บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

การวางแผนและการจัดการเพื่อนำน้ำเสียกลับมาใช้

ในการวางแผนและจัดการเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ จะเป็นการรวมขั้นตอนของระบบบำบัดน้ำเสียและการผลิตน้ำสะอาดเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งปัจจัยที่ช่วยกระตุ้นให้มีการวางแผนเพื่อนำน้ำกลับมาใช้อาจเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ หลายประการ เช่น

- ราคาค่าน้ำประปาแพงมาก หรือขาดแคลนแหล่งน้ำจืดที่มีคุณภาพ
- เป็นนโยบายของชุมชนในการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำและให้มีการนำน้ำเสียกลับมาใช้
- สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพสูง สามารถนำกลับมาใช้ได้
- การนำกลับมาใช้เป็นวิธีการที่ประหยัดกว่าการกำจัดน้ำเสีย

การวางแผนการนำน้ำกลับมาใช้ ควรทำการวิเคราะห์ด้านต่างๆ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจลงทุนในโครงการ ประกอบด้วย

1) การประเมินความจำเป็นในการบำบัดน้ำเสีย

2) การประเมินความสามารถในการจ่ายน้ำและความต้องการน้ำ

3) การประเมินผลประโยชน์ที่ได้จากการจ่ายน้ำโดยพิจารณาจากศักยภาพในการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์

4) การวิเคราะห์ด้านการตลาด

5) การวิเคราะห์ทางเลือกทางวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์

6) การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง ฉลองวิทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง

1. ลักษณะของอาคารสูง

ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้ให้คำจำกัดความของอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษไว้ดังนี้

อาคารสูง หมายถึง อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.00 เมตรขึ้นไป โดยความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หมายถึง อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัย หรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป

จากรายงานการศึกษาการขออนุญาตปลูกสร้างอาคารของฝ่ายวิชาการ กองผังเมือง สำนักปลัดกรุงเทพมหานคร (2534) ได้กำหนดให้มีการแบ่งกลุ่มของอาคารตามประเภทการใช้งานและความสูงของอาคารดังนี้

1.1 การแบ่งกลุ่มอาคารตามประเภทการใช้งานของอาคาร ปัจจุบันประเภทการใช้งานของอาคารที่มีการขออนุญาตปลูกสร้าง ได้แก่อาคารพักอาศัย อาคารพาณิชย์ อาคารพาณิชย์-พักอาศัย อุตสาหกรรม คลังสินค้า แต่ประเภทของอาคารที่ได้รับอนุญาตให้ปลูกสร้างมากที่สุดได้แก่ อาคารประเภทพักอาศัย ซึ่งได้รับอนุญาตจำนวน 220,967 หน่วย อันดับที่ 2 ได้แก่ อาคารประเภทพาณิชย์-พักอาศัย ได้รับอนุญาตทั้งสิ้น 65,246 หน่วย อันดับที่ 3 ได้แก่ อาคารประเภทพาณิชยกรรม ได้รับอนุญาตทั้งสิ้น 2,698 หน่วย

1.2 การแบ่งกลุ่มอาคารตามความสูงของอาคาร ความสูงของอาคารที่ได้รับอนุญาตให้ปลูกสร้างมีตั้งแต่ 1 - 83 ชั้น โดยทั่วไปแล้วเมื่อพิจารณาความสูงของอาคาร จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1.2.1 อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 1 - 5 ชั้น จัดเป็นกลุ่มอาคารประเภท Low-rise ซึ่งได้ รับอนุญาตให้ปลูกสร้างเป็นจำนวนทั้งสิ้น 52,915 หน่วย โดยส่วนใหญ่เป็นอาคารที่พักอาศัย;/ ประมาณ 59.49%

1.2.2 อาคารที่มีความสูงมากกว่า 5 ชั้น หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 6 ชั้นขึ้นไป จัดเป็นกลุ่มประเภทอาคารสูง (Mid-rise or High-rise) ซึ่งได้รับอนุญาตให้ปลูกสร้างเป็นจำนวนทั้งสิ้น 2,220 หน่วย

2. <u>แนวทางการใช้ประโยชน์จากการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์</u>

น้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่ผ่านการบำบัดแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้หลายทาง ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งสรุปเป็นแนวทางของการนำกลับมาใช้ประโยชน์ ได้ดังนี้

2.1 การใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภค ได้แก่ การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและสัมผัสกับชีวิตประจำวันของมนุษย์โดยตรงที่ไม่ใช่เพื่อการบริโภค เช่น การนำมาใช้ใน

- งานภูมิสถาปัตย์ เช่น ใช้เป็นน้ำรดต้นไม้ในสวนสาธารณะ สวนที่ตกแต่งบริเวณรอบอาคารหรือที่พักอาศัย สนามหญ้า สนามกอล์ฟ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทำเป็นน้ำพุ น้ำตก หรือสระน้ำประดับอาคาร เป็นต้น
- ระบบชักโครก
- ระบบดับเพลิง
- การทำความสะอาดพื้น หรือล้างรถ
- ระบบน้ำชดเชยสำหรับระบบปรับอากาศของอาคาร

2.2 การใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภค เช่น

- ใช้ผสมกับน้ำประปาโดยตรง
- ใช้ผสมในแหล่งน้ำดิบเพื่อกิจการประปา

2.3 การใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ การนำมาใช้ใน

- น้ำชดเชยของระบบหล่อเย็น
- น้ำเลี้ยงสำหรับหม้อไอน้ำ
- กระบวนการผลิต
- การทำความสะอาด หรือชะล้าง

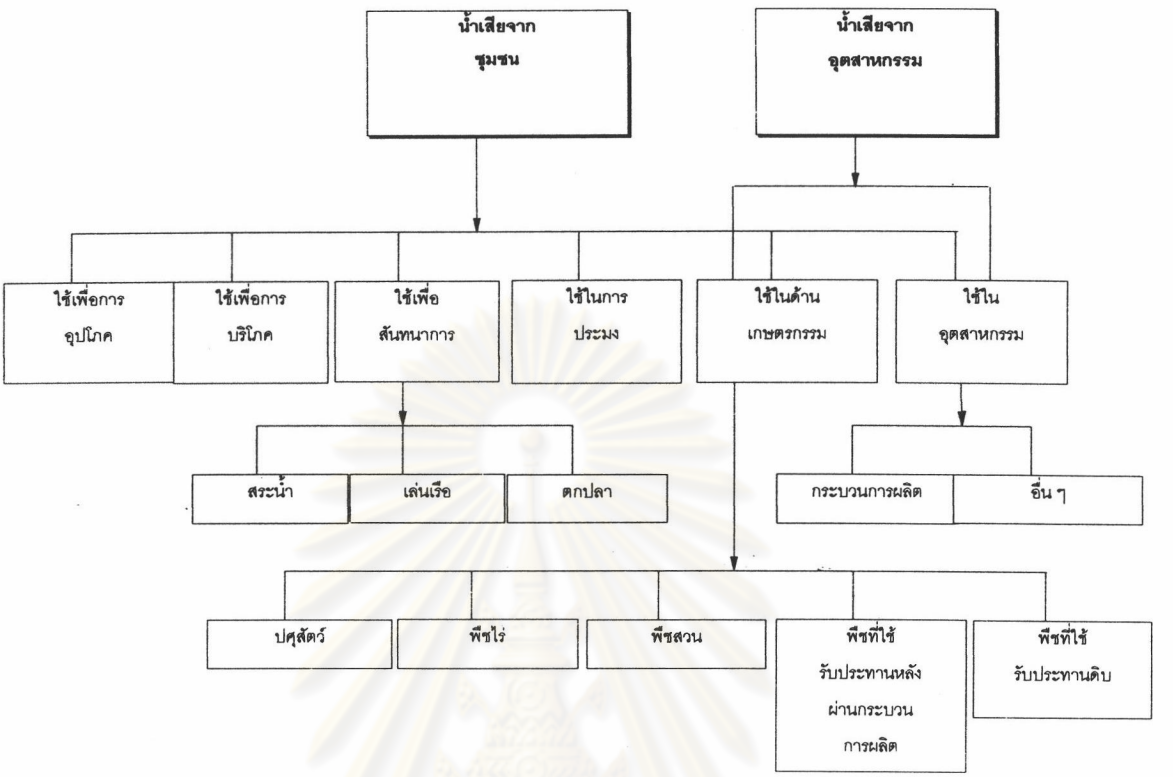
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม ได้แก่ การนำมาใช้ในระบบชลประทานเพื่อการเพาะปลูกเช่น การเพาะปลูกพืชแบบสวนครัว หรือแบบเศรษฐกิจ

2.5 การใช้ประโยชน์ทางสันทนาการ เช่น
- ใช้เติมลงในทะเลสาปเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำ
- ใช้ในการเพิ่มปริมาณการไหลของน้ำใน แม่น้ำ
- ใช้ในการประมง

2.6 การใช้สำหรับเติมน้ำบาดาล ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ
- ช่วยชะลอการลดลงของระดับน้ำใต้ดิน
- ป้องกันการแทรกตัวของน้ำเค็มในชั้นหินอุ้มน้ำ
- ควบคุมการทรุดตัวของดิน
- เป็นแหล่งช่วยเก็บกักน้ำไว้ใช้ในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 การนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ

ที่มา : Shuval (1977)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันภายในอาคารสูงที่ผ่านการบำบัดขั้นสูงและการฆ่าเชื้อโรคเรียบร้อยแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในรูปแบบของน้ำที่ใช้เพื่อการอุปโภคได้หลายทาง เช่น

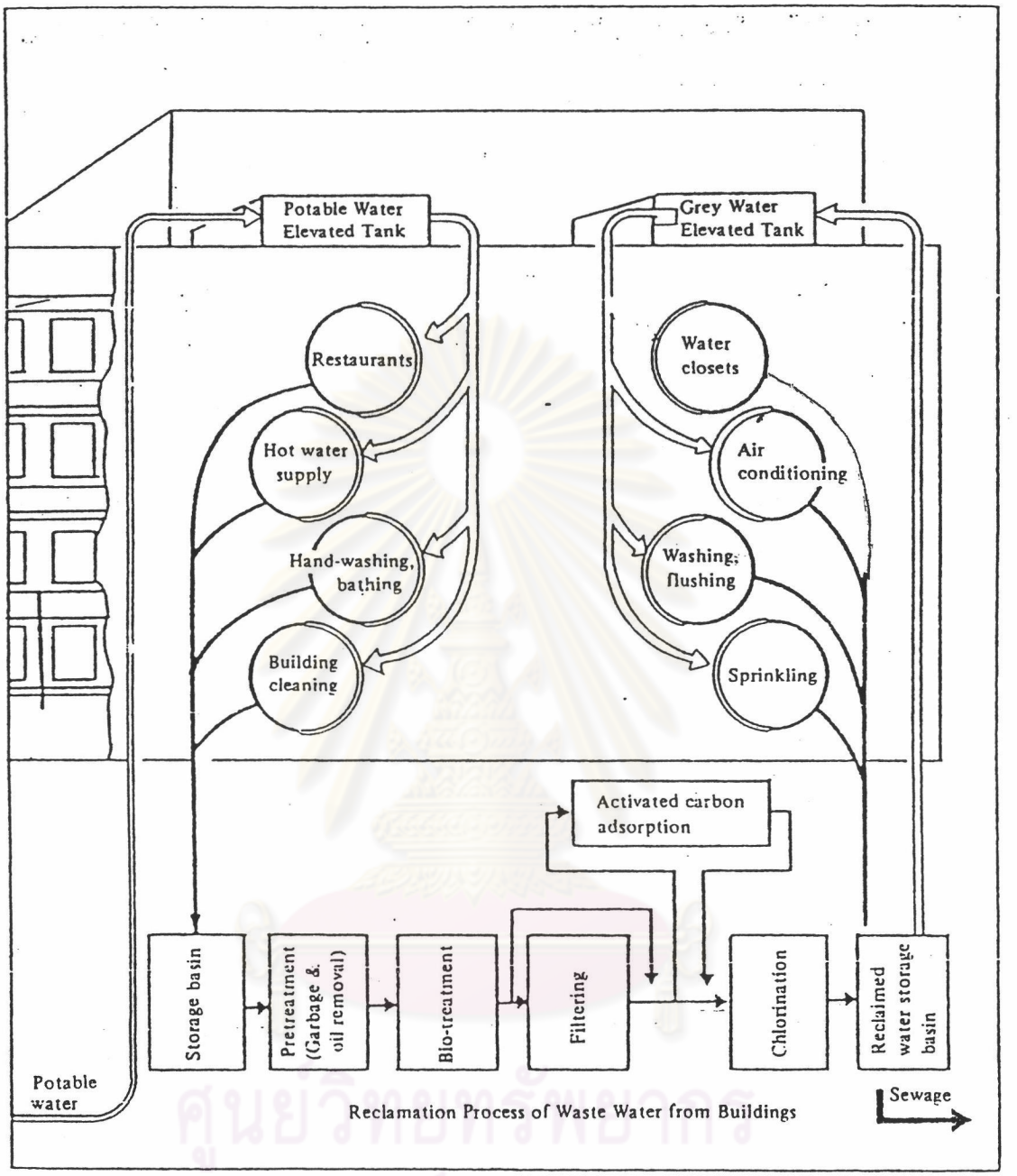
- การใช้เป็นน้ำชดเชยในระบบทำความเย็น
- การใช้เป็นน้ำดับเพลิงในระบบป้องกันอัคคีภัย
- การใช้เป็นน้ำเพื่อการชักโครก
- การใช้เป็นน้ำทำความสะอาดพื้น หรือล้างรถ
- การใช้เพื่อรดน้ำต้นไม้

