | 110.51 |
| 20 | 38.63 | 6.69 | 23.15 |
| 30 | 43.84 | 5.21 | 18.03 |
| 40 | 48.34 | 4.50 | 15.57 |
| 50 | 52.41 | 4.07 | 14.08 |
| 60 | 56.2 | 3.79 | 13.11 |
| 70 | 59.63 | 3.43 | 11.87 |
| 80 | 62.90 | 3.27 | 11.31 |
| 90 | 65.94 | 3.04 | 10.52 |
| 100 | 68.84 | 2.90 | 10.03 |
| 110 | 71.62 | 2.78 | 9.62 |
| 120 | 74.32 | 2.70 | 9.34 |
| 130 | 76.81 | 2.49 | 8.62 |
| 140 | 79.10 | 2.29 | 7.92 |
| 150 | 81.39 | 2.29 | 7.92 |
| 160 | 83.66 | 2.27 | 7.85 |
| 170 | 85.81 | 2.15 | 7.44 |
| 180 | 87.87 | 2.06 | 7.13 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 28** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 18.33 | 18.33 | 63.42 |
| 20 | 24.97 | 6.64 | 22.97 |
| 30 | 29.97 | 5.00 | 17.30 |
| 40 | 34.16 | 4.19 | 14.50 |
| 50 | 37.71 | 3.55 | 12.28 |
| 60 | 40.92 | 3.21 | 11.11 |
| 70 | 43.78 | 2.86 | 9.90 |
| 80 | 46.49 | 2.71 | 9.38 |
| 90 | 49.03 | 2.54 | 8.79 |
| 100 | 51.47 | 2.44 | 8.44 |
| 110 | 53.80 | 2.33 | 8.06 |
| 120 | 55.90 | 2.10 | 7.27 |
| 130 | 58.12 | 2.22 | 7.68 |
| 140 | 60.15 | 2.03 | 7.02 |
| 150 | 62.10 | 1.95 | 6.75 |
| 160 | 64.01 | 1.91 | 6.61 |
| 170 | 65.90 | 1.89 | 6.54 |
| 180 | 67.69 | 1.79 | 6.19 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 29** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 22.81 | 22.81 | 78.92 |
| 20 | 31.01 | 8.20 | 28.37 |
| 30 | 39.68 | 8.67 | 30.00 |
| 40 | 47.70 | 8.02 | 27.75 |
| 50 | 55.35 | 7.65 | 26.47 |
| 60 | 62.91 | 7.56 | 26.16 |
| 70 | 70.42 | 7.51 | 25.99 |
| 80 | 76.36 | 5.94 | 20.55 |
| 90 | 83.44 | 7.08 | 24.50 |
| 100 | 90.44 | 7.00 | 24.22 |
| 110 | 97.42 | 6.98 | 24.15 |
| 120 | 104.39 | 6.97 | 24.12 |
| 130 | 110.55 | 6.16 | 21.31 |
| 140 | 117.25 | 6.70 | 23.18 |
| 150 | 123.94 | 6.69 | 23.15 |
| 160 | 130.59 | 6.65 | 23.01 |
| 170 | 137.07 | 6.48 | 22.42 |
| 180 | 143.5 | 6.43 | 22.25 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 30** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| **Time (Min)** | **$W_1$** | **$W_2$** | **Flux ($L/m^2.hr$)** |
|---|---|---|---|
| 10 | 26.19 | 26.19 | 90.62 |
| 20 | 33.19 | 7.00 | 24.22 |
| 30 | 38.74 | 5.55 | 19.20 |
| 40 | 43.52 | 4.78 | 16.54 |
| 50 | 47.63 | 4.11 | 14.22 |
| 60 | 51.47 | 3.84 | 13.29 |
| 70 | 54.87 | 3.40 | 11.76 |
| 80 | 58.05 | 3.18 | 11.00 |
| 90 | 60.96 | 2.91 | 10.07 |
| 100 | 63.69 | 2.73 | 9.45 |
| 110 | 66.10 | 2.41 | 8.34 |
| 120 | 68.51 | 2.41 | 8.34 |
| 130 | 70.77 | 2.26 | 7.82 |
| 140 | 72.97 | 2.20 | 7.61 |
| 150 | 74.99 | 2.02 | 6.99 |
| 160 | 76.97 | 1.98 | 6.85 |
| 170 | 78.87 | 1.90 | 6.57 |
| 180 | 80.75 | 1.88 | 6.50 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 31** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 26.11 | 26.11 | 90.34 |
| 20 | 30.10 | 3.99 | 13.81 |
| 30 | 33.01 | 2.91 | 10.07 |
| 40 | 35.45 | 2.44 | 8.44 |
| 50 | 37.67 | 2.22 | 7.68 |
| 60 | 39.67 | 2.00 | 6.92 |
| 70 | 41.63 | 1.96 | 6.78 |
| 80 | 43.48 | 1.85 | 6.40 |
| 90 | 45.29 | 1.81 | 6.26 |
| 100 | 46.73 | 1.44 | 4.98 |
| 110 | 48.23 | 1.50 | 5.19 |
| 120 | 49.71 | 1.48 | 5.12 |
| 130 | 51.11 | 1.40 | 4.84 |
| 140 | 52.54 | 1.43 | 4.95 |
| 150 | 53.85 | 1.31 | 4.53 |
| 160 | 55.28 | 1.43 | 4.95 |
| 170 | 56.68 | 1.40 | 4.84 |
| 180 | 58.07 | 1.39 | 4.81 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 32** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| **Time (Min)** | **$W_1$** | **$W_2$** | **Flux ($L/m^2.hr$)** |
|---|---|---|---|
| 10 | 19.97 | 19.97 | 69.10 |
| 20 | 26.87 | 6.90 | 23.87 |
| 30 | 33.26 | 6.39 | 22.11 |
| 40 | 39.68 | 6.42 | 22.21 |
| 50 | 46.01 | 6.33 | 21.90 |
| 60 | 52.16 | 6.15 | 21.28 |
| 70 | 58.17 | 6.01 | 20.80 |
