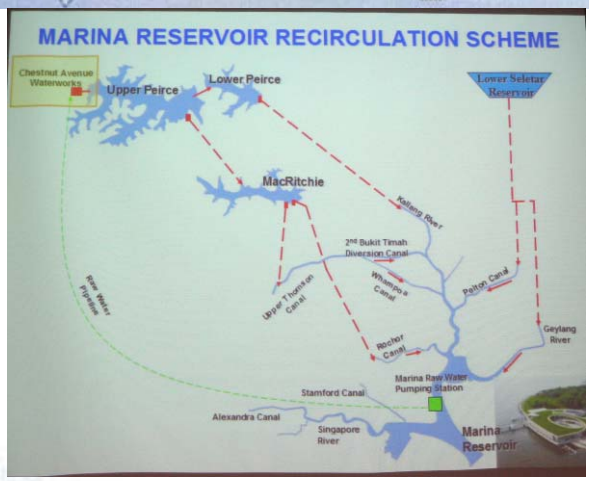
Chestnut Avenue Waterworks

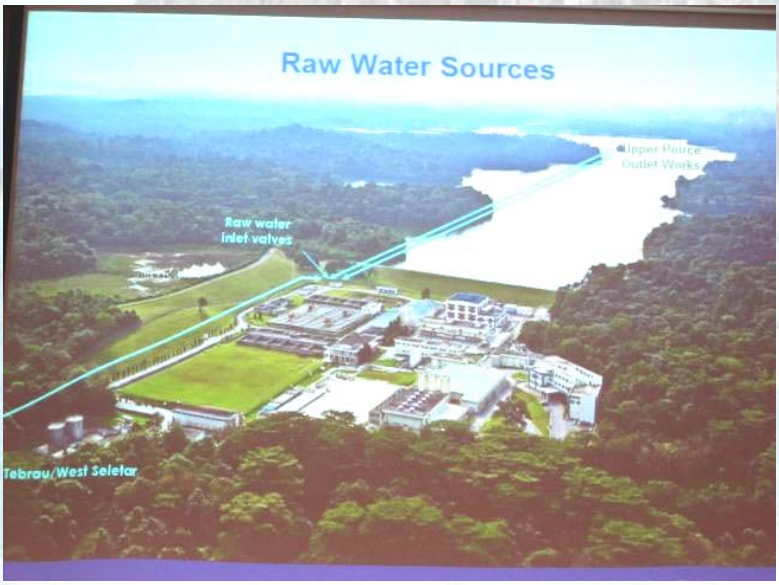
Chestnut Avenue Waterworks (CAWW) เป็นโรงงานผลิตน้ำประปาแห่งหนึ่งของประเทศสิงคโปร์ และยังเป็นโรงงานแห่งแรกที่นำเอาระบบเมมเบรนมาใช้ในการกรองน้ำ (Membrane-based Filtration)

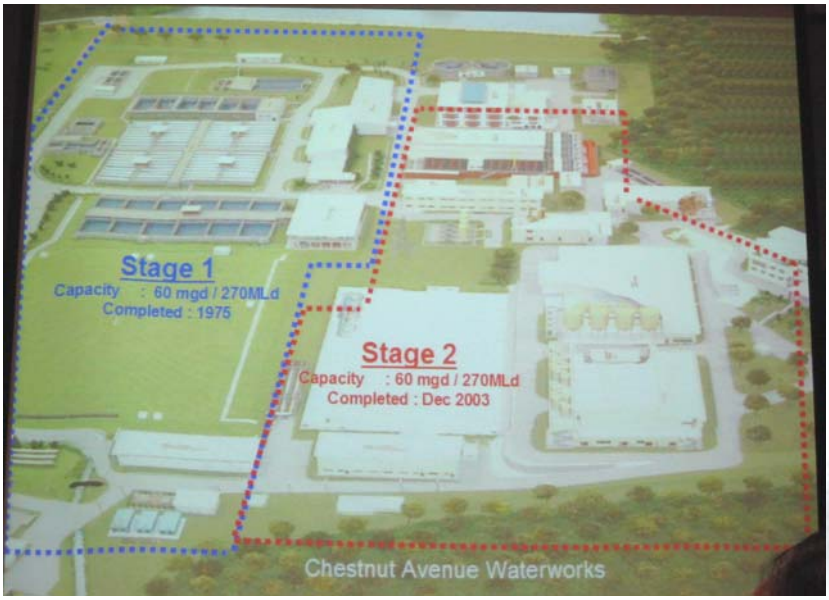
โรงงานแห่งนี้ใช้น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ Upper Peirce Reservoir ซึ่งรับน้ำจากน้ำฝนที่ตกในพื้นที่โดยรอบ และยังมีท่อรับน้ำดิบที่ส่งมาจากรัฐยะโฮร์ ประเทศมาเลเซีย มาลงในอ่างเก็บน้ำในช่วงที่ฝนตกน้อย ปริมาณน้ำในอ่างอาจไม่เพียงพอต่อการผลิตน้ำ โดยในอนาคตได้มีแผนเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำด้วยการสูบส่งน้ำจาก Marina Barrage ผ่านอุโมงค์ส่งน้ำมาลงในอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งมีแผนในการผันน้ำระหว่างอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนน้ำสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ และเพื่อความมั่นคงของการจัดการน้ำในประเทศให้พอเพียงต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต

คุณภาพน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำ Upper Peirce Reservoir มีความขุ่นอยู่ระหว่าง 1-5 เอ็นทียู (หน่วยความขุ่น ;NTU : Nephelometric Turbidity Unit) มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูป TOC (Total Organic Carbon) ตั้งแต่ 2.0 – 3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดได้ว่าเป็นน้ำดิบที่มีคุณภาพดี เนื่องจากอ่างเก็บน้ำแห่งนี้อยู่ในเขตพื้นที่อนุรักษ์ (Protected Catchments) บริเวณกลางประเทศสิงคโปร์ ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าไม้ ไม่อนุญาตให้มีการก่อสร้างหรือตั้งชุมชน เพื่อป้องกันสิ่งปนเปื้อนจากกิจกรรมของบ้านเรือนและอุตสาหกรรมมิให้ปะปนลงสู่แหล่งน้ำ



โรงงาน CAWW มีกำลังการผลิต 546,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน สูบน้ำดิบจากบริเวณกลางอ่างเก็บน้ำเข้ากระบวนการผลิตที่ประกอบไปด้วย ระบบตกตะกอนด้วยสารส้มและโพลิเมอร์ ระบบกรอง ระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน และระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำอื่น ๆ ได้แก่ การเติมฟลูออไรด์ตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุขเพื่อป้องกันฟันผุ การเติมปูนขาวเพื่อปรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ให้อยู่ระหว่าง 7.8-8.5 เพื่อป้องกันการกัดกร่อนเส้นท่อ เนื่องจากท่อน้ำประปาในสิงคโปร์เป็นท่อโลหะ (ductile iron, cast iron, steel) และมีการเติมแอมโมเนียเพื่อเปลี่ยนรูปคลอรีนอิสระให้อยู่ในรูปคลอรามีน ที่มีความคงทนในน้ำประปายาวนานกว่าคลอรีนอิสระ น้ำประปาที่ผลิตได้จะเก็บไว้ในถังเก็บน้ำใส (Clear Water Tank) ก่อนสูบส่งไปยังถังเก็บน้ำจ่าย (Service Reservoir) ที่กระจายอยู่ตามจุดต่าง ๆ ทำหน้าที่เปรียบเสมือนสถานีสูบจ่ายน้ำ เพื่อส่งน้ำเข้าระบบเส้นท่อจ่ายน้ำต่อไป