รูปที่ 2.2 เป็นตัวอย่างของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในอาคารของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นประเทศหนึ่งที่ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ เนื่องจากภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นเกาะ มีพื้นที่น้อย ขาดแคลนแหล่งน้ำจืดสำหรับผลิตน้ำประปา และมีจำนวนประชากรมาก จึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะนำน้ำเสียจากการชักล้างต่าง ๆ มาผ่านการบำบัดและฆ่าเชื้อโรค แล้วจึงแจกจ่ายสู่ผู้บริโภคเพื่อนำกลับมาใช้ในห้องส้วม ระบบปรับอากาศ หรือรดน้ำต้นไม้

การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่จะแจกจ่ายไปสู่ผู้บริโภคโดยใช้ระบบสองท่อ (Dual System) ท่อหนึ่งจะเป็นท่อน้ำประปา ส่วนอีกท่อหนึ่งเป็นท่อของน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งจะเดินขนานไปกับท่อประปา ข้อดีของการใช้ระบบสองท่อก็คือ เป็นการป้องกันมิให้เกิดการปนเปื้อนระหว่างน้ำเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่กับน้ำประปาที่ใช้เพื่อการบริโภคซึ่งอาจเกิดขึ้นตามจุดตัดหรือรอยต่อของท่อ

ระบบของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ภายในอาคาร จะเหมือนกับระบบน้ำประปาทั่วไป คือประกอบด้วยระบบบำบัดน้ำขั้นสูง ถังพักน้ำ และระบบจ่ายน้ำอันได้แก่ระบบท่อและเครื่องสูบน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการนำน้ำเสียกลับมาใช้ในอาคารสูงในประเทศญี่ปุ่น

ที่มา : ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2536)

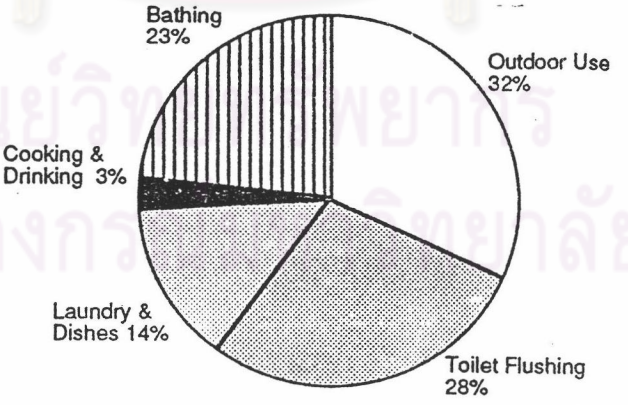
3. ปริมาณน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร

Sanders และ Thurow อ้างถึงใน U.S.Environmental Protection Agency [U.S.EPA] (1992) ได้กล่าวถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) กิจกรรมภายในอาคาร ได้แก่ กิจกรรมที่มีความต้องการใช้น้ำภายในที่พักอาศัยหรือในอาคาร เช่น การใช้น้ำเพื่อการประกอบอาหาร การซักล้าง การชำระร่างกาย การดื่มกิน หรือการใช้น้ำสำหรับการชักโครก กิจกรรมเหล่านี้มีความต้องการใช้น้ำทั้งสิ้น 68 % ของความต้องการใช้น้ำทั้งหมดสำหรับที่พักอาศัย

2) กิจกรรมภายนอกอาคาร ได้แก่ กิจกรรมที่มีความต้องการใช้น้ำภายนอกอาคาร หรือที่พักอาศัย เช่น การใช้น้ำเพื่องานทางด้านภูมิสถาปัตย์ หรือการจัดทำสวนตกแต่ง ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมภายนอกอาคารคิดเป็น 32 % ของการใช้น้ำทั้งหมดสำหรับที่พักอาศัย

กิจกรรมทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแยกพิจารณาเป็นความต้องการน้ำโดยเฉลี่ยตามลักษณะของกิจกรรมต่าง ๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าความต้องการน้ำเพื่อการบริโภค ได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการประกอบอาหาร ดื่มกิน ซักล้าง และชำระร่างกาย คิดเป็น 40 % ของความต้องการใช้น้ำโดยเฉลี่ย ส่วนที่เหลืออีก 60 % จะเป็นความต้องการน้ำที่สามารถนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยสามารถนำมาใช้สำหรับชักโครกและรดน้ำต้นไม้



รูปที่ 2.3 สัดส่วนการใช้น้ำโดยเฉลี่ยสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ในที่พักอาศัย

ที่มา : Sanders และ Thurow อ้างถึงใน U.S.EPA (1992)

จากรายงานการศึกษาของ Grisham และ Fleming (1989) อ้างถึงใน U.S.EPA (1992) สรุปว่าปริมาณความต้องการน้ำสำหรับการชักโครกภายในที่พักอาศัย คิดเป็น 45 % ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในที่พักอาศัย

Young และ Holliman (1990) อ้างถึงใน U.S.EPA (1992) ได้กล่าวถึงการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำของอาคารสูงประเภทอาคารพาณิชย์ของ Irvine Ranch Water District ในปี 1987 ไว้ว่าในอาคารสำนักงานมีการใช้น้ำเพื่อการชักโครกประมาณ 70 - 80 % ของการใช้น้ำทั้งหมด

4. <u>คุณภาพของน้ำที่นำกลับมาใช้</u>

คุณภาพของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ ซึ่งการกำหนดคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ยังคงเป็นหัวข้อที่กำลังถกเถียงกันอยู่มากในปัจจุบันว่าควรจะใช้มาตรฐานเดียวกับมาตรฐานน้ำดื่มที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในขณะนี้หรือไม่ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่ามาตรฐานน้ำดื่มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับน้ำประปาที่ผลิตจากน้ำจืดที่ปราศจากมลพิษจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งจะไม่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร ดังนั้นจึงควรมีการกำหนดมาตรฐานใหม่ขึ้นโดยเฉพาะ

ในสหรัฐอเมริกามีการนำน้ำเสียกลับมาใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่ก็ยังไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานที่แน่นอนตายตัวสำหรับน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ ส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานที่ทางมลรัฐเป็นผู้กำหนดขึ้นเอง แต่ U.S.EPA ได้เสนอแนะมาตรฐานที่สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษยโดยตรง ได้แก่ กิจกรรมทางด้านภูมิสถาปัตย์ การทำความสะอาดพื้นหรือล้างยานพาหนะ การชักโครก ใช้ในระบบป้องกันอัคคีภัย และใช้ในระบบปรับอากาศ โดยจะกำหนดเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ใช้ไว้ดังในตารางที่ 2.1

สำหรับประเทศญี่ปุ่น ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำเสียที่จะนำกลับมาใช้สำหรับชักโครก และใช้เป็นน้ำชดเชยในระบบปรับอากาศไว้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ใหม่โดย U.S.EPA

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด	การตรวจสอบ
พีเอช	6 - 9	1 ครั้ง / สัปดาห์
บีโอดี	< 10 มก./ล.	1 ครั้ง / สัปดาห์
ความขุ่น	≤ 2 เอ็นทียู	ต่อเนื่อง
ของแข็งแขวนลอย	< 5 มก./ล.	-
โคลิฟอร์มทั้งหมด	N.D / 100 มล.	ทุกวัน
คลอรีนคงเหลือ	1 มก./ล.	ต่อเนื่อง

หมายเหตุ : N.D = not detectable (ตรวจไม่พบ)

ที่มา : U.S.EPA (1992)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ของประเทศญี่ปุ่น

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่กำหนด	
		สำหรับใช้ชักโครก	สำหรับเป็นน้ำชดเชย
พีเอช	-	5.8 - 9.0	5.8 - 9.0
ความขุ่น	เอ็นทียู	≤ 5	≤ 10
สี	หน่วย	≤ 10	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	≤ 5	≤ 10
ของแข็งละลายน้ำ	มก./ล.	-	-
บีโอดี	มก./ล.	≤ 10	≤ 10
ซีโอดี	มก./ล.	≤ 40	≤ 20
อัลคิลเบนซิลซัลฟอร์เนต (ABS)	มก./ล.	≤ 1	≤ 1
ความกระด้างทั้งหมด	มก./ล.	≤ 200	≤ 300
ไนโตรเจนทั้งหมด	มก./ล.	-	-
ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย	มก./ล.	≤ 20	≤ 20
ฟอสเฟต	มก./ล.	≤ 1	-
โคลิฟอร์มทั้งหมด	จำนวนโคโลนี/มล.	Not detectable	-
คลอรีนคงเหลือ	มก./ล.	-	-

หมายเหตุ : (-) หมายถึง ไม่ระบุค่า

ที่มา : Sanki Engineering Co.,Ltd (n.d.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะคล้ายกับกระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำสะอาดและการบำบัดน้ำเสีย การเลือกวิธีการบำบัดจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำเสียที่จะเข้าระบบและจุดมุ่งหมายของการนำกลับมาใช้ วิธีการบำบัดที่เลือกใช้นั้นจะต้องสามารถบำบัดน้ำออกให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับและสามารถนำกลับมาใช้ได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ กระบวนการที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมีอยู่หลายกระบวนการซึ่งแต่ละวิธีจะผลิตน้ำได้คุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.4

จากการศึกษาของ Asano และคณะ (1981) พบว่า ขั้นตอนการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะประกอบด้วย ตะแกรงดักขยะ การปรับสภาพน้ำ การบำบัดทางชีวภาพ การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค หรืออาจมีการเพิ่มขั้นตอน กระบวนการโคแอกกูเลชัน - ฟล็อกคูเลชัน ก่อนเข้าเครื่องกรอง รูปที่ 2.5 จะแสดงรูปแบบของระบบบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคารที่ใช้กันในประเทศญี่ปุ่น โดยรูปแบบที่เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ รูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นการนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มาผ่านการกรองโดยตรงและการฆ่าเชื้อโรคก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่

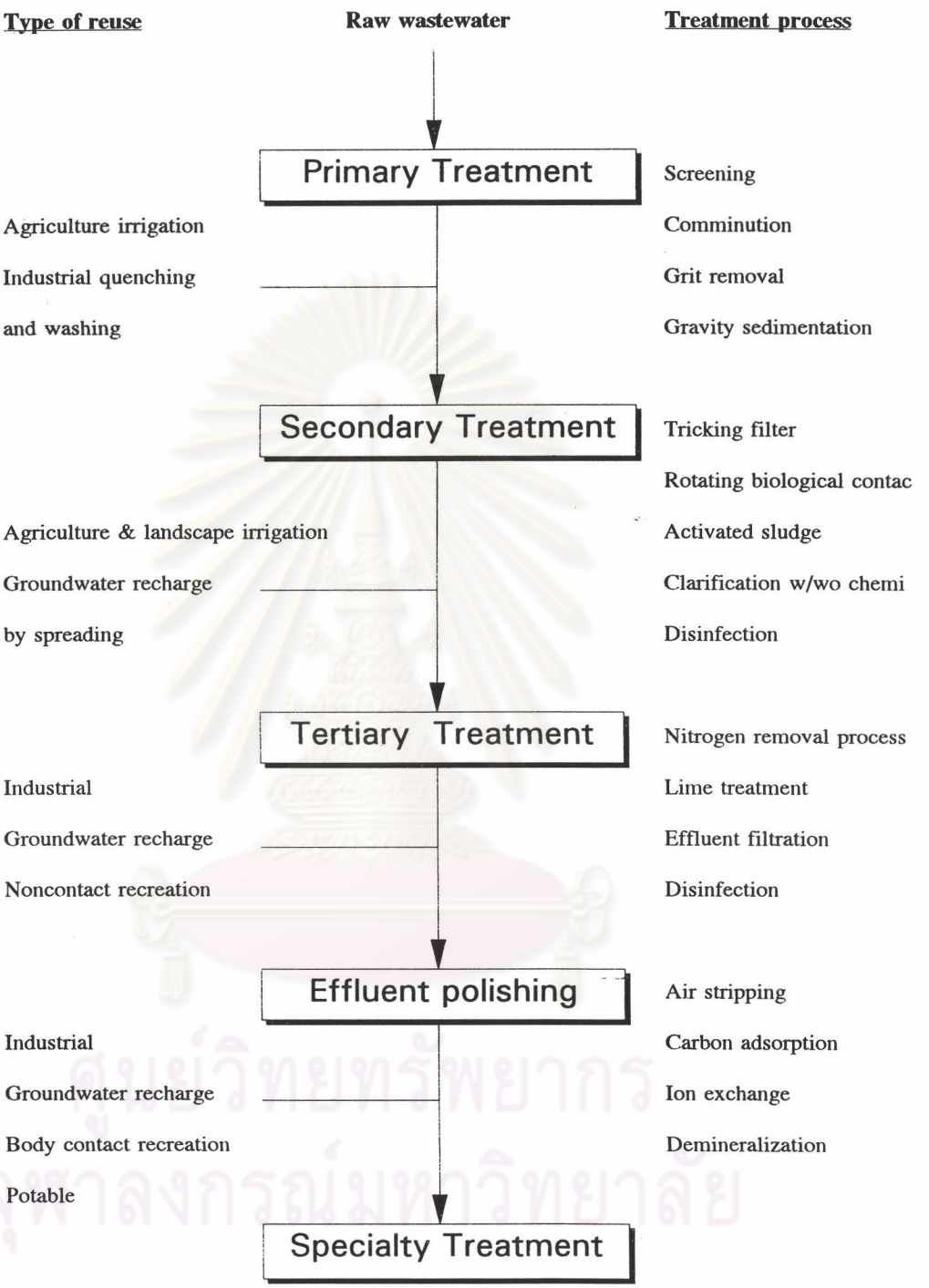
จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าการแยกอนุภาคของสารออกจากน้ำ จะใช้วิธีการกรองแบบต่าง ๆ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการบำบัดน้ำก่อนถึงขั้นตอนของการฆ่าเชื้อโรค เพื่อให้น้ำมีคุณภาพสูงขึ้น หลักการของการกรองคือ การปล่อยน้ำเสียที่ต้องการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ให้ไหลผ่านชั้นของตัวกลาง และเมื่อเกิดการอุดตันขึ้นจะต้องทำการล้างย้อนเพื่อทำความสะอาดตัวกลาง