| 80 | 64.26 | 6.09 | 21.07 |
| 90 | 70.32 | 6.06 | 20.97 |
| 100 | 76.15 | 5.83 | 20.17 |
| 110 | 82.07 | 5.92 | 20.48 |
| 120 | 87.90 | 5.83 | 20.17 |
| 130 | 93.68 | 5.78 | 20.00 |
| 140 | 99.43 | 5.75 | 19.90 |
| 150 | 105.15 | 5.72 | 19.79 |
| 160 | 110.89 | 5.74 | 19.86 |
| 170 | 116.46 | 5.57 | 19.27 |
| 180 | 122.07 | 5.61 | 19.41 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 33** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| **Time (Min)** | **$W_1$** | **$W_2$** | **Flux ($L/m^2.hr$)** |
|---|---|---|---|
| 10 | 13.23 | 13.23 | 45.78 |
| 20 | 21.83 | 8.60 | 29.76 |
| 30 | 29.75 | 7.92 | 27.40 |
| 40 | 37.42 | 7.67 | 26.54 |
| 50 | 44.36 | 6.94 | 24.01 |
| 60 | 51.38 | 7.02 | 24.29 |
| 70 | 58.21 | 6.83 | 23.63 |
| 80 | 64.40 | 6.19 | 21.42 |
| 90 | 70.87 | 6.47 | 22.39 |
| 100 | 77.68 | 6.81 | 23.56 |
| 110 | 83.12 | 5.44 | 18.82 |
| 120 | 88.22 | 5.10 | 17.65 |
| 130 | 93.74 | 5.52 | 19.10 |
| 140 | 98.56 | 4.82 | 16.68 |
| 150 | 103.40 | 4.84 | 16.75 |
| 160 | 108.88 | 5.48 | 18.96 |
| 170 | 114.90 | 6.02 | 20.83 |
| 180 | 120.50 | 5.60 | 19.38 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 34** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 0.1 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 7.52 | 7.52 | 26.01 |
| 20 | 12.18 | 4.66 | 16.15 |
| 30 | 15.87 | 3.69 | 12.76 |
| 40 | 19.24 | 3.37 | 11.65 |
| 50 | 22.48 | 3.24 | 11.23 |
| 60 | 25.56 | 3.08 | 10.65 |
| 70 | 28.52 | 2.96 | 10.23 |
| 80 | 31.42 | 2.90 | 10.02 |
| 90 | 34.31 | 2.89 | 10.02 |
| 100 | 37.13 | 2.82 | 9.75 |
| 110 | 39.96 | 2.83 | 9.78 |
| 120 | 42.66 | 2.70 | 9.37 |
| 130 | 45.36 | 2.70 | 9.33 |
| 140 | 47.99 | 2.63 | 9.09 |
| 150 | 50.61 | 2.62 | 9.09 |
| 160 | 53.18 | 2.57 | 8.88 |
| 170 | 55.40 | 2.22 | 8.36 |
| 180 | 57.50 | 2.10 | 7.95 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 35** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 0.1 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 11.54 | 11.54 | 39.92 |
| 20 | 16.80 | 5.26 | 18.22 |
| 30 | 20.10 | 3.30 | 11.41 |
| 40 | 23.53 | 3.43 | 11.86 |
| 50 | 26.60 | 3.07 | 10.65 |
| 60 | 29.61 | 3.01 | 10.40 |
| 70 | 32.35 | 2.74 | 9.47 |
| 80 | 34.91 | 2.56 | 8.85 |
| 90 | 37.40 | 2.49 | 8.64 |
| 100 | 39.93 | 2.53 | 8.74 |
| 110 | 42.33 | 2.40 | 8.29 |
| 120 | 44.65 | 2.32 | 8.05 |
| 130 | 46.85 | 2.20 | 7.60 |
| 140 | 48.98 | 2.13 | 7.36 |
| 150 | 51.09 | 2.11 | 7.32 |
| 160 | 53.24 | 2.15 | 7.43 |
| 170 | 55.56 | 2.32 | 8.02 |
| 180 | 57.64 | 2.08 | 7.19 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 36** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 0.1 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 21.40 | 21.40 | 74.06 |
| 20 | 29.36 | 7.96 | 27.52 |
| 30 | 35.53 | 6.17 | 21.36 |
| 40 | 40.66 | 5.13 | 17.73 |
| 50 | 45.01 | 4.35 | 15.07 |
| 60 | 49.19 | 4.18 | 14.44 |
| 70 | 52.86 | 3.67 | 12.71 |
| 80 | 56.06 | 3.20 | 11.09 |
| 90 | 58.87 | 2.81 | 9.70 |
| 100 | 61.44 | 2.57 | 8.91 |
| 110 | 63.72 | 2.28 | 7.87 |
| 120 | 65.97 | 2.25 | 7.80 |
| 130 | 67.92 | 1.95 | 6.73 |
| 140 | 69.78 | 1.86 | 6.45 |
| 150 | 71.59 | 1.81 | 6.28 |
| 160 | 73.25 | 1.66 | 5.72 |
| 170 | 74.72 | 1.47 | 5.10 |
| 180 | 76.11 | 1.39 | 4.79 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 37** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 0.1 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| **Time (Min)** | **$W_1$** | **$W_2$** | **Flux ($L/m^2.hr$)** |
|---|---|---|---|
| 10 | 16.75 | 16.75 | 57.96 |
| 20 | 23.33 | 6.58 | 22.77 |
| 30 | 28.46 | 5.13 | 17.75 |
| 40 | 33.10 | 4.64 | 16.05 |
| 50 | 37.20 | 4.10 | 14.19 |