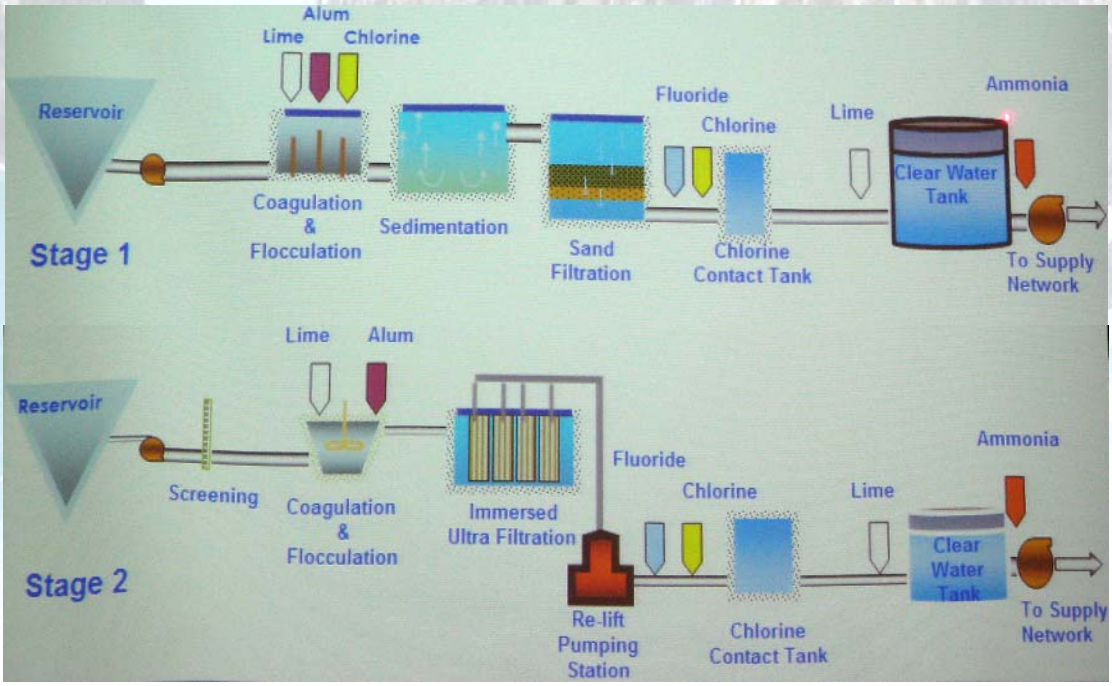


โรงงาน CAWW แบ่งออกเป็น 2 เฟสตามระยะเวลาก่อสร้าง มีกำลังการผลิตเฟสละ 273,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยมีความแตกต่างกันที่ระบบกรองน้ำ ดังนี้

1) โรงงานเฟส 1 สร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2518 ใช้ระบบกรองชนิดทรายกรองเร็ว (Rapid Sand Filtration) คุณภาพน้ำประปาที่ได้จากโรงงานนี้มีความขุ่น 0.3 เอ็นทียู

2) โรงงานเฟส 2 สร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2546 เป็นโรงงานผลิตน้ำประปาแห่งแรกของสิงคโปร์ที่ใช้ระบบกรองด้วยเมมเบรน (Membrane-based Filtration) วัตถุประสงค์ที่นำระบบเมมเบรนเข้ามาใช้ก็เพื่อยกระดับคุณภาพน้ำประปาให้มีคุณภาพดีขึ้น ปราศจากจุลสาหร่ายและสัตว์ขนาดเล็ก (micro-algae & micro-animals) ซึ่งจะก่อปัญหาสะสมในถังเก็บน้ำจ่ายและเส้นท่อ ส่งผลให้น้ำประปามีกลิ่นและรสไม่น่าดื่ม โดยคุณภาพน้ำประปาที่ได้จากโรงงานเฟส 2 มีความขุ่น 0.05 - 0.1 เอ็นทียู

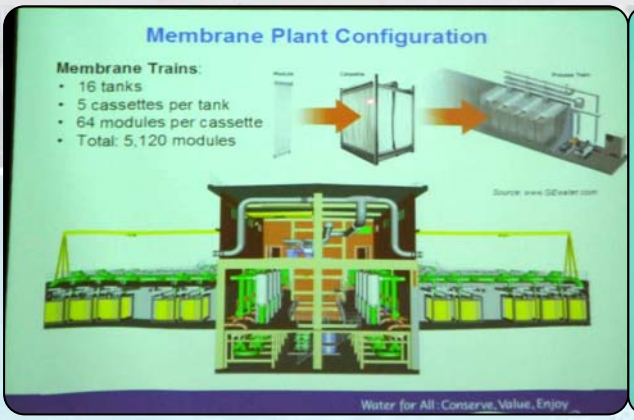
ต้นทุนผลิตน้ำของโรงงานเฟส 2 มีราคาสูงกว่าโรงงานเฟส 1 ประมาณ 2 เท่า