รูปที่ 2.6 จะแสดงถึงวิธีการกรองแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันออกจากน้ำ

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการกรองเพื่อใช้กำจัดอนุภาคของสารออกจากน้ำ 3 วิธี คือ

1. กระบวนการกรองตรง
2. กระบวนการดูดติดผิว
3. กระบวนการเยื่อกรอง

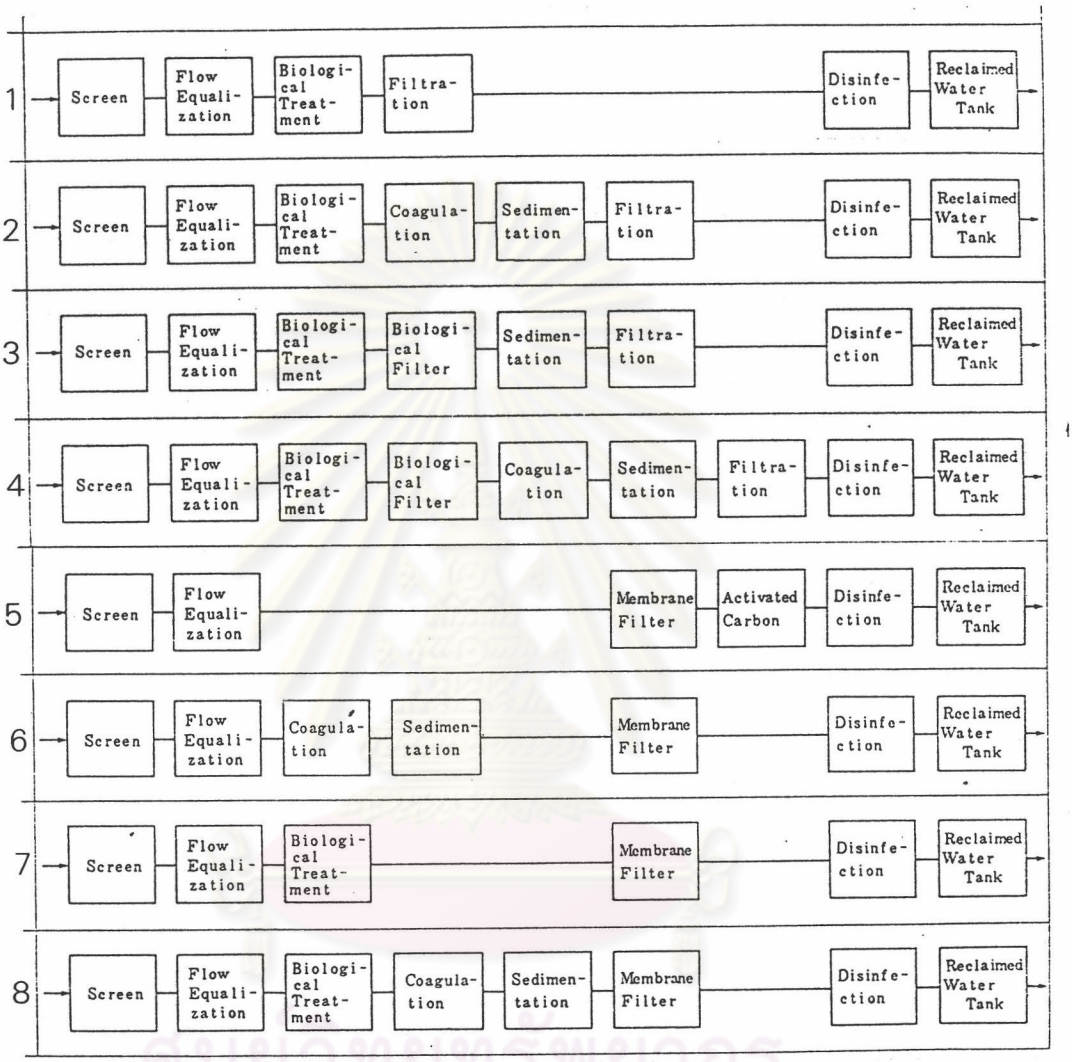
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 ระดับขั้นของการบำบัดสำหรับการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ

ที่มา : Montgomery (1985)

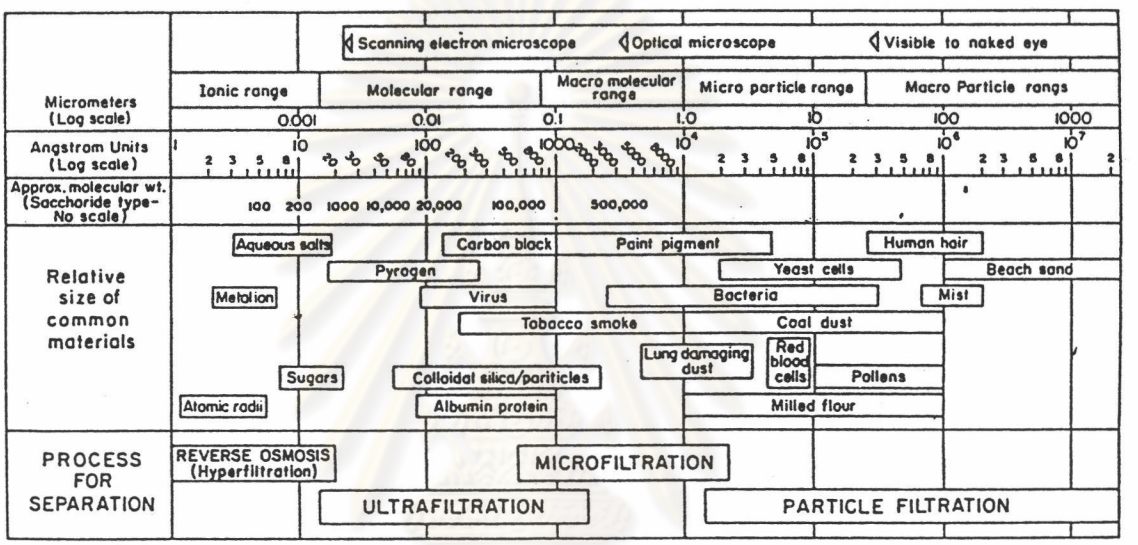
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.5 รูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร

ที่มา : Asano และคณะ (1986)



รูปที่ 2.6 วิธีการกรองแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการแยกอนุภาคของสาร

ที่มา : Vigneswaren และ Ben Aim (1991)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. กระบวนการกรองตรง (Direct Filtration)

การกรองโดยตรงเป็นกระบวนการกรองวิธีหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ออกจากน้ำเพื่อให้น้ำที่จะนำไปใช้มีคุณภาพดีขึ้น โดยทั่วไปจะใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนถึงการฆ่าเชื้อโรค

การบำบัดน้ำโดยการกรองตรง อาจมีการบำบัดน้ำโดยการเติมสารเคมีก่อนเข้าเครื่องกรองหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำที่จะเข้าเครื่องกรอง ถ้าน้ำเข้ามีคุณภาพไม่แปรปรวนและมีความขุ่นไม่สูงมากเกินไป อาจไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรองก็ได้

Metcalf และ Eddy (1991) กล่าวไว้ว่า น้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 7 - 9 เอ็นทียู หรือมีของแข็งแขวนลอยประมาณ 16 - 23 มก./ล. สามารถใช้วิธีกรองตรงแบบไม่เติมสารเคมีได้ น้ำออกที่ผลิตได้จะมีความขุ่นไม่เกิน 2 เอ็นทียู แต่ถ้าน้ำดิบมีความขุ่นมากกว่า 7 - 9 เอ็นทียู ควรเติมสารเคมีให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง

1.1 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบกรองตรง

1.1.1 คุณภาพน้ำดิบ

ลักษณะสมบัติของน้ำดิบที่เข้าเครื่องกรอง เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดชนิดของชั้นกรอง

Culp (1977) แนะนำว่าน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงถึง 200 เอ็นทียู แต่มีค่าความเข้มสีต่ำจะสามารถใช้วิธีกรองตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าน้ำดิบมีค่าความเข้มสีถึง 25 หน่วย ความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับการกรองตรงไม่ควรเกิน 25 เอ็นทียู

Schulz และ Okun (1984) แนะนำว่าวิธีกรองตรงจะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อความขุ่นและสีในน้ำดิบมีค่าต่ำกว่า 25 หน่วย

1.1.2 สารกรอง

การเลือกสารกรองเป็นขั้นตอนแรกที่ควรทำในการออกแบบ ประกอบด้วยการกำหนดขนาดและความหนาของสารกรอง เพื่อให้สามารถผลิตน้ำได้ตามคุณภาพที่ต้องการ มีระยะเวลาการกรองนาน สามารถกรองน้ำได้ในอัตราสูง เกิดการสูญเสียเฮดน้อย และทำความสะอาดได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้น้ำหรืออากาศมากนัก

Vigneswaren, Tam และคณะ (1983) กล่าวว่า ชนิดของสารกรองที่นิยมใช้กันมากในการกรองน้ำ ได้แก่

- ทราย (Silica Sand) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.65
- ถ่านแอนทราไซท์ (Anthracite Coal) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.35 - 1.75
- ทรายกาเน็ท (Garnet Sand) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 4 - 4.2

การเลือกชนิดของสารกรองจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะสมบัติของน้ำเข้าและคุณภาพของน้ำออกที่ต้องการ การเลือกใช้สารกรองที่มีขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการกรองสูงและมีรูพรุนเล็ก ทำให้กรองน้ำได้ดี การกรองแบบธรรมดามักจะใช้ทรายที่มีขนาดสัมฤทธิ์ 0.6 มิลลิเมตร และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอประมาณ 1.5 - 2.0 แต่การเลือกใช้สารกรองดังกล่าวมีข้อเสียคือ ภายหลังจากการล้างย้อนเม็ดทรายจะเรียงตัวจากละเอียดไปหยาบ ซึ่งทำให้เกิดการอุดตันเร็ว ปัญหาที่เกิดจากการเรียงตัวของเม็ดทรายในลักษณะดังกล่าว สามารถแก้ไขได้โดยการใช้เครื่องกรองแบบสองชั้นกรอง (Dual Media Filter) หรือเครื่องกรองแบบหลายชั้นกรอง (Multi-media Filter) หรือเครื่องกรองแบบชั้นกรองเดียวที่ใช้สารกรองขนาดใหญ่ (Coarse Media Filter)

เครื่องกรองที่เหมาะสมสำหรับใช้กรองน้ำเสีย ควรจะเป็นเครื่องกรองแบบชั้นกรองเดียวที่ใช้ทรายหรือถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ส่วนเครื่องกรองแบบสองชั้นกรองก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นเดียวกัน แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการสะสมของสลัดจ์ที่รอยต่อระหว่างผิวหน้าของชั้นทรายและชั้นถ่านซึ่งทำความสะอาดค่อนข้างยาก ต้องใช้ลมช่วยเป่าเพื่อทำความสะอาดชั้นกรอง

Kawamura (1991) ได้แนะนำสมบัติของทรายและแอนทราไซท์ที่จะนำมาใช้สำหรับเครื่องกรองแบบสองชั้นกรอง โดยทรายควรมีขนาดสัมฤทธิ์อยู่ในช่วง 0.45-0.65 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.4 - 1.7 ความลึกของชั้นทรายประมาณ 30 เซนติเมตร ส่วนแอนทราไซท์ควรมีขนาดสัมฤทธิ์อยู่ในช่วง 0.9 -1.4 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.4 -1.7 ความลึกของชั้นแอนทราไซท์ประมาณ 45 เซนติเมตร

ตารางที่ 2.3 จะสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบระบบกรองที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบกรองระดับห้องปฏิบัติการ

ลำดับที่	สารกรอง	ขนาดสัมฤทธิ์ (มม.)	สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ	ความหนาของชั้นกรอง	อัตราเร็วในการกรอง ลบ.ม./ตร.ม.-ชั่วโมง	อ้างอิง
1	ทราย	0.5		24 นิ้ว (60.8 ซม.)	15	Hudson (1963)
2	ทราย	0.40 - 0.55	1.35 - 1.75	24 นิ้ว (60.8 ซม.)	5 - 7.5	Segal and Okun (1966)
3	ทราย	0.51	1.4	30 นิ้ว (76.0 ซม.)	5	Gosh (1967)
4	ทราย	0.46 - 0.92		24 นิ้ว (60.8 ซม.)	7.5	Oeben และคณะ (1968)
5	ทราย	0.65 และ 0.77		61 ซม. (รวมทั้งหมด)	5 - 7	Rimber (1968)
6	ทราย	0.46	1.44	24 นิ้ว (60.8 ซม.)	5	Wei และคณะ (1969)
7	ทราย	0.35 - 0.65	1.2 - 1.6	24 นิ้ว (60.8 ซม.)	7.5	Deb (1969)
8	แอนทราไซท์	1.4	1.33	24 นิ้ว (60.8 ซม.)	12.5	Conley และ Hsiung (1969)
	ทราย	0.78	1.3	9 นิ้ว (22.5 ซม.)		
	กาเน็ท	0.37	1.501	3 นิ้ว (7.5 ซม.)		
9	แอนทราไซท์	0.9 - 2.0		20 นิ้ว (50.7 ซม.)	12	Hutchison และ Foley (1974)
	ทราย	1.2 - 1.6		12 นิ้ว (50.7 ซม.)		
10	ทรายหยาบ	1.21	1.17	150 ซม.	5	Adin และ Rebhun (1974)