| 60 | 41.00 | 3.80 | 13.15 |
| 70 | 44.56 | 3.56 | 12.32 |
| 80 | 47.79 | 3.23 | 11.18 |
| 90 | 50.85 | 3.06 | 10.59 |
| 100 | 53.79 | 2.94 | 10.17 |
| 110 | 56.53 | 2.74 | 9.48 |
| 120 | 59.13 | 2.60 | 9.00 |
| 130 | 61.65 | 2.52 | 8.72 |
| 140 | 64.11 | 2.46 | 8.51 |
| 150 | 66.33 | 2.22 | 7.68 |
| 160 | 68.52 | 2.19 | 7.58 |
| 170 | 70.67 | 2.15 | 7.44 |
| 180 | 72.74 | 2.07 | 7.16 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 38** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 0.1 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 9.85 | 9.85 | 34.08 |
| 20 | 13.65 | 3.80 | 13.15 |
| 30 | 17.30 | 3.65 | 12.63 |
| 40 | 20.22 | 2.92 | 10.10 |
| 50 | 22.89 | 2.67 | 9.24 |
| 60 | 25.38 | 2.49 | 8.62 |
| 70 | 27.67 | 2.29 | 7.92 |
| 80 | 29.96 | 2.29 | 7.92 |
| 90 | 32.02 | 2.06 | 7.13 |
| 100 | 34.11 | 2.09 | 7.23 |
| 110 | 36.00 | 1.89 | 6.54 |
| 120 | 37.92 | 1.92 | 6.64 |
| 130 | 39.77 | 1.85 | 6.40 |
| 140 | 41.48 | 1.71 | 5.92 |
| 150 | 43.13 | 1.65 | 5.71 |
| 160 | 44.52 | 1.39 | 4.81 |
| 170 | 45.85 | 1.33 | 4.60 |
| 180 | 46.78 | 0.93 | 3.22 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 39** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 0.1 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.75 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 16.03 | 16.03 | 55.47 |
| 20 | 24.87 | 8.84 | 30.59 |
| 30 | 32.08 | 7.21 | 24.95 |
| 40 | 38.80 | 6.72 | 23.25 |
| 50 | 44.95 | 6.15 | 21.28 |
| 60 | 50.16 | 5.21 | 18.03 |
| 70 | 55.14 | 4.98 | 17.23 |
| 80 | 60.32 | 5.18 | 17.92 |
| 90 | 65.62 | 5.30 | 18.34 |
| 100 | 70.60 | 4.98 | 17.23 |
| 110 | 75.23 | 4.63 | 16.02 |
| 120 | 79.80 | 4.57 | 15.81 |
| 130 | 84.10 | 4.30 | 14.88 |
| 140 | 88.31 | 4.21 | 14.57 |
| 150 | 92.32 | 4.01 | 13.87 |
| 160 | 96.25 | 3.93 | 13.60 |
| 170 | 100.11 | 3.86 | 13.36 |
| 180 | 103.90 | 3.79 | 13.11 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 40** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 0.1 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 10.38 | 10.38 | 35.92 |
| 20 | 15.43 | 5.05 | 17.47 |
| 30 | 20.23 | 4.80 | 16.61 |
| 40 | 23.81 | 3.58 | 12.39 |
| 50 | 26.52 | 2.71 | 9.38 |
| 60 | 29.26 | 2.74 | 9.48 |
| 70 | 31.51 | 2.25 | 7.79 |
| 80 | 33.45 | 1.94 | 6.71 |
| 90 | 35.34 | 1.89 | 6.54 |
| 100 | 37.16 | 1.82 | 6.30 |
| 110 | 38.85 | 1.69 | 5.85 |
| 120 | 40.48 | 1.63 | 5.64 |
| 130 | 42.01 | 1.53 | 5.29 |
| 140 | 43.49 | 1.48 | 5.12 |
| 150 | 45.03 | 1.54 | 5.33 |
| 160 | 46.48 | 1.45 | 5.02 |
| 170 | 47.85 | 1.37 | 4.74 |
| 180 | 48.91 | 1.06 | 3.67 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 41** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 5 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 9.35 | 9.35 | 32.35 |
| 20 | 13.84 | 4.49 | 15.54 |
| 30 | 17.59 | 3.75 | 12.98 |
| 40 | 21.99 | 4.40 | 15.22 |
| 50 | 25.40 | 3.41 | 11.80 |
| 60 | 29.64 | 4.24 | 14.67 |
| 70 | 33.88 | 4.24 | 14.67 |
| 80 | 38.59 | 4.71 | 16.30 |
| 90 | 42.29 | 3.70 | 12.80 |
| 100 | 46.67 | 4.38 | 15.16 |
| 110 | 50.94 | 4.27 | 14.77 |
| 120 | 54.63 | 3.69 | 12.77 |
| 130 | 58.16 | 3.53 | 12.21 |
| 140 | 61.48 | 3.32 | 11.49 |
| 150 | 64.86 | 3.38 | 11.70 |
| 160 | 67.69 | 2.83 | 9.79 |
| 170 | 70.45 | 2.76 | 9.55 |
| 180 | 73.12 | 2.67 | 9.24 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ตาราง 42** ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่เวลาต่างๆสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 2,500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางด้วยเซลลูโลสไนเตรทเมมเบรน ขนาด 1.2 micron ที่ความดัน 10 psi และอัตราการไหล 1.5 Lpm