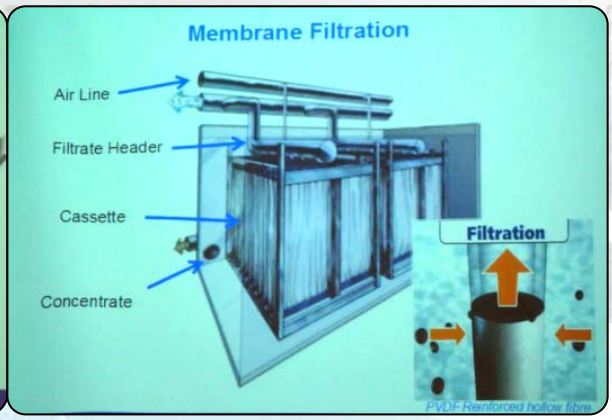


ระบบเมมเบรนที่ใช้ในโรงงานเฟส 2 นี้ ออกแบบและติดตั้งโดยบริษัท Hyflux เป็นชนิด Immersed Ultra Filtration คือ เป็นชนิดที่เมมเบรนแช่อยู่ในบ่อกรองน้ำที่จะทำการกรอง และออกแบบให้ดึงน้ำกรองออกจากเมมเบรนด้วยระบบไซฟอน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบกรองปกติที่มักออกแบบให้ใช้ปั๊มในการดึงน้ำกรองออก ซึ่งจุดนี้เป็นความแตกต่างที่สำคัญข้อหนึ่งระหว่างการใช้งานระบบกรองด้วยเมมเบรนที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า กับระบบทรายกรองแบบบ่อเปิดที่กรองน้ำจากบนลงล่างผ่านชั้นทรายด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Flow) ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของระบบกรองด้วยเมมเบรนจึงสูงกว่าระบบกรองด้วยทรายมาก

Overview of Chestnut Avenue Waterworks

Close-up view of the process trains





บ่อกรองด้วยเมมเบรนของโรงงานเฟส 2 มีทั้งสิ้น 16 บ่อ ในแต่ละบ่อประกอบไปด้วยเมมเบรน 5 ชุด (Cassettes) แต่ละชุดมีแผงเมมเบรน 64 แผง (Modules) ทั้งนี้โรงงานได้ออกแบบพื้นที่เผื่อสำหรับอนาคตหากมีความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น ก็สามารถเพิ่มจำนวนเมมเบรนได้สูงสุดถึง 28 บ่อ ซึ่งจะทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 477,800 ลูกบาศก์เมตร/วัน

โมดูลหรือแผงเมมเบรน ประกอบด้วยเส้นเมมเบรนอยู่เป็นกลุ่ม ๆ โดยเมมเบรนแต่ละเส้นมีลักษณะเป็นเส้นใยกลวง (Hollow Fiber) ที่ผิวมีรูพรุนขนาดประมาณ 0.04 ไมครอน การกรองด้วยเมมเบรนเป็นกลไกการคัดขนาด กล่าวคือ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนจะติดค้างอยู่ที่ผิวเมมเบรน ส่วนสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า รวมทั้งสารที่ละลายน้ำได้จะลอดผ่านรูพรุนเข้าไปได้ ขณะที่ทำการกรอง อนุภาคของสารแขวนลอยจะเกาะติดอยู่ที่ผิวภายนอก ส่วนน้ำใสและสารที่ละลายน้ำได้จะลอดผ่านรูพรุนเข้าไปรวมกันที่ท่อกลางเส้นเมมเบรน และส่งไปยังท่อรวบรวมน้ำต่อไป

ทั้งนี้ น้ำที่จะนำเข้าระบบกรองต้องผ่านการตกตะกอนมาก่อนแล้ว โดยควบคุมความขุ่นของน้ำตกตะกอนประมาณ 1 เอ็นทียู

การล้างเมมเบรน

เมื่อใช้งานระบบกรองไปได้ระยะเวลาหนึ่งผิวของเมมเบรนจะอุดตันไปด้วยสารแขวนลอย ทำให้ปริมาณน้ำที่กรองได้ลดลง จึงจำเป็นต้องล้างเอาสารแขวนลอยที่อุดตันนี้ออกไป เช่นเดียวกันกับการล้างบ่อกรองทราย แต่การล้างเมมเบรนจะมีวิธีการล้างที่เฉพาะมากกว่าดังนี้

1) การล้างระหว่างใช้งาน (Cleaning) ทุก ๆ 15-30 นาที ของการทำงาน จะต้องล้างด้วยลม (Air Scouring) และน้ำล้างย้อน (Back Washing) เพื่อกำจัดสิ่งอุดตันผิวเมมเบรน น้ำในบ่อกรองที่มีสารแขวนลอยจะระบายทิ้งออกจากบ่อ คิดเป็นน้ำทิ้งประมาณ 5% หลังจากนั้นจึงปล่อยน้ำจากถังตกตะกอนเข้าบ่อกรองเพื่อเริ่มการกรองรอบต่อไป

2) การล้างเพื่อบำรุงรักษา (Maintenance Cleaning) ทำทุก 1 สัปดาห์ ต้องล้างเมมเบรนด้วยสารเคมีโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 1,000 ppm (part per million) ใช้เวลาล้างประมาณ 1 ชั่วโมงต่อบ่อ

3) การล้างเพื่อฟื้นฟูสภาพ (Recovery Cleaning) ทำทุก 35 วัน ต้องล้างเมมเบรนด้วยสารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ เพื่อกำจัดการอุดตันจากสารอินทรีย์ และล้างด้วยกรดซิตริก (Citric acid) เพื่อกำจัดการอุดตันจากสารอนินทรีย์ การอุดตันลักษณะนี้เรียกว่า ฟาวลิง (Fouling) เกิดจากการสะสมของแร่ธาตุหรือสารละลายทั้งบนผิวหน้าเยื่อเมมเบรนและภายในรูพรุน ซึ่งไม่สามารถล้างออกได้ด้วยน้ำ ต้องล้างด้วยสารเคมีที่เหมาะสม

ทั้งนี้ความถี่ในการล้างเมมเบรน ชนิดสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ รวมทั้งระยะเวลาในการล้างที่เหมาะสม ต้องผ่านการศึกษาทดลองก่อน เนื่องจากจะมีสภาวะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบที่ใช้และวัสดุที่นำมาทำเมมเบรน หากไม่ทำการล้างเมมเบรนตามระยะเวลาและวิธีที่กำหนด จะส่งผลให้อัตราการกรองน้ำที่ได้ลดลงมากจนไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง และทำให้อายุของเมมเบรนสั้นลง โดยปกติอายุใช้งานของเมมเบรนอยู่ที่ประมาณ 5 ปี

อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับระบบกรองด้วยเมมเบรน

จากความจำเป็นที่ต้องมีการล้างเมมเบรนด้วยสารเคมีดังกล่าวข้างต้น ทำให้ต้องมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและเป็นส่วนหนึ่งที่เป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเดินระบบเมมเบรน ได้แก่

1. สถานที่จัดเก็บสารเคมีสำหรับล้างเมมเบรน (Chemicals Stock Tank)
2. ระบบจ่ายสารเคมีสำหรับล้างเมมเบรน (Chemicals Feeding System)
3. ระบบบำบัดสารเคมีที่ใช้แล้ว (Chemicals Waste Treatment) ซึ่งมักใช้วิธีการเติมสารเคมีชนิดอื่น ๆ เพื่อทำให้ของเสียเป็นกลาง (Neutralized) ก่อนทิ้ง

ข้อดีของระบบเมมเบรน

1. น้ำกรองที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าระบบทรายกรอง โดยมีความขุ่นต่ำกว่า สามารถกรองสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น สาหร่าย ได้ดีกว่า
2. ระบบควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติทั้งหมด ทำให้ใช้จำนวนผู้ควบคุมระบบน้อย
3. ใช้พื้นที่ก่อสร้างน้อยกว่าระบบทรายกรองในอัตราการผลิตที่เท่ากัน
4. สามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้ง่ายกว่าระบบทรายกรอง
5. หากต้องการยกระดับคุณภาพน้ำให้สูงขึ้นในอนาคตทำได้ง่าย ด้วยการเปลี่ยนชนิดของเมมเบรนให้มีรูพรุนขนาดเล็กลง

ข้อจำกัดของระบบเมมเบรน

1. ระบบเมมเบรน Micro & Ultra Filtration ไม่สามารถกำจัดความเค็ม สี และสารอินทรีย์ได้
2. น้ำตกตะกอนก่อนเข้าสู่ระบบกรองเมมเบรน ต้องควบคุมคุณภาพอย่างเคร่งครัด และต้องมีคุณภาพดีกว่าน้ำตกตะกอนที่เข้าสู่ระบบทรายกรองมาก
3. กรณีระบบผลิตน้ำตกตะกอนมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ อาจมีความจำเป็นต้องเพิ่มระบบกรองหยาบ เช่น Fine Screen ขนาด 1 มิลลิเมตร ก่อนส่งน้ำเข้าสู่ระบบเมมเบรน
4. ถ้ากระบวนการที่เกี่ยวข้องไม่สมบูรณ์จะไม่สามารถเดินระบบได้อย่างทันที เช่น ระบบลมไม่ทำงาน ระบบจ่ายสารเคมีสำหรับล้างชำรุด เป็นต้น
5. ต้องการการบำรุงรักษาสูง และเป็นไปตามวิธีที่ผู้ผลิตกำหนดอย่างเคร่งครัด
6. ผู้ควบคุมการเดินเครื่อง (operator) ต้องมีความรู้และความเชี่ยวชาญ
7. ผู้ซ่อมแซมต้องมีความรู้ ทักษะและความเชี่ยวชาญ ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีผู้เชี่ยวชาญด้านนี้ บริษัทผู้ค้าภายในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นตัวแทนจำหน่าย โดยบุคลากรด้านการติดตั้งและซ่อมบำรุงจะส่งมาเป็นครั้งคราวจากบริษัทแม่ในต่างประเทศ
8. เมมเบรนมีอายุการใช้งานจำกัด ต้องเปลี่ยนใหม่ทุก 5 ปี
9. ต้นทุนการผลิตน้ำสูงกว่าระบบปกติ

ข้อควรคำนึงถึงกรณีนำระบบเมมเบรนมาทดแทนระบบทรายกรอง ใน กปน.

1. **ความจำเป็นในการยกระดับคุณภาพน้ำของ กปน.** ซึ่งปัจจุบันผลิตน้ำประปาที่มีความขุ่นระหว่าง 0.3 – 1.0 เอ็นทียู หากจะพิจารณายกระดับคุณภาพน้ำประปาให้ดีกว่านี้จะเหมาะสมหรือไม่ โดยควรพิจารณาถึงความต้องการของผู้ใช้น้ำในภาคครัวเรือนที่ใช้เพื่อการอุปโภค ส่วนภาคอุตสาหกรรมก็ใช้เพื่องานทำความสะอาดเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ประเทศสิงคโปร์มีความต้องการการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมสูงถึง 55% และจะเพิ่มมากขึ้นเป็น 70% ในอีก 50 ปีข้างหน้า โดยอุตสาหกรรมหลักเป็นกลุ่มอิเล็กโทรนิคส์ ไฟฟ้า โรงงานฟอกย้อม ที่ต้องการใช้น้ำคุณภาพสูง
2. **ระบบจัดเก็บและท่อสูบจ่ายน้ำประปาของ กปน. จำเป็นต้องแยกต่างหากหรือปรับปรุง** เนื่องจากในโรงงานผลิตน้ำมีถังเก็บน้ำจำกัดเพียง 1-2 ถังและเชื่อมต่อกันทั้งหมด น้ำที่ผลิตได้จากสายการผลิตต่าง ๆ จะส่งมารวมกันก่อนสูบจ่าย และเมื่อสูบจ่ายออกไปน้ำประปาจากโรงงานแต่ละแห่งจะไปผสมกันในเส้นท่อ เนื่องจากลักษณะการสูบจ่ายของ กปน. ออกแบบไว้ให้โรงงานทุกแห่งสามารถผันน้ำประปาเสริมกันได้ หากนำ

ระบบเมมเบรนมาใช้โดยไม่แยกระบบจัดเก็บและระบบสูบจ่าย ก็จะทำให้น้ำประปาคุณภาพสูงความขุ่นเพียง 0.1 เอ็นทียู ไปปะปนกับน้ำประปาคุณภาพ 0.3 - 1.0 เอ็นทียู นอกจากนั้นเมื่อเข้าสู่ระบบเส้นท่อจ่ายที่ควบคุมการวางและซ่อมแซมท่อไม่ดีพอ ก็จะทำให้น้ำประปาคุณภาพดีที่ผลิตได้สูญเสียคุณภาพไปด้วย ในขณะที่ประเทศสิงคโปร์ระบบเส้นท่อเป็นโลหะมีความคงทนไม่แตกรั่วง่าย จึงป้องกันการปนเปื้อนของน้ำประปาได้เป็นอย่างดี

3. **ราคาน้ำประปาของ กปน.ไม่เอื้ออำนวย** โดยปัจจุบัน กปน. ขายน้ำในราคาประมาณ 10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร โดยเป็นราคาที่ถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งเป็นราคาที่ไม่สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของน้ำประปา การลงทุนเพื่อการผลิตน้ำประปาคุณภาพสูงย่อมตามมาด้วยต้นทุนที่สูงขึ้น อาจนำมาซึ่งความจำเป็นที่จะต้องขึ้นราคาน้ำประปาเพื่อไม่ให้ประสบภาวะขาดทุน ในขณะที่ประเทศสิงคโปร์ใช้กลไกด้านราคาเพื่อควบคุมปริมาณการใช้น้ำของประชาชน และในขณะเดียวกันก็สามารถนำกำไรส่วนต่างมาใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้อย่างเต็มที่