ที่มา : Vigneswaren, Tam และคณะ (1983)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1.3 อัตราการกรอง

อัตราการกรองไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ แต่จะมีผลต่อระยะเวลาของการกรองและปริมาณการผลิตน้ำ

จากการศึกษาของ Dawda และ Davidson (1978) สรุปว่า อัตราการกรองในช่วง 5 -15 เมตรต่อชั่วโมง ไม่มีผลต่อการกำจัดสารแขวนลอย แต่มีผลต่อระยะเวลาการกรอง กล่าวคือ เมื่ออัตราการกรองสูงขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการกรองจะลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียเฮดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ในขณะเดียวกันก็จะผลิตน้ำได้ปริมาณสูง

การเลือกใช้อัตราการกรองสูงจะช่วยลดพื้นที่สำหรับการกรองซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายดำเนินงาน แต่ต้องมีการล้างย้อนถี่ขึ้นเนื่องจากมีการสูญเสียเฮดอย่างรวดเร็ว

Kawamura (1991) กล่าวว่า การกรองโดยตรงแบบสองชั้นกรองสามารถเลือกใช้อัตราการกรองสูง ในช่วง 10 - 25 เมตรต่อชั่วโมงได้

Vigneswaren, Tam และคณะ (1983) กล่าวว่า การเลือกใช้อัตราการกรองในช่วง 15 - 20 เมตรต่อชั่วโมง สามารถใช้ได้กับเครื่องกรองแบบสองชั้นกรองหรือหลายชั้นกรอง

1.1.4 การล้างย้อน

ในขณะที่ทำการกรองน้ำจะเกิดการสูญเสียเฮดขึ้นในชั้นกรอง เนื่องจากเกิดการอุดตันของสารแขวนลอยในชั้นกรอง เมื่อการสูญเสียเฮดเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดที่กำหนดไว้ หรือคุณภาพของน้ำที่กรองได้สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ต้องมีการล้างย้อนเพื่อทำความสะอาดชั้นกรอง แต่ในบางครั้งอาจกำหนดเป็นช่วงเวลาของการล้างย้อนโดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการสูญเสียเฮดหรือคุณภาพน้ำ เช่นกำหนดให้มีการล้างย้อนทุก 24 ชั่วโมง เป็นต้น

Kawamura (1991) แนะนำอัตราการล้างย้อนสำหรับเครื่องกรองแบบสองชั้นกรองไว้ว่าควรอยู่ในช่วง 0.74 - 0.9 เมตรต่อนาที

Vigneswaren, Tam และคณะ (1983) แนะนำการเลือกวิธีการล้างย้อนไว้ว่า การใช้อัตราการล้างย้อนสูง ควรใช้กับเครื่องกรองแบบชั้นกรองเดียวหรือหลายชั้นกรอง โดยอัตราการล้างย้อนที่ใช้ควรมากกว่า 37.5 เมตรต่อชั่วโมง และควรให้ชั้นกรองมีการขยายตัว 80-100% เวลาที่ใช้ในการล้างย้อนประมาณ 3-6 นาที

1.2 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการกรองตรง

1.2.1 ข้อดี

1.2.1.1 ในกรณีที่น้ำดิบมีคุณภาพดี คือ มีความขุ่นต่ำกว่า 25 เอ็นทียู การกรองตรงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยดี และประหยัด

1.2.1.2 ประหยัดเงินลงทุนในการก่อสร้างถังกวนเร็ว ถังกวนช้า และถังตกตะกอน

1.2.1.3 ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเนื่องจากอุปกรณ์เครื่องจักรมีน้อย

1.2.1.4 ดำเนินงานและดูแลรักษาง่าย

1.2.2 ข้อเสีย

1.2.2.1 อายุของการกรองสั้น เนื่องจากเกิดการตกค้างของอนุภาคต่าง ๆ ในชั้นกรอง ทำให้มีการล้างย้อนบ่อยครั้งขึ้น และใช้ปริมาณน้ำล้างย้อนมาก

1.2.2.2 ถ้าน้ำดิบมีความเข้มข้นของโคลิฟอร์มสูง น้ำที่ผ่านการกรองอาจมีโคลิฟอร์มหลุดปนออกไปด้วย

2. กระบวนการดูดติดผิว (Adsorption)

กระบวนการดูดติดผิว (Adsorption) หมายถึงการเกาะติดของโมเลกุลหรือคอลลอยด์บนพื้นผิวของของแข็ง สามารถกำจัดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ได้ โดยโมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ในโพรงของสารดูดติดผิว สารที่สามารถดูดซับโมเลกุลของสารต่าง ๆ ได้มี 3 ประเภท คือ

1) สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียว แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

2) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ เรซิน เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นสารดูดติดผิวที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการบำบัดน้ำเพื่อใช้ในการบริโภค สำหรับในการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่นั้นถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในน้ำหลังจากผ่านขั้นตอนการบำบัดอื่น ๆ มาแล้ว โดยสารอินทรีย์เหล่านี้มักเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบผง (Powder Activated Carbon) และแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon) โดยแบบเกร็ดจะเป็นชนิดที่นิยมใช้มากกว่า เนื่องจากสามารถนำไปฟื้นอำนาจการดูดติดผิวและนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ถ้าขีดความสามารถในการดูดติดผิวของคาร์บอนเสื่อมลง

ในปัจจุบันได้มีการนำถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดมาใช้ในเครื่องกรอง เพื่อใช้ทำหน้าที่ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเหมือนเครื่องกรองธรรมดาทั่วไป ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของทรายกรองน้ำ มีลักษณะแข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย ความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.35 - 1.37 ถ่านกัมมันต์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นมาให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดเพื่อให้มีความสามารถในการดูดติดผิวสูง โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500 - 1,400 ตารางเมตรต่อกรัม (Cheremisinoff และ Morresi, 1978) ภายในเนื้อของถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนที่มีขนาดตั้งแต่ 20 - 20,000 อังสตรอม (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2527)

วงจรการทำงานของกระบวนการดูดติดผิวจะคล้ายกับการกรองแบบธรรมดา คือมีการกรองน้ำและการล้างย้อน แต่ถ้าอำนาจในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ลดลง สามารถนำไปฟื้นอำนาจการดูดติดผิวได้โดยการใช้ความร้อนสูงที่เรียกว่า Regeneration แต่สำหรับในประเทศไทยยังไม่สามารถทำการฟื้นอำนาจการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ได้ ดังนั้นจึงใช้วิธีการเปลี่ยนเอาถ่านกัมมันต์ใหม่ทดแทนถ่านกัมมันต์ที่หมดสภาพการดูดติดผิว

ชั้นกรองถ่านกัมมันต์นอกจากจะทำหน้าที่ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยแล้ว ยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากในน้ำ เช่น สารอินทรีย์สังเคราะห์ ยาฆ่าแมลง สีและกลิ่น เป็นต้น แต่การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารกรองมีข้อเสียคืออนุภาคความขุ่นหรือของแข็งแขวนลอยจะเข้าไปอุดตันในโพรงของถ่านกัมมันต์ ทำให้อำนาจในการดูดติดผิวลดลง

2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบดูดติดผิว

2.1.1 ความปั่นป่วน

ในขณะที่มีการกรองน้ำจะเกิดชั้นฟิล์มน้ำล้อมรอบสารกรอง ซึ่งเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่เข้าไปหาถ่านกัมมันต์ของโมเลกุลหรืออนุภาคของสาร ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำจะทำให้ชั้นฟิล์มหนาขึ้น ส่งผลให้อัตราเร็วในการดูดติดผิวลดลง แต่ไม่มีผลกระทบต่ออำนาจในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

2.1.2 พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดของถ่านกัมมันต์

อัตราการดูดติดผิวจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของถ่านกัมมันต์ นั่นคือถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการดูดติดผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ เนื่องจากมีพื้นที่สำหรับการดูดติดผิวมากกว่า ทำให้มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลดีกว่า

ขนาดของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่จะนำมาใช้เป็นสารกรอง ควรมีขนาดสัมฤทธิ์อยู่ในช่วง 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมออยู่ในช่วง 1.5 - 2.5

2.1.3 เวลาสัมผัส

หมายถึงเวลาสัมผัสในถังเปล่า (Empty Bed Contact Time , EBCT) หรือเวลากักในถังเปล่า (Empty Bed Detention Time , EBDT) จะมีความสัมพันธ์กับการกำหนดความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์

Kawamura (1991) กล่าวว่า ในการออกแบบระบบดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ควรมีเวลาสัมผัสในถังเปล่าอยู่ระหว่าง 7.5 - 30 นาที ถ้าเลือกใช้เวลาสัมผัสสั้นจะสามารถกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกดูดซับได้ง่าย แต่ถ้าเลือกใช้เวลาสัมผัสนานจะสามารถกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดีและดูดซับยาก แต่ถ้าจะออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นถังกรองด้วย ควรออกแบบเวลาสัมผัสในถังเปล่าอยู่ในช่วง 15 - 30 นาที

2.1.4 ขนาดของสารถูกดูดติดผิว

ถ้าขนาดของสารที่ถูกดูดติดผิวมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์ จะถูกดูดติดเข้าไปในโพรงของคาร์บอนได้ดีกว่าอนุภาคของสารที่มีขนาดใหญ่กว่า

2.1.5 พีเอช

มีอิทธิพลต่อการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดติดผิว จึงมีผลต่อความสามารถในการดูดติดผิวด้วย

2.1.6 อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้อัตราเร็วในการดูดติดผิวเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวลดลง และเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้อัตราเร็วในการดูดติดผิวลดลงตามไปด้วย แต่ความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการดูดติดผิว

การใช้ถ่านกัมมันต์ทำหน้าที่ในการดูดติดผิวและใช้เป็นสารกรองด้วยนั้นมีข้อดี และข้อเสีย ดังนี้

2.2.1 ข้อดี

2.2.1.1 กำจัดสารประกอบอินทรีย์ออกจากน้ำได้

2.2.1.2 สามารถทำงานแบบถังกรองธรรมดาได้

2.2.1.3 ใช้เงินลงทุนน้อย เนื่องจากไม่ต้องใช้ถังกรองแบบธรรมดา

2.2.2 ข้อเสีย

2.2.2.1 ต้องมีการฟื้นอำนาจการดูดติดผิว หรือเปลี่ยนทดแทนเมื่ออำนาจการดูดติดผิวลดลง

2.2.2.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง

2.2.2.3 ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ลดลง

3. กระบวนการเยื่อกรอง (Membrane Process)

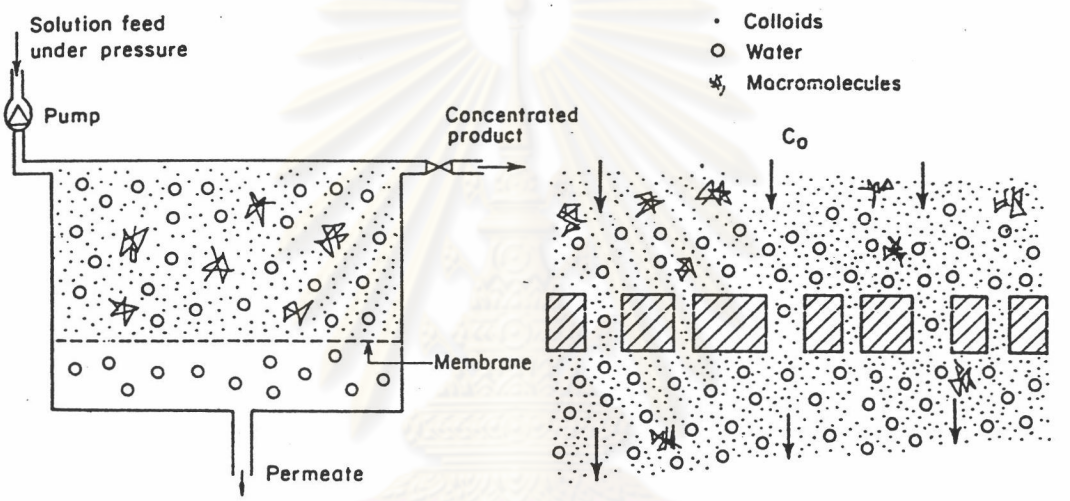
กระบวนการเยื่อกรองเป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกอนุภาคของคอลลอยด์ หรือสารละลายออกจากน้ำ ของเหลว หรือกาซ โดยการใช้แรงขับดันให้ของเหลวหรือน้ำเคลื่อนที่ผ่านแผ่นเยื่อกรอง (Semi-permeable Membrane) ซึ่งหลักการทำงานของกระบวนการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรองอธิบายได้ด้วยรูปที่ 2.7