| Time (Min) | $W_1$ | $W_2$ | Flux ($L/m^2.hr$) |
|---|---|---|---|
| 10 | 9.96 | 9.96 | 34.46 |
| 20 | 14.23 | 4.27 | 14.77 |
| 30 | 17.92 | 3.69 | 12.77 |
| 40 | 21.22 | 3.30 | 11.42 |
| 50 | 24.21 | 2.99 | 10.35 |
| 60 | 26.86 | 2.65 | 9.17 |
| 70 | 29.34 | 2.48 | 8.58 |
| 80 | 31.52 | 2.18 | 7.54 |
| 90 | 33.66 | 2.14 | 7.40 |
| 100 | 35.52 | 1.86 | 6.44 |
| 110 | 37.43 | 1.91 | 6.61 |
| 120 | 39.33 | 1.90 | 6.57 |
| 130 | 40.97 | 1.64 | 5.67 |
| 140 | 42.57 | 1.60 | 5.54 |
| 150 | 44.16 | 1.59 | 5.50 |
| 160 | 45.80 | 1.64 | 5.67 |
| 170 | 47.29 | 1.49 | 5.16 |
| 180 | 48.81 | 1.52 | 5.26 |

$W_1$ = น้ำหนักรวม (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักในช่วงเวลา $\Delta$ t (กรัม)

$\Delta$ t = 10 นาที

**ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี**

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนและหลังการกรอง ได้แก่

1. การวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค
2. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย
3. การวิเคราะห์ค่าซีโอดี

**1.การวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค**

ทำการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Particle size analyzer วิเคราะห์โดยให้แสงเลเซอร์ผ่านอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัว Dispersant ซึ่งไหลผ่านโฟลเซล (flow cell) ตัวอย่างจะถูกวัดและคำนวณผล บันทึกผลการวัดโดยอัติโนมัติ สามารถรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การกระจาย (%Distribution) และเมชนัมเบอร์ (Mesh no.)

**2. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย**

ของแข็งแขวนลอยหรือเอสเอส หมายถึง ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (‘Whatman” GF/C) เอสเอส มีหน่วยเป็น มก. /ลิตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 103-105 °C
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
4. กระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มม.
5. เครื่องกรองบุคเนอร์ (Buchner funnel)
6. เครื่องดูดอากาศ (Suction pump)
7. กระจกนาฬิกา (Watch glass)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำกระดาษกรอง GF/C ขนาด 47 มม. ไปอบในตู้อบ 103 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นโดยใส่ในตู้ดูดความชื้น 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
2. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก เปิดเครื่องดูดอากาศให้กระดาษกรองติดกับกรวยบุคเนอร์

4. กรองตัวอย่างน้ำที่ผสมกันเข้ากันดีแล้ว แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 ml. เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที
5. เมื่อแห้งแล้วนำกระดาษกรองออกมาวางในภาชนะเดิม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

**การคำนวณ**

$$mg./L\ suspended\ solid = \frac{(A-B)\times 1{,}000}{ml(Sample)} \qquad (17)$$

A = น้ำหนักของกระดาษกรองและสารแขวนลอย (mg)

B = น้ำหนักกระดาษกรอง (mg)

**3. การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) โดยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open reflux method) (APHA, AWWA and WEP.1995)**