3.1 ประเภทของกระบวนการแผ่นเยื่อกรอง

กระบวนการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรองได้เริ่มนำมาใช้ในการผลิตน้ำสะอาด เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี เทคโนโลยีชีวภาพ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำกระบวนการดังกล่าวเข้ามาใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสียสำหรับชุมชน

กระบวนการแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสียมีอยู่หลายประเภท โดยแต่ละประเภทจะมีความสามารถในการแยกสารแตกต่างกันตามขนาดของช่องว่าง (Pore Size) หรือ molecular weight cutoff (MWCO) ของแผ่นเยื่อกรอง ชนิดของอนุภาคที่กำจัดได้ และแรงดันที่ใช้ ดังสรุปในตารางที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของกระบวนการแผ่นเยื่อกรอง

ที่มา : Vigneswaren และ Ben Aim (1991)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ประเภทของกระบวนการเยื่อกรอง

กระบวนการ	ขนาดรูเยื่อกรอง	แรงดัน	ขนาดของอนุภาคที่แยกได้
Electrodialysis	< 10 อังสตรอม	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.27 - 0.36 kw/lb salts	สารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออน
Reverse Osmosis	5 - 20 อังสตรอม	ความดัน 200 - 1000 psig	ไอออน และสารอินทรีย์ น้ำหนักโมเลกุล > 100
Ultrafiltration	10 อังสตรอม - 0.1 ไมครอน	ความดัน 10 - 200 psig	ไวรัส แบคทีเรีย คอลลอยด์ สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุล > 1000
Microfiltration	0.1 - 10 ไมครอน	ความดัน 1 - 25 psig	แบคทีเรีย คอลลอยด์ อีมัลชัน ของแข็งแขวนลอย

ที่มา : สมพล บุญทานนท์ และ ครรชิต วงษ์แสงจันทร์ (2537)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1 Electrodialysis (ED)

เป็นกระบวนการแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ในการแยกสารประกอบ ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ออกจากน้ำ โดยการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับดัน แต่ไม่สามารถแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำได้ แผ่นเยื่อกรองที่ใช้ในกระบวนการ ED นี้ มี 2 ชนิด คือแผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งจะยอมให้เฉพาะไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกันไหลผ่าน

3.1.2 Reverse Osmosis (RO)

กระบวนการออสโมซิสผันกลับ เป็นกระบวนการที่ใช้แยกสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน โดยใช้แรงดันที่สูงกว่าแรงดันออสโมติกที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทั้งสอง อนุภาคของน้ำและสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดันให้เคลื่อนที่ผ่านเยื่อกรองไปยังด้านที่ความเข้มข้นของสารละลายต่ำกว่า ส่วนสารต่างๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100 จะถูกกรองติดค้างอยู่ในช่องว่างของแผ่นเยื่อกรอง ดังนั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการ RO จึงมีความบริสุทธิ์สูงมาก โดยปกติแล้วกระบวนการนี้มักจะใช้ในการผลิตน้ำบริสุทธิ์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรม อิเลคโทรนิกส์ และอุตสาหกรรมยา

3.1.3 Ultrafiltration (UF)

กระบวนการ Ultrafiltration เป็นกระบวนการแผ่นเยื่อกรองที่สามารถแยกอนุภาคที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1000 และอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาด 0.001 - 0.1 ไมครอน ออกจากน้ำ โดยการใช้แรงดันเช่นเดียวกับกระบวนการ RO แต่แรงดันที่ใช้ต่ำกว่า ซึ่งทำให้ลักษณะของแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ในกระบวนการ UF แตกต่างกับแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ในกระบวนการ RO

3.1.4 Microfiltration (MF)

กระบวนการ Microfiltration จะคล้ายกับกระบวนการ Ultrafiltration ขนาดรูของแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ก็จะใกล้เคียงกันมากจนยากที่จะนิยามความแตกต่างระหว่างกระบวนการทั้งสองได้อย่างชัดเจน

Henry (1972) อ้างถึงใน Vigneswaren และ Ben Aim (1991) ได้นิยามความแตกต่างระหว่างกระบวนการ MF และ UF ไว้ว่า กระบวนการ MF ใช้ในการแยกอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนกระบวนการ UF จะใช้ในการแยกอนุภาคที่ละลายน้ำ

Scheneider และ Klein (1982) อ้างถึงใน Vigneswaren และ Ben Aim (1991) สรุปไว้ว่าขนาดของอนุภาคที่สามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการ MF จะอยู่ในช่วง 0.1 - 10 ไมครอน

Vigneswaran และ Ben Aim (1991) ได้นำเสนอว่าในปัจจุบันกระบวนการ MF สามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาด 0.05 - 10 ไมครอน ในน้ำและน้ำเสียได้

กระบวนการ MF สามารถผลิตน้ำได้ในอัตราสูงกว่ากระบวนการเยื่อกรองแบบอื่น โดยใช้แรงดันต่ำกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการ UF จะพบว่ากระบวนการ MF สามารถผลิตน้ำได้ในอัตราที่สูงกว่าถึง 10 - 100 เท่า โดยใช้แรงดันต่ำกว่า 1 - 2 บาร์ จึงทำให้กระบวนการ MF เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำกว่ากระบวนการเยื่อกรองแบบอื่น ในขณะที่สามารถผลิตน้ำออกที่มีคุณภาพสูงกว่ากระบวนการแยกสารแบบธรรมดาทั่วไป เช่น การตกตะกอน การหมุนเหวี่ยง หรือการกรองแบบธรรมดา เป็นต้น

กลไกของกระบวนการแผ่นเยื่อกรองแบบ UF และ MF จะแตกต่างจากกลไกของการกรองแบบธรรมดา (Conventional Filtration) คือ ในระบบการกรองแบบธรรมดา เมื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านชั้นกรอง อนุภาคของแข็งแขวนลอยจะถูกกำจัดโดยจะติดค้างอยู่ที่ผิวของสารกรอง (Surface Filtration) หรือติดค้างในชั้นกรอง (In-depth Filtration) ส่วนในระบบการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง อนุภาคของแข็งแขวนลอยหรือคอลลอยด์จะถูกกำจัดโดยจะติดค้างอยู่ในช่องว่างของแผ่นเยื่อกรอง เรียกกลไกการกรองแบบนี้ว่า Sieve Mechanism

3.2 ชนิดของโมดูลที่ใช้ในกระบวนการเยื่อกรอง

ลักษณะโครงสร้างหรือรูปร่างของแผ่นเยื่อกรองมีอยู่หลายรูปแบบแตกต่างกันออกไป ซึ่งการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหรือสภาวะการนำไปใช้งาน แต่อย่างไปก็ตามแผ่นเยื่อกรองที่ดีควรจะมีลักษณะสมบัติดังต่อไปนี้

- มีความพรุนสูง
- มีความคงตัวที่แรงดันสูง
- มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง
- มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้ในช่วงกว้าง
- มีความคงทนเมื่อใช้ในสภาพที่มีสารเคมี

รูปแบบของโมดูลที่ใช้ในกระบวนการแผ่นเยื่อกรอง มีอยู่ 4 ชนิด คือ

3.2.1 โมดูลแบบท่อ (Tubular Module)

3.2.2 โมดูลแบบแผ่น (Plate and Frame or Flat Module)

3.2.3 โมดูลแบบม้วน (Spiral Wound Module)

3.2.4 โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module)

ข้อแตกต่างของโมดูลทั้ง 4 แบบ สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของโมดูลแบบต่าง ๆ

ชนิดของโมดูล	พื้นที่ต่อโมดูล ($ม^2 / ม^3$)	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	การควบคุมอัตราการไหล	ความสะดวกในการทำความสะอาด
แบบท่อ	25 - 50	สูง	สูง	ดี	ดี
แบบแผ่น	400 - 600	สูง	ต่ำ	พอใช้	ไม่ดี
แบบม้วน	800 - 1000	ต่ำ	ต่ำ	ไม่ดี	ไม่ดี
แบบเส้นใยกลวง	600 - 1200	ต่ำ	ต่ำ	ดี	พอใช้

ที่มา : Strathman (1984)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 โมดูลแบบท่อ (Tubular Module)

รูปแบบของโมดูลแบบท่อ จะเป็นการม้วนแผ่นเยื่อกรองให้มีลักษณะเหมือนกับหลอดหรือท่อขนาดเล็ก ยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำจากใยสังเคราะห์ ซึ่งทำหน้าที่รองรับแผ่นเยื่อกรองไม่ให้ฉีกขาดขณะใช้งานและเป็นทางออกของน้ำสะอาด ดังรูปที่ 2.8 หลักการทำงานของโมดูลแบบท่อคือน้ำดิบจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อ แรงดันจะทำให้น้ำซึมผ่านแผ่นเยื่อกรองออกสู่ท่อรองรับภายนอก

3.2.2 โมดูลแบบแผ่น (Plate and Frame or Flat Module)

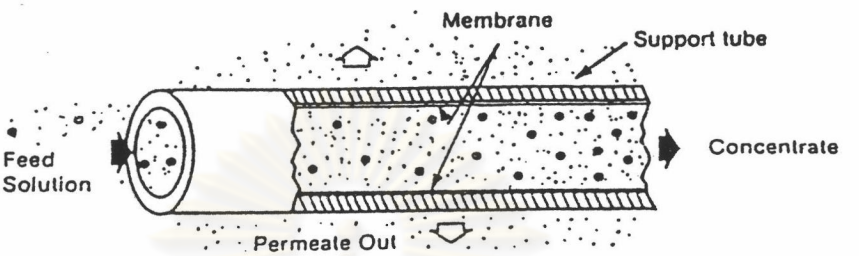
โมดูลแบบแผ่นเป็นรูปแบบของการจัดแผ่นเยื่อกรองที่ง่ายที่สุด โดยแผ่นเยื่อกรองจะถูกจัดวางอยู่บนแผ่นรองรับที่มีรูพรุน หรือมีร่องสำหรับให้น้ำไหลออก แผ่นเยื่อกรองและแผ่นรองรับจะวางซ้อนสลับกันหลาย ๆ ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 หลักการทำงานของโมดูลแบบแผ่นจะคล้ายกับ filter press คือ น้ำดิบจะถูกสูบผ่านแผ่นเยื่อกรองในทิศทางที่ตั้งฉากกับแผ่นเยื่อกรองโดยใช้แรงดันสูง น้ำสะอาดจะซึมผ่านแผ่นเยื่อกรองและแผ่นรองรับแล้วจึงไหลออกจากโมดูล ส่วนคอลลอยด์หรือโมเลกุลของสารจะถูกกรองติดค้างอยู่บนแผ่นเยื่อกรอง

3.2.3 โมดูลแบบม้วน (Spiral Wound Module)

รูปแบบของโมดูลแบบม้วนจะคล้ายกับแบบแผ่น แต่จะมีการนำแผ่นเยื่อกรองมาม้วนรอบแกนกลาง โครงสร้างของโมดูลแบบม้วนจะประกอบด้วยแผ่นเยื่อกรอง 2 แผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุที่มีรูพรุนสอดคั่นกลางอยู่ระหว่างแผ่นเยื่อกรองทั้งสอง จากนั้นจะม้วนแผ่นเยื่อกรองรอบแกนซึ่งเป็นท่อเจาะรูที่ใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาด ขอบด้านหนึ่งของแผ่นทั้งสามจะถูกอุดไว้เพื่อไม่ให้น้ำไหลออก อีกด้านหนึ่งจะปล่อยไว้และยึดติดกับแกนกลางเพื่อให้น้ำสะอาดไหลออกทางท่อที่เจาะรูไว้ ด้านนอกของโมดูลจะถูกคลุมด้วยตะแกรง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 หลักการทำงานของโมดูลแบบม้วนคือ น้ำดิบจะถูกบังคับให้ไหลในแนวแกนของโมดูล แรงดันจะทำให้น้ำผ่านแผ่นเยื่อกรองตามแนวรัศมีของโมดูลลงไปถึงแผ่นรองรับซึ่งจะส่งน้ำบริสุทธิ์ออกไปทางท่อเจาะรูต่อไป

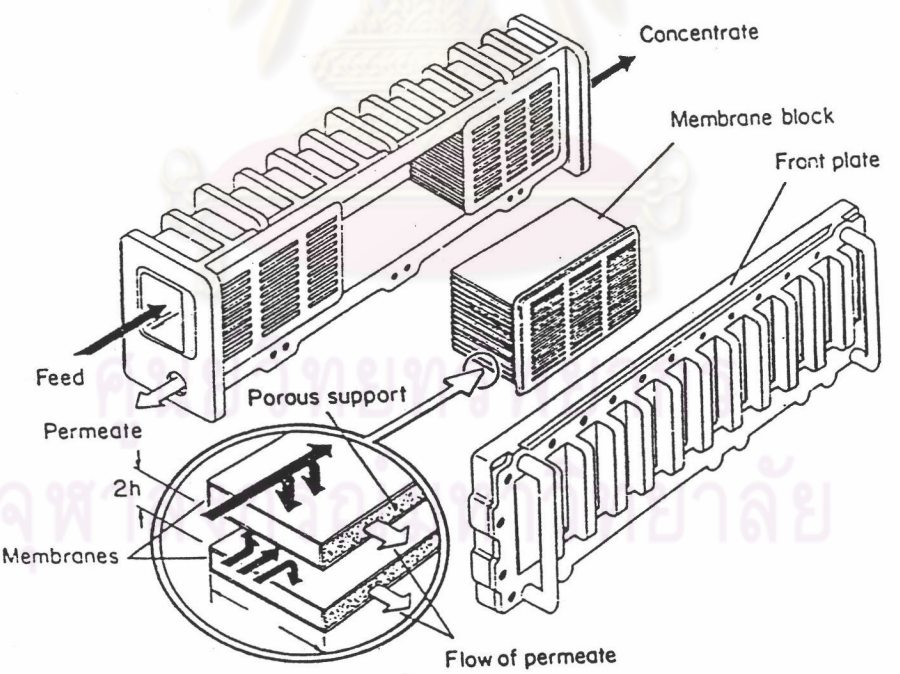
3.2.4 โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow fiber Module)

ลักษณะโครงสร้างของโมดูลแบบเส้นใยกลวงจะคล้ายกับแบบท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โมดูลแบบเส้นใยกลวงนี้จะมีลักษณะเหมือนกับท่อขนาดเล็กหรือเส้นผม ด้านในจะมีผิวคล้ายฟองน้ำล้อมรอบผิวชั้นใน เมื่อมองรูปตัดจะเป็นรูปวงแหวน การนำไปใช้งานจะนำเส้นใยมามัดรวมกันเป็นรูปเกือกม้าหรือตัว U บรรจุอยู่ในท่อรูปทรงกระบอก หลักการทำงานคือ น้ำดิบจะถูกสูบเข้าในท่อรูปทรงกระบอก แรงดันจะทำให้น้ำซึมผ่านจากผิวด้านนอกเข้าสู่ด้านในของแผ่นเยื่อกรอง แล้วไหลไปรวมกันที่ทางออก



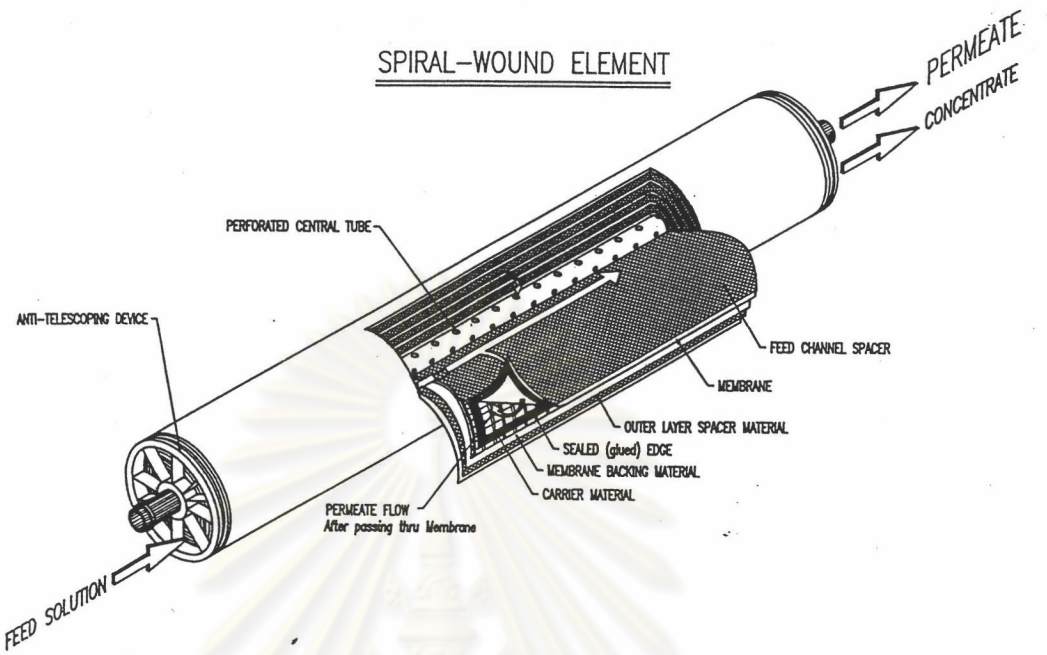
รูปที่ 2.8 ลักษณะของโมดูลแบบท่อ

ที่มา : Romicon (1983)



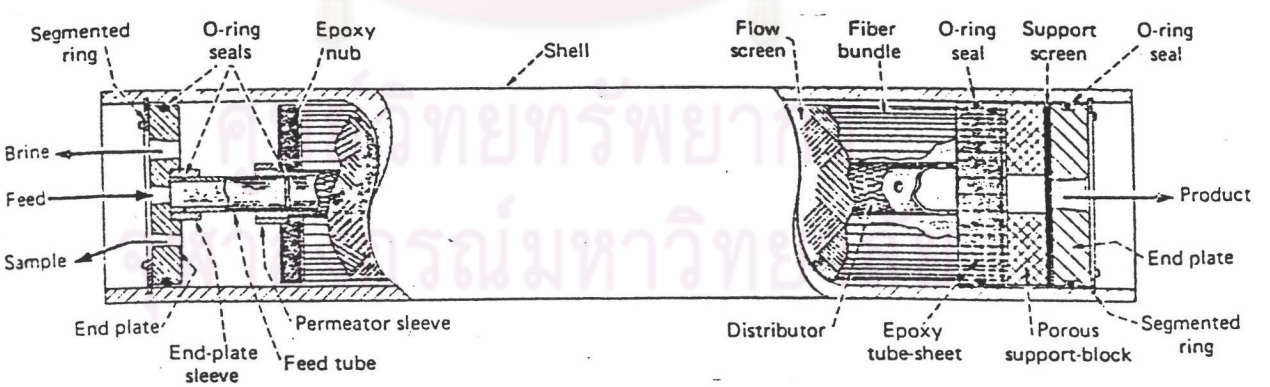
รูปที่ 2.9 ลักษณะของโมดูลแบบแผ่น

ที่มา : Rautenbach และ Albrecht (1989)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของโมดูลแบบม้วน

ที่มา : Desalination System, Inc. (n.d)



รูปที่ 2.11 ลักษณะของโมดูลแบบเส้นใยกลวง

ที่มา : Applegate (1984)

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอัตราการผลิตน้ำ

เนื่องจากกลไกในการกำจัดอนุภาคของกระบวนการเยื่อกรองแบบ UF และ MF เป็นการกรองแบบติดค้าง (Sieve) ดังนั้นปัญหาที่มักเกิดขึ้นในการทำงานก็คือปัญหาการอุดตันที่เกิดจากสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการผลิตน้ำ (Permeate Flux) และอายุการใช้งานของเยื่อกรองลดลง ลักษณะของการอุดตันเกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ กัน ดังต่อไปนี้

3.3.1 การอุดตันเนื่องจาก Concentration Polarization

Concentration Polarization หรือ gel layer เกิดขึ้นเนื่องจากการที่อนุภาคของสิ่งสกปรก หรือโมเลกุล เคลื่อนที่มาสะสมตัวที่ใกล้ผิวของเยื่อกรองในชั้นน้ำ ที่เรียกว่า Boundary Layer ทำให้เกิดการสะสมของสิ่งสกปรกบริเวณผิวของเยื่อกรองจนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของน้ำดิบหลายเท่า ดังรูปที่ 2.12 เป็นผลให้อัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลง

การอุดตันเนื่องจาก Concentration Polarization นี้สามารถแก้ไขให้คืนสภาพได้โดยใช้การล้างย้อน (backflushing) และการกระแทกเป็นช่วง ๆ ของน้ำ (plusing)

3.3.2 การอุดตันเนื่องจากสารแขวนลอย

เป็นการอุดตันในทางกายภาพที่สามารถแก้ไขให้คืนสภาพดังเดิมได้ โดยใช้การล้างย้อน วิธีการป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันเนื่องจากสารแขวนลอย คือติดตั้ง Cartridge Filter เพื่อใช้กรองน้ำก่อนเข้าโมดูลซึ่งจะช่วยลดปริมาณสารแขวนลอย

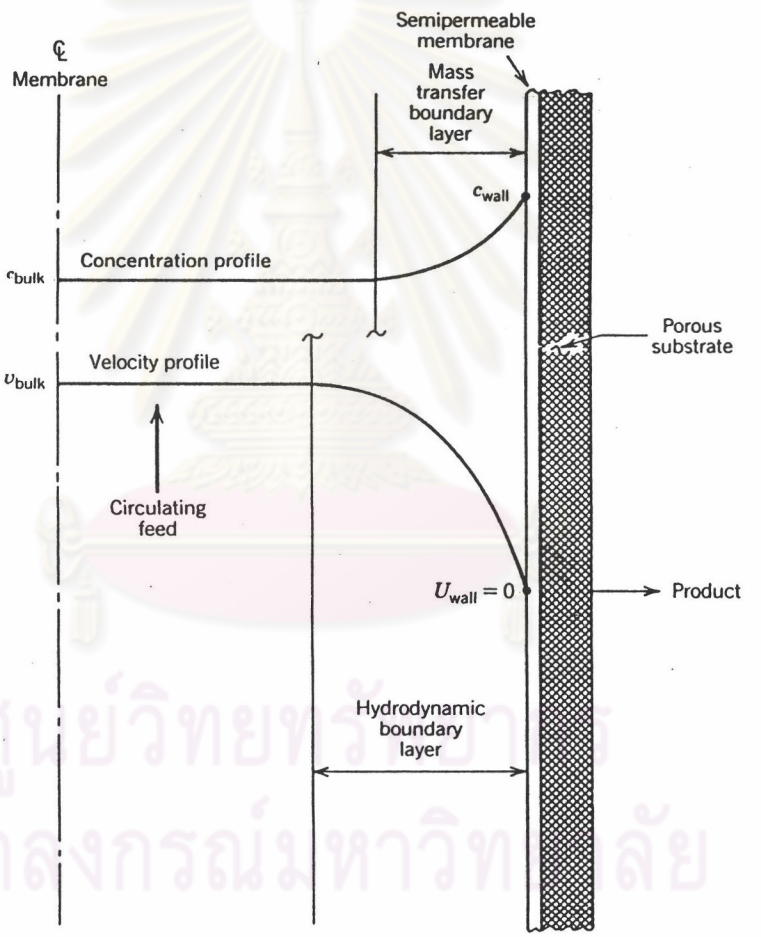
3.3.3 การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์

การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ จะไม่สามารถทำความสะอาดหรือกำจัดจุลินทรีย์ออกได้ง่ายเหมือนการอุดตันที่เกิดจากสารแขวนลอย ผลที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้อัตราการผลิตน้ำลดลงแล้ว ยังทำให้อายุการใช้งานของเยื่อกรองลดลงด้วยเนื่องจากถูกจุลินทรีย์ทำลาย น้ำที่ผลิตได้อาจมีจุลินทรีย์หลุดปนออกไปด้วย ดังนั้นวิธีการป้องกันการอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์คือการเติมคลอรีนให้กับน้ำก่อนเข้าโมดูล แต่อย่างไรก็ตามการที่มีคลอรีนตกค้างมากเกินไปก็จะมีผลกระทบต่อเยื่อกรองด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดคลอรีนตกค้างในน้ำด้วย

I 17366628

3.3.4 การอุดตันเนื่องจากการเกิดตะกรัน

ตะกรันเกิดจากการสะสมตัวของโมเลกุลหรือไอออนต่าง ๆ ที่ด้านน้ำดิบ ทำให้เกิดการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ซึ่งจะทำให้เยื่อกรองเสียอย่างถาวร ดังนั้นจึงควรป้องกันมให้เกิดตะกรันขึ้นโดยการกำจัดแคลเซียม หรือคาร์บอเนต หรือซัลเฟตในน้ำก่อนเข้าโมดูล นอกจากนี้ควรเพิ่มอัตราเร็วในการกำจัดน้ำเข้มข้นให้สูงพอ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารละลายไม่ให้มีค่าสูงกว่าความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบ



รูปที่ 2.12 การเกิด Concentration Polarization

ที่มา : Eykamp และ Steen (1987)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arceivala (1977) ได้นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคารสูงของเมืองบอมเบย์ ประเทศอินเดีย โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์มาตั้งแต่ปี 1969 พบว่าการนำน้ำเสียจากอาคารกลับมาใช้เป็นน้ำชดเชยในระบบปรับอากาศเป็นแนวทางที่คุ้มค่าที่สุดและต่อมาได้ทำการสำรวจการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคารสูงพบว่า มีการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคารพาณิชย์ขนาด 20-25 ชั้น ประมาณ 7 แห่งในเมืองบอมเบย์ โดยนำมาใช้เป็นน้ำชดเชยในระบบปรับอากาศภายในอาคาร ปริมาณน้ำที่ต้องการประมาณวันละ 150-250 ลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับขนาดของอาคาร

ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ประกอบด้วยการนำน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคารมาบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยาและการตกตะกอน หลังจากนั้นจะบำบัดด้วยกระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอน ตามด้วยการกรองผ่านชั้นทราย การแก้น้ำกระด้าง และการฆ่าเชื้อโรค

ในการก่อสร้างระบบบำบัดขั้นที่ 3 ขนาด 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะต้องใช้เงินลงทุนทั้งสิ้นประมาณ 50,000 ดอลลาร์ (ราคาเมื่อปี 1970) และจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการชำระเงินกู้และดอกเบี้ยประมาณ 0.04 ดอลลาร์ต่อ 1,000 ลิตร ในขณะที่ราคาน้ำประปาในเมืองบอมเบย์เท่ากับ 0.058 ดอลลาร์ต่อ 1,000 ลิตร

Asano และคณะ (1981) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในอาคารพาณิชย์และอพาร์ทเมนท์คอมเพล็กซ์ในญี่ปุ่น โดยทำการสำรวจอาคารจำนวน 52 แห่ง เป็นอาคารที่มีระบบบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้เฉพาะอาคาร จำนวน 47 แห่ง และเป็นอาคารที่ได้รับน้ำเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่จากระบบบำบัดส่วนกลาง จำนวน 5 แห่ง ประเภทของกิจกรรมต่าง ๆ ที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคาร ได้แก่ การชักโครก น้ำชดเชยในระบบปรับอากาศ สระน้ำประดับบริเวณ น้ำสำหรับการทำความสะอาด และใช้ในระบบดับเพลิง จำนวนอาคารที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งจากตารางจะเห็นว่าอาคารส่วนใหญ่จะนำน้ำกลับมาใช้ในการชักโครกมากที่สุด ส่วนปริมาณน้ำที่นำกลับมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ในอาคารส่วนมากจะอยู่ในช่วง 101-500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้จะมีค่าบีโอดี 5 วัน ประมาณ 3-30 มก./ล. ค่าซีโอดีประมาณ 5-40 มก./ล. และค่าของแข็งแขวนลอย ประมาณ 30 มก./ล.