ซีโอดี (COD) การวิเคราะห์หาซีโอดีเป็นวิธีวิเคราะห์หาความสกปรกของน้ำเสียต่างๆ โดยเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ของน้ำเสีย เพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลปฏิกิริยาสุดท้าย นอกจากนี้พวกกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน เงื่อนไขสำคัญในการวิเคราะห์ซีโอดี คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันต้องเกิดขึ้นโดยอาศัยออกซิไดซิงเอเจนต์ (Oxidizing Agent) อย่างแรง ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและมีอุณหภูมิสูง หลักการของซีโอดีจะคล้ายกับบีโอดีคือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ เพียงแต่บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดีใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ ซีโอดี และบีโอดีต่างเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ แต่ซีโอดีไม่สามารถจะบอกได้ถึงความยากง่ายในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ เนื่องจากสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์ได้หมดหรือเกือบหมด ไม่ว่าจะสามารถออกซิไดส์ได้ทางชีวภาพหรือไม่ แม้กระนั้นซีโอดีก็มีข้อดีที่ใช้เวลาในการหาเพียง 3 ชม. ในขณะที่การหาบีโอดีใช้เวลาถึง 5 วัน มีตัวแปรผันน้อยกว่า ค่าที่ได้มีความแน่นอนน่าเชื่อถือกว่าและสารมีพิษไม่ขัดขวางการหาซีโอดี ซีโอดีมักมีค่าสูงกว่าบีโอดี อัตราส่วนของค่าซีโอดีและค่าบีโอดีสำหรับน้ำเสียชนิดต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากันเพราะส่วนประกอบของน้ำเสียไม่เหมือนกัน อัตราส่วนระหว่างบีโอดีและซีโอดี (BOD: COD) อาจเป็นไปได้ตั้งแต่ 0.1-0.8 แต่ไม่เกิน 1 บีโอดีอาจมีค่าสูงกว่าซีโอดีได้แต่มีโอกาสน้อยมาก

วิธีวิเคราะห์ซีโอดีโดยใช้ไดโครเมตเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์มี 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method)
2. วิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux Method)

วิธีรีฟลักซ์แบบเปิดเหมาะสำหรับหาค่าซีโอดีในช่วงกว้าง ๆ ต้องการใช้ปริมาณตัวอย่างมาก ส่วนวิธีรีฟลักซ์แบบปิดจะใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าและจะประหยัดสารเคมี แต่ก็เหมาะกับตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน วิธีรีฟลักซ์ยังแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ การไตเตรตและการเทียบสี

**วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method)**

หลักการ

ภายใต้สภาวะการรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟิวริคเข้มข้น ที่มีอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต ที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์ วัดปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมตที่เหลือโดยนำไปไตเตรตกับเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate,FAS) และใช้เฟอโรอีน (Ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโปตัสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้ ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

1. เมื่อรีฟลักซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$

$$CHO + Cr_2O^{-2}_7 + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O + Cr^{+3} + Cr_2O^{-2}_7$$

(เกินพอ) (เหลือง)

2. หาปริมาณ $Cr^{-2}_7$ ที่เหลือโดยการไตเตรตด้วย FAS มีเฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์

$$6\,Fe^{+2} + Cr_2O^{-2}_7 + 14H^+ \rightarrow 6Fe^{+3} + 2\,Cr^{+3} + H_2O$$

(สีเหลือง) (สีน้ำตาลแดง)

$Cr_2O^{-2}_7$ ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ $Fe^{+2}$ (FAS) ได้โครมิค ($Cr^{+3}$) จนหมด แล้ว $Fe^{+2}$ จึงทำปฏิกิริยากับเฟอโรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดงซึ่งแสดงจุดยุติของการไตเตรต

**สิ่งรบกวนการวิเคราะห์**

1. สารอินทรีย์คาร์บอนบางตัว (เช่น พวกกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ) ไม่ถูกออกซิไดส์โดยไดโครเมตทำให้ผลที่ได้น้อยกว่าจริง แก้ไขได้โดยการเติม $Ag_2SO_4$ ให้ $Ag^+$ เป็นตัวคะตะลิส
2. สารรีดิวซิงเอเจ้นต์ที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ที่มีในตัวอย่างน้ำ เช่นคลอไรด์ ไนไตรต์ ($NO^{-2}$) เฟอรัส ($Fe^{+2}$) และซัลไฟด์ ($S^-$) เป็นต้น จะไปรีดิวส์โปตัสเซียมไดโครเมตทำให้ได้ค่าซีโอดีสูงกว่าเป็นจริง

- การแก้ไขคลอไรด์และเฮไลด์อื่น โดยการเติม $HgSO_4$ ลงในตัวอย่างน้ำก่อนเติมน้ำยาเคมีอื่นเพื่อให้ $Hg^{2+}$ ไปรวมกับ $Cl^-$ เกิดเป็น $HgCl_2$ ซึ่งเป็นสารที่แตกตัวเป็นอิออนได้น้อยมาก ดังนั้นจึงมี

อิออนคลอไรด์อยู่ในตัวอย่างน้ำน้อยมากจนไม่สามารถไปรีดิวซ์ไดโครเมตได้ สำหรับปริมาณ $HgSO_4$ ที่จะใช้สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์น้อยกว่า 2000 มก./ล. ให้ใช้ $HgSO_4$ 1 กรัมกับตัวอย่างน้ำ 50 มล. เพื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับคลอไรด์ 100 มก. ถ้าใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่านี้ให้ลดปริมาณ $HgSO_4$ ลงตามความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีในปริมาณตัวอย่างที่ใช้โดยรักษาอัตราส่วนของ $HgSO_4$: $Cl^-$ ให้เท่ากับ 10:1 เช่น ถ้าใช้ตัวอย่าง 10 มล. จะต้องใช้ 0.2 กรัม ($HgSO_4$ 200 มก. : $Cl^-$ 20 มก.)

- ไนไตรต์ทุกๆ 1 มก. N สามารถให้ค่าซีโอดีได้ 1.1 มก. แต่เนื่องจากในน้ำมักมีปริมาณไนไตรต์น้อยมากจนอาจไม่ต้องคำนึง ถ้ามีปริมาณไนไตรต์มากสามารถแก้ไขได้โดยการเติมกรดซัลฟามิค 10 มก. ต่อทุก ๆ มก. ของไนไตรต์ที่มีในตัวอย่างน้ำ

**การเก็บและรักษาตัวอย่าง**

ควรเก็บตัวอย่างน้ำใส่ในขวดแก้วและนำมาวิเคราะห์ทันที แต่ถ้าไม่สามารถจะทำได้ ควรแช่เย็นไว้ก่อนหากไม่สามารถวิเคราะห์ภายใน1วัน ให้เติมกรดซัลฟิวริกจนตัวอย่างน้ำมีพีเอชน้อยกว่า 2

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1. ขวดเออร์แลนเมเยอร์ หรือขวดกลมแบบก้นแบนขนาดความจุ 250-500 มล. ปากขวดเป็นแบบ Ground Glass Joint ขนาด 24/40 (ใช้เป็นขวดรีฟลักซ์)
2. เครื่องควบแน่นหรือคอนเดนเซอร์ ซึ่งมี Jacket ขนาด 300 มล. และต่อได้พอดีกับขวดเออร์เลนเมเยอร์
3. เตาแผ่น ซึ่งสามารถให้ความร้อนได้อย่างน้อย 1.4 วัตต์/ตร.ซม. ที่ผิวหน้าเตา
4. บิวเรต ขนาด 50 มล.

**สารเคมี**

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต (Standard Potassium Dichromate Solution) 0.25 นอร์มัล ละลายโปตัสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103 $^{o}$C เป็นเวลา 2 ชม. หนัก 12.259 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมกรดซัลฟามิค 120 มก. ละลายให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 มล. ในขวดตวง

2. กรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต

ชั่งซิลเวอร์ซัลเฟต 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟิวริคเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

3. สารละลายเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ (Ferroin Indicator Solution)

ละลาย 1,10 –ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต 1.485 กรัม และเฟอรัสซัลเฟต 695 มก. ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มล.

4. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียซัลเฟต 0.05 นอร์มัล

ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 19.6 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริคเข้มข้น 20 มล. แล้วเจือจางเป็น 1000 มล. ด้วยน้ำกลั่น เนื่องจากความเข้มข้นของเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ไม่คงที่และจะลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกวันที่ใช้โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต ดังนี้ ปิเปตสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 5 มล. ใส่ในขวดรูปกรวยเติมน้ำกลั่น 50 มล. แล้วค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริคเข้มข้น 15 มล. ทิ้งให้เย็น ไตเตรตด้วยเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอีนเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีน้ำตาลแดง จดปริมาตร FAS ที่ใช้

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล (N)} = 5.0 \times 0.25 \text{ / มล. FAS ที่ใช้}$$

5. เมอคิวริค ซัลเฟต (Mercuric Sulfate, $HgSO_4$) เป็นผลึกหรือผง

**วิธีวิเคราะห์**

1. เติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ 10 มล. หรือใช้ตัวอย่างน้ำน้อยกว่าแต่เติมน้ำกลั่นให้เป็น 10 มล. ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมเมอคิวริคซัลเฟต 0.2 กรัม ใส่ลูกแก้วขนาดจิ๋ว 5-6 เม็ด แล้วจึงเติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 5 มล. เขย่าให้เข้ากัน

2. นำขวดรีฟลักซ์ในข้อ 1 ไปต่อกับเครื่องรีฟลักซ์ เปิดน้ำหล่อเย็น เติมกรดซัลฟิวริค- ซิลเวอร์ซัลเฟต 15 มล. ลงที่ปากคอนเดนเซอร์ ซึ่งกรดซัลเฟตจะไหลไปยังขวดรีฟลักซ์เอง เปิดไฟแล้วรีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชม. เมื่อครบ 2 ชม. นำขวดรีฟลักซ์ออกและทำให้เย็น

3. ทำแบลงค์พร้องกับตัวอย่างน้ำโดยใช้น้ำกลั่น 10 มล. ใช้สารเคมีต่าง ๆ เหมือนกับของตัวอย่างน้ำทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำทุกประการ

4. เมื่อรีฟลักซ์ครบ 2 ชม. แล้วปิดไฟ ทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงที่ปากเครื่องรีฟลักซ์ 40 มล. เพื่อล้างไอสารภายในคอนเดนเซอร์ แล้วจึงปิดน้ำหล่อเย็น

5. นำขวดรีฟลักซ์มาไตเตรต หาปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมตที่เหลือด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอีน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ ควรใช้ปริมาณอินดิเคเตอร์เท่ากันทุกตัวอย่าง จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงจากเหลืองเป็นฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดง จดปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรต

**การคำนวณ**

ซีโอดี , มิลลิกรัม $O_2$/ ลิตร = (A-B) × N × 8000 / มล.ตัวอย่างที่ใช้ (18)

เมื่อ A = มล.ของ FAS ที่ใช้ไตเตรตแบลงค์

B = มล.ของ FAS ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของ FAS เป็นนอร์มัลลิตี้

**ภาคผนวก ง. แสดงตัวอย่างการคำนวณ**

**ตัวอย่างการคำนวณ**

**1. การคำนวณหาค่าเพอมิเอทฟลักซ์**

จากการทดลองการกรองไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวางที่ความดัน 5 psi อัตราการไหล 1.2ลิตรต่อนาทีและเมมเบรนขนาด 5 ไมครอนที่ความเข้มข้น 3,500 มก. /ล

$$J = \frac{Q}{A\Delta t}$$

เมื่อ J = เพอมิเอทฟลักซ์, $L/m^2.hr$

Q = ปริมาณเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรน, L

A = พื้นที่ผิวของเมมเบรนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล, $m^2$

$\Delta t$ = เวลาที่เก็บเพอมิเอท, hr

ปริมาณของสารป้อนที่สามารถกรองได้ที่เวลา 180 นาที เป็น 73.12 กรัมเทียบเท่ากับ 0.07312 L

เส้นผ่านศูนย์กลางของเมมเบรน(Diameter) = 4.7 cm.

พื้นที่การกรอง $\frac{\pi d^2}{4}$ = 0.001734 $m^2$

เวลาการกรอง 180 นาที = 3 hr

เพอมิเอทฟลักซ์ = 0.07312/ (0.001734X3) = 14.06 $L/m^2.hr$