ตารางที่ 2.6 การนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของอาคารในประเทศญี่ปุ่น

ประเภทอาคาร	จำนวนอาคาร	ร้อยละ	ประเภทของกิจกรรมที่นำน้ำกลับมาใช้					
			ชักโครก	Cooling water	สระน้ำประดับบริเวณอาคาร	ทำความสะอาด	ห้องปฏิบัติการ	น้ำดับเพลิง
1. ระบบบำบัดเฉพาะอาคาร								
สำนักงาน	29	55.8	29	5	3	3		1
ร้านค้า	3	5.8	3	3	1			
โรงเรียน	6	11.6	6	1				1
โรงพยาบาล	2	3.8	2					
โรงแรม	2	3.8	2					
คลับเฮาส์	4	7.7	4		1			
บ้านพัก	1	1.9	1		1	1		
รวม	47	90.4	47	9	6	4		2
2. ระบบบำบัดส่วนกลาง								
สำนักงาน	2	3.8	2	1				
อพาร์ทเมนท์	2	3.8	2		2	1		
สถาบันวิจัย	1	2	1				1	
รวม	5	9.6	4	2	2	1		
รวมทั้งหมด	**52**	**100**	**51**	**11**	**8**	**5**	**1**	**2**

ที่มา : Asano และคณะ (1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ Asano และคณะ ยังได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการบำบัดที่ใช้และค่าใช้จ่ายของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยเลือกอาคารพาณิชย์และอพาร์ทเมนท์คอมเพลกซ์มาเป็นกรณีศึกษาประเภทละ 1 ตัวอย่าง สำหรับกรณีศึกษาของอาคารพาณิชย์จะใช้ระบบบำบัดรวมที่มีอาคารอยู่ในขอบเขตของการบริการ 3 แห่ง ซึ่งแต่ละอาคารจะมีรายละเอียดของอาคารและปริมาณความต้องการน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.7 น้ำเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่จะมาจากการซักล้างและโบลวดาวน์จากหอทำความเย็น (Cooling tower blowdown) ของอาคารทั้งสาม ซึ่งจะนำมาผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 และการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ตามขั้นตอนในรูปที่ 2.13 น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะนำกลับมาใช้ในการชักโครก ปริมาณการใช้น้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ภายในอาคารสำหรับวันทำงานโดยเฉลี่ยประมาณ 385 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับวันหยุดมีความต้องการใช้น้ำประมาณ 23 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เงินลงทุนในการระบบผลิตน้ำขนาด 476 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประมาณ 1,428,600 ดอลลาร์ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและซ่อมบำรุงเท่ากับ 0.55 ดอลลาร์ต่อลูกบาศก์เมตร ราคาน้ำประปาและค่าบริการน้ำเสียในกรุงโตเกียวเท่ากับ 1.89 ดอลลาร์ต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการนำน้ำกลับมาใช้จะถูกกว่าราคาน้ำประปาเกือบ 4 เท่า

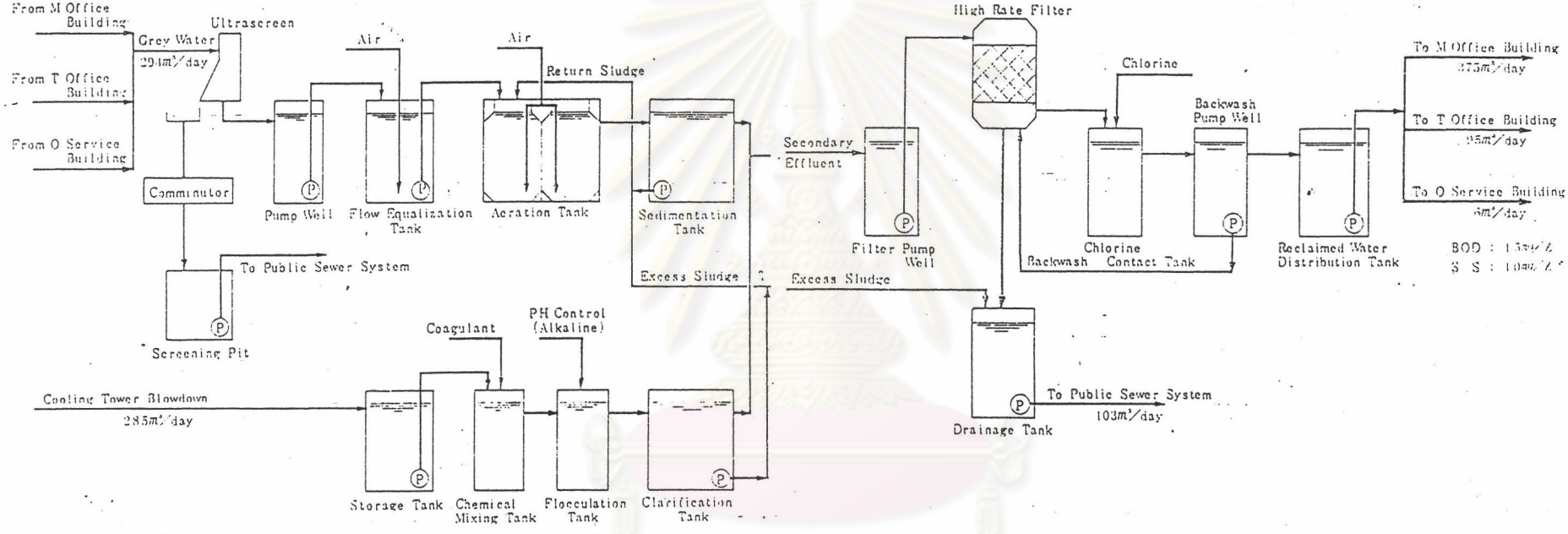
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดของอาคารพาณิชย์ที่มีการนำน้ำเสียกลับมาใช้ในประเทศญี่ปุ่น

อาคาร	รายละเอียด	จำนวนสุขภัณฑ์ (หน่วย)	ปริมาณน้ำที่นำมาใช้ (ลูกบาศก์เมตร/วัน)
T Office building พื้นที่ จำนวนคน	เป็นอาคาร 14 ชั้น และชั้นใต้ดิน 3 ชั้น 29,700 ตารางเมตร 1,400 คน	โถปัสสาวะ : 61 ส้วม : 77	95
M Office building พื้นที่ จำนวนคน	เป็นอาคาร 24 ชั้น และชั้นใต้ดิน 3 ชั้น 125,800 ตารางเมตร 7,500 คน	โถปัสสาวะ : 229 ส้วม : 394	375
O Service building พื้นที่ จำนวนคน	เป็นอาคาร 4 ชั้น 5,000 ตารางเมตร 10 คน	โถปัสสาวะ : 3 ส้วม : 3	6

ที่มา : Asano และคณะ (1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่สำหรับอาคารพาณิชย์ในประเทศญี่ปุ่น

ที่มา : Asano และคณะ (1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

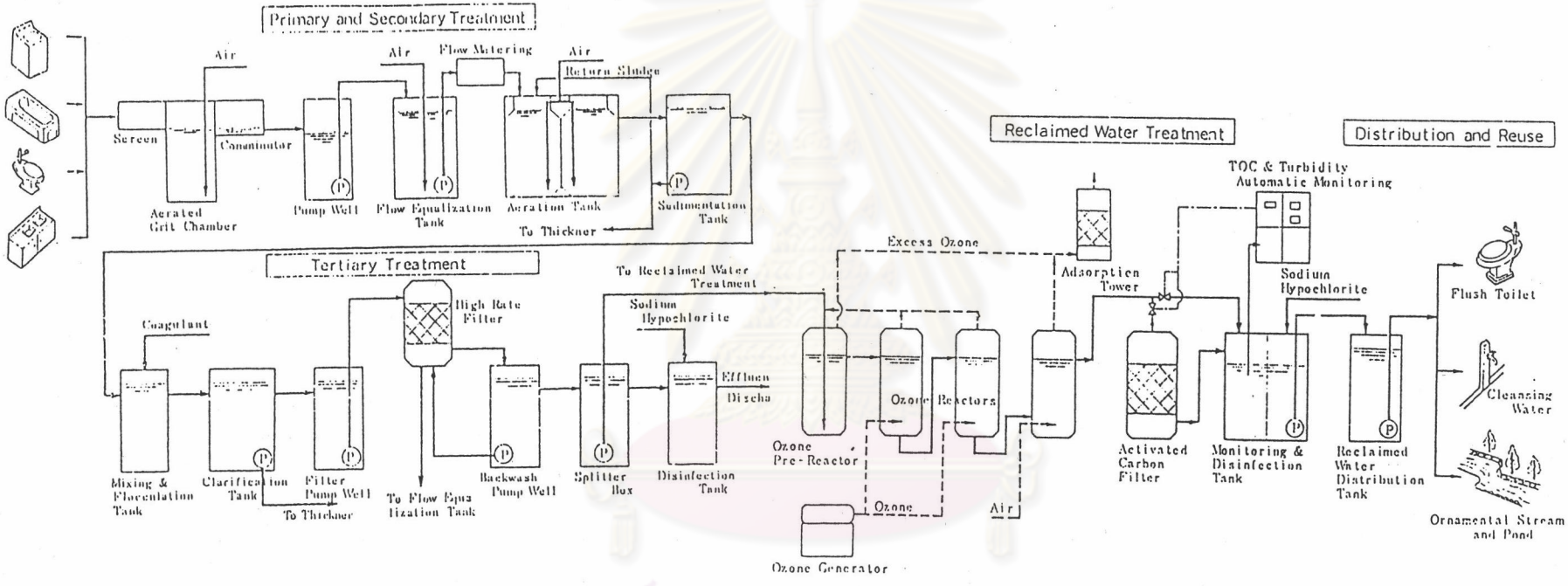
กรณีศึกษาของอพาร์ทเมนท์คอมเพลกซ์ จะประกอบไปด้วยอพาร์ทเมนท์จำนวน 2,250 หลัง อยู่ห่างจากกรุงโตเกียวประมาณ 30 กิโลเมตร อพาร์ทเมนท์คอมเพลกซ์แห่งนี้ได้ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ส่วนกลางตั้งแต่ปี 1978 เพื่อจ่ายให้กับอาคารขนาด 8-11 ชั้น มีผู้เช่าทั้งสิ้น 888 ราย จำนวนผู้พักอาศัยทั้งสิ้น 3,220 คน โดยจะนำน้ำกลับมาใช้สำหรับการชักโครก ทำความสะอาดพื้น และสระน้ำประดับบริเวณอาคาร ปริมาณน้ำที่นำกลับมาใช้ประมาณ 160 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รูปที่ 2.14 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอพาร์ทเมนท์คอมเพลกซ์ โดยน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคาร 1,222 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะถูกนำมาบำบัดขั้นต้น ขั้นที่ 2 และขั้นที่ 3 ตามลำดับ จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วประมาณ 75-80 % จะระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 20-25 % จะถูกนำมาบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยการเติมโอโซนเพื่อกำจัดสีและกลิ่น และฆ่าเชื้อโรคก่อนนำกลับมาใช้ เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดและนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ พบว่าค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ค่าใช้จ่ายในการนำน้ำกลับมาใช้ประกอบด้วย

- เงินลงทุนสำหรับก่อสร้างประมาณ 1 ดอลลาร์ต่อลูกบาศก์เมตร
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา 0.38 ดอลลาร์ต่อลูกบาศก์เมตร เป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถเก็บคืนได้จากผู้ใช้น้ำ

สำหรับราคาค่าน้ำประปาลูกบาศก์เมตรละ 0.62 ดอลลาร์ ซึ่งจะแพงกว่าราคาน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในส่วนที่ผู้ใช้น้ำต้องจ่าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.14 ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ในอพาร์ทเมนท์คอมเพล็กซ์ในประเทศญี่ปุ่น

ที่มา : Asano และคณะ (1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 คุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในอพาร์ทเมนท์คอมเพล็กซ์ของประเทศญี่ปุ่น

พารามิเตอร์	หน่วย	ข้อกำหนด	ค่าที่วิเคราะห์ได้
กลิ่น	-	ไม่ได้กำหนด	-
สี	หน่วย	< 10	0.9
ความขุ่น	หน่วย	< 5	0.3
ของแข็งละลายน้ำ	มก./ล.	< 1,000	445
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	< 5	1.3
พีเอช	-	5.8 -8.6	-
ซีโอดี	มก./ล.	< 20	3.5
บีโอดี	มก./ล.	< 10	2
ฟอสเฟต	มก./ล.	< 1.0	0.5
อัลคิลเบนซิลซัลฟอเนต (ABS)	มก./ล.	< 1.0	-
โคลิฟอร์ม	count / ml	ไม่ได้กำหนด	-
แบคทีเรีย	count / ml	< 100	-
คลอรีนคงเหลือ	มก./ล.	> 0.2	-
ทีโอซี	มก./ล.	< 15	4.1

หมายเหตุ : (-) หมายถึง ไม่มีผลการวิเคราะห์

ที่มา : Asano และคณะ (1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Lewinger และ Young (1987) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการนำน้ำกลับมาใช้ในระบบสองท่อในอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ของเมือง Irvine ในแคลิฟอร์เนีย โดยใช้อาคารสำนักงานของ Koll Center Irvine Connecticut General #3 (KCI/CG-3) ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้ระบบท่อเดียวและต้องการเปลี่ยนมาใช้ระบบสองท่อเป็นกรณีศึกษา น้ำเสียที่จะนำกลับมาใช้ใหม่จะผ่านการบำบัดขั้นที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน การกรอง และการฆ่าเชื้อโรค จะถูกส่งจาก Michelson Water Reclamation Plant ไปยังอาคาร KCI/CG-3 เพื่อใช้ในการชักโครก และใช้เติมน้ำพุที่ประดับบริเวณอาคาร อาคาร KCI/CG-3 เป็นอาคารขนาด 11 ชั้น มีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 249,000 ตารางฟุต มีพนักงานทั้งหมด 1,660 คน ปริมาณความต้องการน้ำ 24,900 แกลลอนต่อวัน โดยแบ่งเป็นปริมาณความต้องการน้ำประปา 7,844 แกลลอนต่อวัน และปริมาณความต้องการน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ 17,056 แกลลอนต่อวัน ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนสุขภัณฑ์ที่ใช้ การวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า น้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่มีใสเหมือนกับน้ำประปา และไม่มีกลิ่น มีความกัดกร่อนเล็กน้อยแต่จะไม่ทำให้เกิดปัญหากับอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในระบบ

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย จะพิจารณาเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายรายปีของระบบสองท่อเปรียบเทียบกับระบบท่อเดียว ซึ่งสำหรับอาคารเก่าที่ต้องการใช้ระบบสองท่อจะต้องลงทุนเพิ่มในเรื่องของปั๊มท่อและอุปกรณ์ท่อ เป็นเงินทั้งสิ้น 66,565 ดอลลาร์ ส่วนอาคารที่จะก่อสร้างใหม่อาจลงทุนเพิ่มขึ้นอีกเพียง 45,000 ดอลลาร์ ค่าใช้จ่ายรายปีของระบบสองท่อจะแพงกว่าระบบท่อเดียวประมาณ 160.93 ดอลลาร์ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งรายละเอียดของค่าใช้จ่ายรายปีแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปี (ดอลลาร์) ระหว่างระบบท่อเดียวกับระบบสองท่อของอาคาร KCI/CG-3

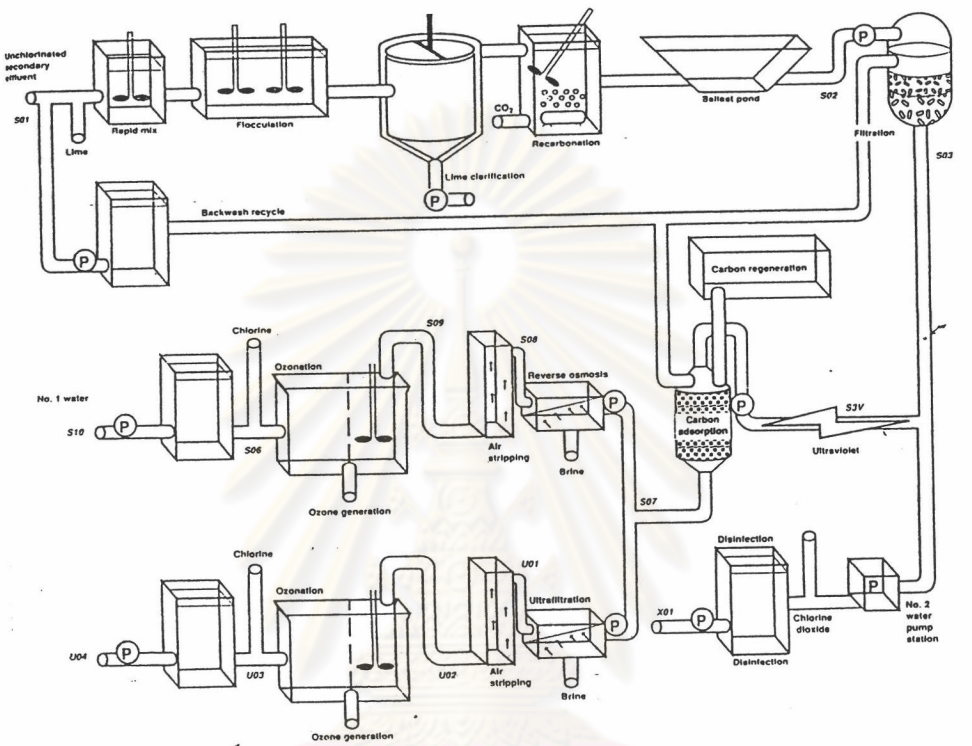
ค่าใช้จ่าย	ระบบท่อเดียว	ระบบสองท่อ
ค่าใช้จ่ายของน้ำประปา	4,587	1,445
ค่าใช้จ่ายของน้ำที่นำกลับมาใช้	-	2,727
ค่าใช้จ่ายของพลังงาน	437	533
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	640	1,120
รวมทั้งสิ้น	5,664	5,825
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้		(161)

ที่มา : Lewinger และ Young (1987)

Lauer และคณะ (1991) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการที่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพเทียบเท่ากับคุณภาพของน้ำดื่มและสามารถนำกลับมาใช้บริโภคได้โดยปลอดภัย ของโครงการนำร่องในเมืองเดนเวอร์ พบว่ากระบวนการต่าง ๆ ที่สามารถบำบัดน้ำได้ตามวัตถุประสงค์ ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งประกอบด้วยการทำให้ใสโดยใช้ไลม์ การเติมคาร์บอนไดออกไซด์ซ้ำ การกรอง การฆ่าเชื้อโรคโดยใช้อัลตราไวโอเลต การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ออสโมซิสผันกลับ การไล่อากาศ การเติมโอโซน และคลอรามิเนชัน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขั้นที่ 1 และ 2 ของ U.S.EPA พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับการประมาณการค่าใช้จ่ายของโครงการนำร่องอยู่ในช่วง 1.72 ดอลลาร์/1000 แกลลอน ถึง 2.25 ดอลลาร์/1000 แกลลอน (ราคาปี 1988) เมื่อเปรียบเทียบกับราคาน้ำประปา พบว่าราคาน้ำประปาอยู่ในช่วง 250-960 ดอลลาร์/เอเคอร์-ฟุต ส่วนราคาของน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่อยู่ในช่วง 560-733 ดอลลาร์/เอเคอร์-ฟุต ซึ่งจะเห็นได้ว่าราคาจะไม่แตกต่างกันมาก ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการส่งเสริมให้มีการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้เพื่อการบริโภคโดยตรง ในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว คณะผู้วิจัยจะทำการทดสอบกับสัตว์ทดลอง 2 ชนิดเป็นระยะเวลา 2 ปี โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ปริมาณสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ จุลินทรีย์ และความน่าดู นอกจากนี้คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองใช้ Ultrafiltration แทน Reverse osmosis

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.15 กระบวนการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ของโครงการนำร่องในเมืองเดนเวอร์

ที่มา : Lauer และคณะ (1991)

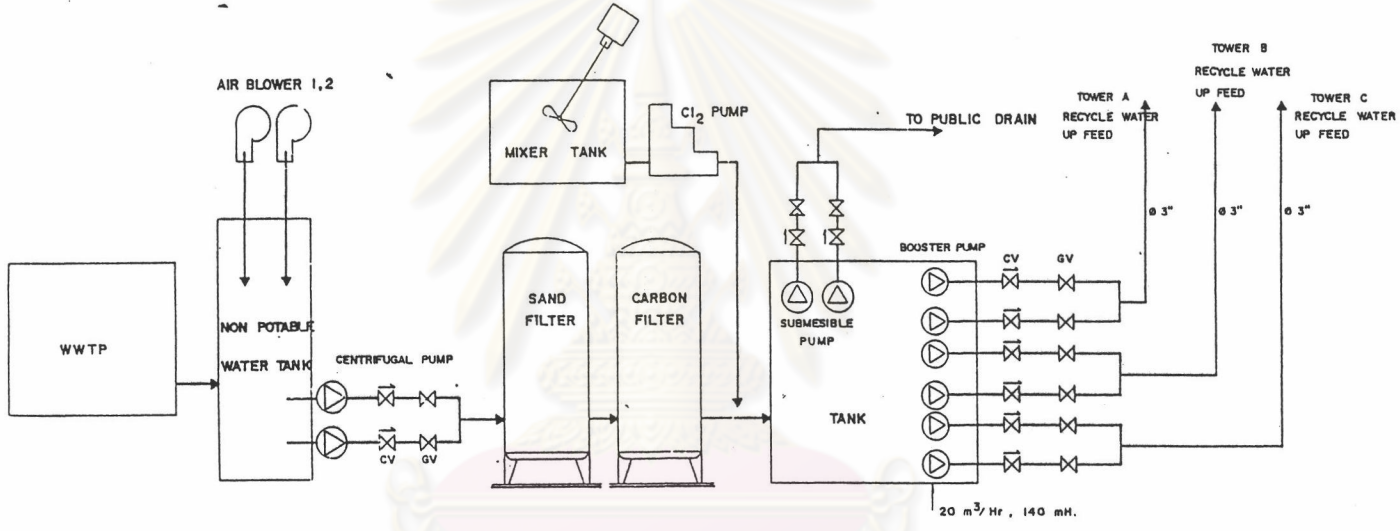
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Slim, Devey และ Vail (1992) ได้ทำการศึกษาและติดตามผลการปฏิบัติการของระบบการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยการใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) ของเมือง Port Elizabeth ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ โดยชนิดของเยื่อกรองที่ใช้เป็นแบบท่อ (Tubular) ระบบบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่นี้ได้เริ่มดำเนินการมาแล้วประมาณ 12,000 ชั่วโมง ผลการติดตามตรวจสอบการทำงานของระบบพบว่า มีการป้อนน้ำเข้าสู่ระบบในอัตรา 25,475 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถนำน้ำกลับมาใช้ได้ 67.5% คุณภาพของน้ำที่ได้ค่อนข้างจะมีคุณภาพคงที่ เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่มของ Kempster & Smith และมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) พบว่าน้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำดื่ม ยกเว้นระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนและฟีนอลที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษเมื่อนำกลับมาใช้ ส่วนผลการวิเคราะห์ทางชีววิทยานั้นพบว่ายังสามารถตรวจพบแบคทีเรียในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังนั้นจึงต้องมีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนจ่ายสู่ผู้ใช้ต่อไป โดยต้องการให้มีปริมาณคลอรีนคงเหลืออิสระ 1 มก./ล. ค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดน้ำประมาณ 1.86 ดอลลาร์ต่อกิโลลิตร สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติการ ได้แก่ การขาดบุคคลากรที่มีความรู้และความชำนาญในการดูแลระบบ และการขาดแคลนเครื่องมือ เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ

สมิทธ์ ตุงคะสมิต และสุมาลี โฆษิตาพันธุ์ (2537) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ในอาคารขนาดใหญ่ โดยใช้กรณีศึกษาจากอาคารขนาดใหญ่ ที่มีความสูง 32 ชั้น มีพื้นที่ทั้งสิ้นประมาณ 130,000 ตารางเมตร ซึ่งขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างการก่อสร้าง จากการคำนวณการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียของอาคาร จะมีปริมาณน้ำเสียจากอาคารประมาณ 1,300 - 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยเป็นน้ำเสียจากการชักโครกประมาณ 70% ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้เป็นแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ส่วนระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แสดงในรูปที่ 2.16 ประกอบด้วยถังเติมอากาศ ถังกรองทรายและกรองถ่าน ถังเติมคลอรีน และถังพักน้ำเพื่อเก็บน้ำในระบบหมุนเวียน น้ำจะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ในการชักโครกและรดน้ำต้นไม้ โดยปริมาณน้ำที่นำกลับจะอยู่ในช่วง 1,000 - 1,100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณ 66%-75% ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด พลังงานที่ใช้ในระบบประมาณ 120 กิโลวัตต์

สำหรับการศึกษาทางด้านการลงทุน พบว่าการลงทุนในการติดตั้งระบบหมุนเวียนเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 3 ปี ก็ต่อเมื่อ

- ปริมาณน้ำที่หมุนเวียนกลับมาใช้ต้องไม่น้อยกว่า 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- ค่าไฟฟ้าต้องไม่เกิน 2.80 บาทต่อยูนิต
- ราคาค่าน้ำประปาสูงกว่า 10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
- เงินลงทุนควรต่ำกว่า 5 ล้านบาท



รูปที่ 2.16 ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร

ที่มา : สมิทธ์ ตุงคะสมิต และ สุมาลี โฆษิตาพันธุ์ (2537)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย