

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของระบบ ผลิตน้ำรีไซเคิลจากน้ำเสีย กรณีศึกษา: โรงงานผลิตรถยนต์

Technical and Financial Feasibility Study on Recycle Water Treatment System from Wastewater: A Case Study of Automobile Manufacturer

นันทชัย กานตานันทะ¹ ชเนตตี พูลพิพัฒน์²

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900

¹nantachai.k@ku.ac.th

²chanettee.p@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตและการอุปโภคภายในโรงงานและผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแล้วไปรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนการใช้น้ำประปา โดยการศึกษาทางด้านเทคนิคของระบบผลิตน้ำรีไซเคิลจากน้ำเสียจะวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรน 4 ประเภท ได้แก่ ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน นาโนฟิลเตรชัน และรีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรน เพื่อเลือกเยื่อกรองเมมเบรนที่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียของโรงงานและแนวทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคไปวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อพิจารณาตัดสินใจในการลงทุน โดยผลการศึกษาทางด้านเทคนิคพบว่าระบบผลิตน้ำรีไซเคิลจากน้ำเสียควรประกอบด้วยหน่วยเยื่อกรอง 2 หน่วยหลัก คือ หน่วยผลิตน้ำสะอาดซึ่งมีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนเป็นหน่วยเยื่อกรองและหน่วยผลิตน้ำบริสุทธิ์ซึ่งมีรีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรนเป็นหน่วยเยื่อกรอง การวิเคราะห์ทางการเงิน ณ อัตราคิดลดร้อยละ 10 พบว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 1,007,668.46 บาท อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับ 11.11% ซึ่งมากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.03 และมีระยะเวลาคืนทุนคิดลดเท่ากับ 13 ปี 2 เดือน แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความเป็นไปได้ในการลงทุน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ในช่วง $\pm 25\%$ มี 4 ปัจจัย คือ ต้นทุนการก่อสร้าง ผลตอบแทน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและอัตราส่วนคิดลด พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลกระทบทำให้โครงการไม่มีความเหมาะสมในการลงทุน คือ ต้นทุนการก่อสร้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ผลตอบแทนลดลงร้อยละ 5 และอัตราคิดลดเพิ่มขึ้นร้อยละ 15

คำสำคัญ: น้ำรีไซเคิล, น้ำเสีย, เมมเบรน, การวิเคราะห์ทางการเงิน, การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

ABSTRACT

The objective of this research is to study the possibility to take the wastewater from production and processes in the factory which are already treated by the wastewater treatment system to recycle in order to replace the tap water. The technical study of the recycle water treatment system from wastewater compares the properties of four

membrane types including microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis membranes to choose ones that are appropriate with the characteristics of the wastewater from the factory. The technical feasible alternative is then analyzed the financial aspects for decision making. According to the technical study result, it shows that the recycle water treatment system from wastewater should consist of two main membrane units, the pre-treatment unit with a microfiltration membrane and the purified unit with a reverse osmosis membrane regeneration. For the financial analysis at 10% discount rate, it shows that the net present value is 1,077,668.46 baht, the internal rate of return is 11.11% which is higher than the minimum attractive rate of return, the benefit/cost ratio is 1.03 and the discount payback period is 13 years and 2 months, indicating that the project is feasible to invest. The sensitivity analysis varies four factors within the range of $\pm 25\%$ including the capital investment cost, the benefit, the operating expenses and the discount rate. The changes in the factors that result in the infeasibility of the project are 10% increase in the capital investment cost, 10% increase in the operating expenses, 5% decrease in the benefit and 15% increase in the discount rate.

Keywords: Recycle Water, Wastewater, Membrane, Financial Analysis, Sensitivity Analysis.

1) บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและยังเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำเป็นทรัพยากรที่มีปริมาณมากถึง 2 ใน 3 ของโลก แต่มีปริมาณน้ำจืดเพียงร้อยละ 0.003 เท่านั้น ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ การขยายการลงทุนของภาคอุตสาหกรรมทำให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะขาดแคลนน้ำ หากการขาดแคลนน้ำถึงขั้นวิกฤติ ทุกชีวิตและทุกอุตสาหกรรมย่อมได้รับความเดือดร้อน ฉะนั้น ในการแก้ไขปัญหาวิกฤติน้ำจึงเป็นหน้าที่ของประชาชน ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมและหน่วยงานราชการหลักที่

รับผิดชอบ ซึ่งตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการนำเอามาตรการต่าง ๆ เข้ามาใช้ควบคุมบรรณรค์ เช่น มาตรการควบคุมการระบายน้ำทิ้งของภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรม และการชักชวนให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมนำเอาน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้งด้วยการปรับปรุงคุณภาพน้ำ (Water Reclamations) ให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ใหม่หรือปล่อยคืนสู่สภาพแวดล้อม และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Water Reuse) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำให้มากที่สุด

การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ เป็นกระบวนการนำน้ำที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรม ครัวเรือน เกษตรกรรมหรือกิจกรรมใด ๆ ไปผ่านกระบวนการบำบัดใหม่ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่มีคุณภาพจนได้น้ำที่สามารถนำมาใช้ใหม่ในลักษณะต่างๆ อย่างเหมาะสม สำหรับประโยชน์โดยตรงของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ คือ สามารถประหยัดงบประมาณรายจ่ายค่าน้ำประปาและลดปริมาณการใช้น้ำประปา ตัวอย่างการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ เช่น ใช้ในอาคาร โรงเรียน อาคารสำนักงาน โรงแรม [1] หรือศูนย์การค้า โดยเป็นการนำน้ำมาใช้ในกิจกรรมที่ไม่ใช่เพื่อการบริโภค เช่น การใช้ในระบบชักโครก [2] ระบบดับเพลิง ใช้ในการทำ ความเย็น ใช้ในการทำความสะดวกพื้น หรือล้างรถ เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

โรงงานผลิตรถยนต์กรณีศึกษามีการใช้น้ำประปาในกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ ใช้ในกระบวนการผลิตรถยนต์ ระบบหล่อเย็น น้ำอุปโภค รดน้ำต้นไม้และอื่นๆ ซึ่งมีข้อมูลปริมาณและสัดส่วนการใช้น้ำประปาต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ปริมาณและสัดส่วนการใช้น้ำประปาของโรงงานผลิตรถยนต์กรณีศึกษา

กิจกรรม	ปริมาณ (ลบ.ม./วัน)	สัดส่วน (ร้อยละ)
กระบวนการทำสี		
- ขั้นตอนการล้างและเตรียมผิว	38	3
- ขั้นตอนการขัดน้ำ	302	21
ระบบหล่อเย็น	714	51
น้ำอุปโภค	338	24
รดน้ำต้นไม้และอื่นๆ	12	1
รวม	1,404	100

กิจกรรมการใช้น้ำดังกล่าวก่อให้เกิดเป็นน้ำเสียปริมาณมาก ประมาณ 1,260 ลบ.ม./วัน โดยน้ำเสียมีลักษณะของสิ่งปนเปื้อนประเภทโลหะหนัก น้ำมันและกากตะกอนต่างๆ ซึ่งปัจจุบันมีการจัดการน้ำเสียทั้งหมดโดยนำมาผ่านระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานจนน้ำเสียมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงปล่อยทิ้งสู่ภายนอก

การปล่อยน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแล้วในแต่ละวันของโรงงานมีปริมาณมาก จึงได้เห็นความสำคัญที่จะนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยการนำเทคโนโลยีระบบผลิตน้ำรีไซเคิลจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้เพื่อทำให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้ทดแทนการใช้น้ำประปาภายในโรงงาน เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำประปาและลดต้นทุน

การผลิตและยังเป็นการสนองต่อนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมด้วยการลดผลกระทบจากการปล่อยน้ำเสียสู่แหล่งน้ำภายนอก ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของการใช้ระบบผลิตน้ำรีไซเคิลจากน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีเมมเบรนและศึกษาผลกระทบต่อการตัดสินใจของโครงการกรณีมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ

2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1) แนวคิดเกี่ยวกับการประเมินโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้หรือการประเมินโครงการทางด้านต่าง ๆ จัดทำขึ้นเพื่อให้มั่นใจได้ว่าโครงการที่เลือกมานั้นมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ มีผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ที่คุ้มค่าต่อการลงทุน สามารถทำให้บรรลุได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและเวลา ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์โครงการทางด้านอุปสงค์หรือตลาด ทางด้านเทคนิค ทางด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ ทางด้านการบริหารจัดการ ทางด้านสังคม และสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์โครงการทางการเงิน (Financial Analysis) จะเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนหรือรายได้ที่เกิดจากโครงการกับต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในรูปของตัวเงินในลักษณะของความสามารถในการทำกำไร จะใช้เวลาต้นทุนนานแค่ไหนรวมทั้งประมาณการแนวโน้มในอนาคตว่าจะก่อให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าต่อการลงทุนมากน้อยแค่ไหนโดยคิดมูลค่าตามราคาลดเพื่อทำให้การตัดสินใจลงทุนมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยในการวิเคราะห์จะมีการจัดทำประมาณการกระแสเงินสดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตแล้วนำมาคำนวณผ่านตัวชี้วัดที่สำคัญ ได้แก่

2.1.1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คำนวณได้จากสมการ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I \quad (1)$$

เมื่อ

- CF_t คือ กระแสเงินสดสุทธิ ณ ปีที่ t
 I คือ เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ ณ ปีที่ 0
 k คือ อัตราคิดลด
 n คือ อายุของโครงการ

2.1.2) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คำนวณได้จากสมการ

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+p)^t} \quad (2)$$

เมื่อ

- p คือ อัตราผลตอบแทนภายใน

2.1.3) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit/Cost Ratio: B/C Ratio) คำนวณได้จากสมการ

$$B / C \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}} \quad (3)$$

เมื่อ

B_t คือ กระแสเงินสดรับ ณ ปีที่ t
 C_t คือ กระแสเงินสดจ่าย ณ ปีที่ t

2.1.4) ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period: DPB) คัดจากการแปลงกระแสเงินสดสะสมที่ได้รับในอนาคตให้เป็นมูลค่าปัจจุบันก่อน คำนวณได้จากสมการ

$$DPB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + (\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน} / \text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}) \quad (4)$$

การวิเคราะห์โครงการทางการเงินจะเน้นที่ตัวเงินโดยคิดมูลค่าตามราคาลด [3]

2.1.5) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) เป็นการศึกษาความไม่แน่นอนเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลต่อโครงการและการตัดสินใจโดยการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยต่างๆ โดยค่าตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ตลอดอายุโครงการ [4]

2.2) แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการรีไซเคิลน้ำ

กระบวนการรีไซเคิลน้ำ ประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก คือ การบำบัดขั้นต้น (Primary) การบำบัดขั้นที่ 2 (Secondary) และการบำบัดขั้นที่ 3 (Tertiary) เป็นกระบวนการลดปริมาณแร่ธาตุในน้ำเสียและเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีคุณภาพดีพอสำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เทคโนโลยีการผลิตน้ำสะอาดให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้เทคโนโลยีเมมเบรน [5]

2.3) แนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการกรองด้วยเมมเบรน

เทคโนโลยีการกรองด้วยเมมเบรน เป็นกระบวนการกรองแบบหนึ่งโดยใช้เมมเบรน (Membrane) เป็นตัวกรองซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะการนำน้ำกลับมาใช้จากระบบบำบัดน้ำเสีย กระบวนการกรองโดยใช้เทคโนโลยีเมมเบรนในระดับต่างๆ ที่มีใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ ไมโครฟิเตรชัน (Microfiltration: MF) อัลตราฟิเตรชัน (Ultrafiltration: UF) นาโนฟิเตรชัน (Nanofiltration: NF) และ รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis: RO) [5]

การคำนวณอัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่อปริมาตรน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำสะอาด (Percent Recovery) สามารถคำนวณได้จากสมการ [6]

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ

$R(\%)$ คือ Percent Recovery
 C_p คือ ปริมาตรน้ำสะอาดที่ผลิตได้
 C_f คือ ปริมาตรน้ำดิบที่ใช้ผลิต

การตรวจสอบประสิทธิภาพการกรองของเมมเบรน คือ ค่าพอมิเอทฟลักซ์ (Permeate Flux) หรือ ค่าอัตราการไหลของน้ำกรองผ่านพื้นที่ผิวเมมเบรนมีหน่วยเป็นปริมาตรต่อพื้นที่ผิวเมมเบรนต่อเวลาสามารถคำนวณได้จากสมการ [7]

$$J_p = \frac{V}{A_m \times q} \quad (6)$$

เมื่อ

J_p คือ พอมิเอทฟลักซ์ (Permeate Flux)
 V คือ ปริมาณของน้ำพอมิเอท
 A_m คือ พื้นที่การกรองของเมมเบรน
 q คือ เวลาที่น้ำพอมิเอทสะสม ณ ช่วงเวลากรอง

2.4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Adrian et al. [8] กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เมมเบรนเป็นระบบผลิตน้ำรีไซเคิลเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณา ได้แก่ ต้นทุนในการติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ติดตั้งระบบ เช่น ท่อ วาล์ว ปั๊มน้ำ เครื่องมือวัด และระบบควบคุม นอกจากนั้นยังมีค่าใช้จ่ายหลังจากการติดตั้งระบบ คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาระบบ ผู้ศึกษาได้นำงานวิจัยนี้มาใช้พิจารณาปัจจัยต่างๆ ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินเพื่อการลงทุน

Ordóñez et al. [9] ศึกษาประสิทธิภาพของเทคโนโลยีแผ่นเยื่อกรอง 3 ชนิด คือ ไมโครฟิเตรชัน อัลตราฟิเตรชันแบบทอเม้วนและอัลตราฟิเตรชันแบบเส้นใยกลวง เพื่อนำมาใช้เป็นหน่วยเยื่อกรอง Pre-Treatment ก่อนเข้าหน่วยกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส เพื่อบำบัดน้ำเสียแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ในโรงงานผลิตกระดาษ โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเทคนิคของเยื่อกรองแต่ละแบบและสร้างเป็นหน่วยกรองทดสอบ จากงานวิจัยนี้ผู้ศึกษาได้นำแนวทางการวิเคราะห์ด้านเทคนิคมาใช้ในการพิจารณาเลือกชนิดเมมเบรนที่มีคุณสมบัติเหมาะสม

3) วิธีการศึกษางานวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของระบบผลิตน้ำรีไซเคิลจากน้ำเสียกรณีศึกษาโรงงานผลิตถยนต์ มีแนวทางวิธีการศึกษา ดังนี้

3.1) การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามี ดังนี้

1. ข้อมูลคุณภาพน้ำทั้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2559 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นน้ำดิบสำหรับเข้าสู่ระบบผลิตน้ำรีไซเคิล ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ค่าเฉลี่ยข้อมูลคุณภาพน้ำทั้งเดือน ม.ค.-ธ.ค. 2559

ดัชนีคุณภาพน้ำทั้ง	หน่วย	ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทั้ง
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	7.6
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (SS)	มก./ล.	24.8
ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS)	มก./ล.	1,962.7
ค่าบีโอดี (BOD)	มก./ล.	9.9
ค่าซีโอดี (COD)	มก./ล.	55.8
น้ำมันและน้ำมันหล่อลื่น (Oil & Grease)	มก./ล.	3.0
สังกะสี (Zn)	มก./ล.	2.4
นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	0.8
ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.2
แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	2.3

แหล่งที่มา : โรงงานการศึกษา

2. ข้อมูลรายละเอียดด้านเทคนิคของระบบผลิตน้ำรีไซเคิลโดยขอข้อมูลจากบริษัทผู้ติดตั้งระบบ

3. ข้อมูลรายละเอียดด้านเทคนิคของเมมเบรนเพื่อใช้ศึกษาความเป็นไปได้โดยขอข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

4. ข้อมูลต้นทุน ค่าใช้จ่าย สำหรับการวิเคราะห์ด้านการเงิน

3.2) การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1) การวิเคราะห์ด้านเทคนิค เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเทคนิคของเมมเบรนที่ใช้ในระบบผลิตน้ำรีไซเคิลเพื่อเลือกเมมเบรนที่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียของโรงงานและการวิเคราะห์อยู่ภายใต้ข้อกำหนดความต้องการของโรงงาน คือ ระบบสามารถผลิตน้ำรีไซเคิลได้อย่างน้อย 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เหมาะกับลักษณะน้ำเสียของโรงงาน สามารถกรองน้ำให้มีคุณภาพ โดยมีค่าดัชนีสารแขวนลอย (SDI) น้อยกว่า 5 มีค่าความขุ่น น้อยกว่า 1 NTU และกรองน้ำให้ปราศจากสิ่งปนเปื้อนและโลหะหนักโดยมีคุณภาพน้ำเทียบเท่ากับน้ำประปา ทั้งนี้ประเภทของเมมเบรนที่สามารถนำมาใช้เป็นหน่วยเยื่อกรองในระบบผลิตน้ำรีไซเคิลมีอยู่ 4 ประเภท ได้แก่ ไมโครฟิลเตรชัน เมมเบรน (MF) อัลตราฟิลเตรชัน เมมเบรน (UF) นาโนฟิลเตรชัน เมมเบรน (NF) และรีเวอร์สออสโมซิส เมมเบรน (RO) โดยรุ่นที่ได้นำมาศึกษาสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้านเทคนิคมีดังนี้

1. วิเคราะห์คุณสมบัติของเมมเบรนแต่ละประเภทเพื่อพิจารณาเลือกประเภทเมมเบรนที่มีความเหมาะสม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 และ 5

2. คำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากการกรองจากเมมเบรนเพื่อนำไปคำนวณหาจำนวนเมมเบรน (Membrane Module) ที่ต้องใช้ในระบบผลิตน้ำรีไซเคิล

3. ศึกษาข้อมูลและส่วนประกอบทั้งหมดของเทคโนโลยีระบบผลิตน้ำรีไซเคิล

3.2.2) การวิเคราะห์ด้านการเงิน โดยการประเมินต้นทุนของระบบผลิตน้ำรีไซเคิลตามทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ทางเทคนิค ซึ่งต้นทุนที่พิจารณา คือ ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนการดำเนินงาน และต้นทุนการบำรุงรักษา และนำมาจัดทำเป็นงบกระแสเงินสดเพื่อวิเคราะห์ผลทางการเงิน ณ อัตราคิดลด 10% ซึ่งพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำของโครงการ ใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (DPB) และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

3.3) สรุปผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงิน

สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคเพื่อเลือกเมมเบรนที่เหมาะสมและทางด้านการเงินโดยการพิจารณาตัวชี้วัดว่าระบบผลิตน้ำรีไซเคิลมีความเป็นไปได้ทางการเงินหรือไม่

ตารางที่ 3: เมมเบรนที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ด้านเทคนิค

ประเภทเมมเบรน	ผู้ผลิต	รุ่น
ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน (MF)	A	A-MF
อัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน (UF)	B	B-UF
นาโนฟิลเตรชันเมมเบรน (NF)	B	B-NF
รีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรน (RO)	B	B-RO

แหล่งที่มา : บริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 4: คุณสมบัติทั่วไปของเมมเบรนแต่ละประเภท

เมมเบรน	คุณสมบัติทั่วไป
MF	- ขนาดรูพรุน 0.1-10 ไมครอน - ความสามารถกรองอนุภาค : คอลลอยด์หรืออนุภาคขนาดใหญ่ สารแขวนลอยที่ทำให้ให้น้ำขุ่น แบคทีเรีย ไขมัน
UF	- ขนาดรูพรุน 0.002-0.1 ไมครอน - ความสามารถกรองอนุภาค : กำจัดความขุ่นและสี คอลลอยด์ หรืออนุภาคขนาดเล็ก แบคทีเรีย ไขมัน โปรตีน
NF	- ขนาดรูพรุน 0.001-0.004 ไมครอน - ความสามารถกรองอนุภาค : สารอนินทรีย์บางชนิดที่ทำให้น้ำกระด้าง สารละลายเกลือ แบคทีเรีย น้ำตาล ไขมัน โปรตีน
RO	- ขนาดรูพรุน 0.001-0.004 ไมครอน - ความสามารถกรองอนุภาค : สารอนินทรีย์ทั้งหมดที่ทำให้น้ำกระด้าง สารละลายเกลือ แบคทีเรีย น้ำตาล ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ แยกสารเคมีโลหะหนัก เช่น ตะกั่วปรอท แคดเมียม ออกจากน้ำ ได้ 95%-99.8%

แหล่งที่มา : บริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 5: คุณสมบัติจำเพาะของเมมเบรนแต่ละประเภท

คุณสมบัติ	หน่วย	ไมโครฟิลเตรชัน (MF)	อัลตราฟิลเตรชัน (UF)	นาโนฟิลเตรชัน (NF)
คุณสมบัติจำเพาะ (Product Specification)				
ขนาดแผ่นรูพรุน (Pore Size)	ไมครอน	0.1	0.03	0.001
รูปร่าง (Membrane Module)	-	Hollow Fiber	Hollow Fiber	Spiral Wound
พื้นที่การกรอง (Membrane Area)	ตร.ม.	50	77	38
Recovery Rate	%	95-98	90-97	85-95
การทำงานของไส้กรอง (Filtration Mode)	-	Outside-in	Outside-in	Outside-in
วัสดุ (Material)	-	PVDF	PVDF	PA
พารามิเตอร์การใช้งาน (Operating Parameter)				
อัตราการกรอง (Filtrate Flux)	ล./ตร.ม./ชม.	57-72	40-120	57-67
อุณหภูมิ (Operating Temperature)	องศาเซลเซียส	40	40	45
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH Range)	-	1-10	2-11	3-10
ค่าคลอรีนอิสระ (Free Chlorine Tolerance)	ppm	-	-	< 0.1
ดัชนีสารแขวนลอย (Feed SDI)	-	-	-	< 5
ประสิทธิภาพ (Performance)				
ค่าความขุ่น (Turbidity)	NTU	< 0.08	≤ 0.1	< 0.01
ดัชนีสารแขวนลอย (Expect SDI)	-	< 2-3	≤ 2.5	< 0.1
อายุการใช้งาน (Useful Life)	ปี	7-10	7-10	3
การทำความสะอาด (Cleaning Mode)	เดือน/ครั้ง	4-6	1-3	1-3
ความถี่ในการล้างทำความสะอาดเฉลี่ย	เดือน/ครั้ง	5	2	2
ระยะเวลาการเปลี่ยนเมมเบรนเฉลี่ย	ปี/ครั้ง	8	8	3
ราคา (Cost Range)	บาท	45,000-55,000	60,000-100,000	110,000-120,000

แหล่งที่มา : บริษัทผู้ผลิต

4) ผลการศึกษางานวิจัย

4.1) การวิเคราะห์ด้านเทคนิค

4.1.1) ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ด้านเทคนิค

ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั้งหลังผ่านระบบบำบัดของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2559 พบว่ามีค่าไม่เกินไปจากค่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นน้ำดิบเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำรีไซเคิล และสามารถวิเคราะห์เลือกเยื่อกรองเมมเบรนได้อย่างเหมาะสม

4.1.2) ผลการวิเคราะห์ด้านเทคนิค

1. การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเทคนิค

จากตารางที่ 4 ผลการศึกษาพบว่ารีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรน มีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถใช้เป็นเยื่อกรองทำให้น้ำมีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของโรงงานโดยมีคุณสมบัติ คือ กรองสารเคมี โลหะหนัก จำพวก ตะกั่ว ปรอท แคดเมียมออกได้ และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติจำเพาะพบว่า สามารถกรองน้ำให้เหลือค่า SDI น้อยกว่า 0.1 และค่าความขุ่น น้อยกว่า 0.01 NTU แต่รีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรนมีข้อด้อยคือ มีขนาดรูพรุนที่เล็กที่สุด ไวต่อการอุดตัน น้ำดิบที่จะป้อนเข้าต้องเป็นน้ำสะอาดมาก จึงทำให้จำเป็นต้องมีหน่วยผลิตน้ำสะอาดหรือหน่วยกรอง Pre-Treatment เพื่อเตรียมน้ำให้มีคุณภาพดีเป็นการลดภาระการกรองของรีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรนและเกิดประสิทธิภาพการกรอง

สูงสุด จึงได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติจำเพาะของเมมเบรน 3 ประเภทที่เลือกเพื่อเลือกมาใช้เป็นเยื่อกรองสำหรับผลิตน้ำสะอาด

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติจำเพาะของเมมเบรน เพื่อนำมาใช้เป็นเยื่อกรองสำหรับผลิตน้ำสะอาดหรือหน่วยกรอง Pre-Treatment

การวิเคราะห์คุณสมบัติจำเพาะของเมมเบรน 3 ประเภท พบว่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและมีผลต่อการใช้พิจารณาเลือกเมมเบรนที่มีความเหมาะสมและเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการนำมาใช้เป็นเยื่อกรองสำหรับผลิตน้ำสะอาด (Pre-Treatment) ให้แก่วอร์สออสโมซิสเมมเบรน คือ วัสดุของเมมเบรนที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของคลอรีนได้ดี เพื่อยืดอายุการใช้งานให้แก่วอร์สออสโมซิสเมมเบรนเนื่องจากไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของคลอรีนได้ เปอร์เซ็นต์ Recovery Rate และอัตราการกรองที่สูงซึ่งจะแสดงถึงความสามารถในการกรองของเมมเบรน สำหรับการกำจัดความขุ่นและดัชนีสารแขวนลอยในน้ำ โดยทั่วไปแล้วเมมเบรนที่มีมาตรฐานการผลิตและได้รับการรับรองจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและดัชนีสารแขวนลอยออกไปได้และทำให้ค่าน้ำที่ผ่านการกรองเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

เมื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากการกรองด้วยเมมเบรนด้วยสมการที่ 5 จะสามารถนำไปคำนวณหาจำนวนเมมเบรนที่ต้องใช้ในระบบผลิตน้ำรีไซเคิลจากสมการที่ 6 ซึ่งผลการคำนวณสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6: ผลการคำนวณจำนวนเมมเบรนที่ใช้ในระบบผลิตน้ำรีไซเคิล

คุณสมบัติ	หน่วย	ไมโครฟิลเตรชัน (MF)	อัลตราฟิลเตรชัน (UF)	นาโนฟิลเตรชัน (NF)
ผลการคำนวณภายใต้ข้อกำหนดของโรงงาน : ผลิตน้ำรีไซเคิลได้ 1,000 ลบ.ม./วัน				
จำนวนเมมเบรนที่ต้องใช้	ท่อน	14	7	19
ปริมาณน้ำที่ได้จากกรองผ่านเมมเบรน	ลบ.ม./ชม.	42	42	42
ราคาต่อท่อน x จำนวนเมมเบรน	บาท	630,000-770,000	420,000-700,000	1,320,000-2,280,000

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติจำเพาะจากตารางที่ 5 และผลการคำนวณจากตารางที่ 6 พบว่านาโนฟิลเตรชันเมมเบรนไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากผลิตจากวัสดุโพลีเอไมด์ (PA) ซึ่งไม่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของคลอรีนจึงไม่สามารถป้องกันคลอรีนให้แก่รีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรนได้ มีการใช้จำนวนเมมเบรนที่มากที่สุด มีราคาต่อท่อนสูง มีความถี่ในการเปลี่ยนเมมเบรนบ่อย จึงไม่มีความเหมาะสมในแง่ค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดของน้ำดิบที่ป้อนเข้าเยื่อกรองที่

ต้องมีค่าคลอรีนอิสระ น้อยกว่า 0.1 และค่า SDI น้อยกว่า 5 จึงมีความยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับชุดกำจัดคลอรีน

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างไมโครฟิลเตรชันกับอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนด้านคุณสมบัติการบำรุงรักษา โดยเมื่อนำมาเดินระบบร่วมกับรีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรนที่เป็นเยื่อกรองในหน่วยผลิตน้ำบริสุทธิ์ เพื่อพิจารณาเลือกเพียงหนึ่งทางเลือกที่มีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการนำมาใช้เป็นหน่วยผลิตน้ำสะอาดในระบบผลิตน้ำรีไซเคิล โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7: ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเทคนิคในการบำรุงรักษาระหว่างไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนกับอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน

คุณสมบัติ	หน่วย	ไมโครฟิลเตรชัน-รีเวอร์สออสโมซิส (MF-RO)	อัลตราฟิลเตรชัน-รีเวอร์สออสโมซิส (UF-RO)
1. การทำความสะอาดแบบ Cleaning In Place (CIP)			
จำนวนเมมเบรนที่ต้องใช้ในระบบ	ท่อน	MF = 14 / RO = 21 รวม 35	UF = 7 / RO = 21 รวม 28
ความถี่ในการล้างทำความสะอาดระบบ	ครั้ง/ปี	3	6
ค่าสารเคมีและค่าแรงในการทำความสะอาดระบบ	บาท/ท่อนครั้ง บาท/ครั้ง	1,000 35,000 (1,000 x 35)	1,000 28,000 (1,000 x 28)
รวมค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาด	บาท/ปี	105,000 (35,000 x 3)	168,000 (28,000 x 6)
ระยะเวลาที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดทั้งระบบ	ชั่วโมง	27 ชั่วโมง (MF = 14 x 80 = 1,120 นาที) (RO = 21 x 23 = 483 นาที)	22 ชั่วโมง (UF = 7 x 120 = 840 นาที) (RO = 21 x 23 = 483 นาที)
ปริมาณน้ำรีไซเคิลที่สูญเสียในช่วงพักล้าง (ข้อกำหนด: ผลิตน้ำรีไซเคิล 1,000 ลบ.ม./วัน)	ลบ.ม.	1,125	918
ค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้น้ำประปาแทนช่วงพักล้าง (อัตราค่าน้ำประปา 15.81 บาท/ลบ.ม.)	บาท	17,786.25 (1,125 x 15.81)	14,513.58 (918 x 15.81)
รวมค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้น้ำประปาแทนช่วงพักล้าง	บาท/ปี	53,358.75 (17,786.25 x 3)	87,081.48 (14,513.58 x 6)
รวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบในส่วนอุปกรณ์เมมเบรน	บาท/ปี	158,358.75	255,081.48
2. การเปลี่ยนเมมเบรน			
ระยะเวลาในการเปลี่ยนเมมเบรน	ปี/ครั้ง	8	8

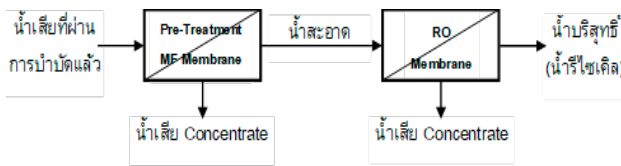
จากการวิเคราะห์ตารางที่ 5 และ 7 พบว่าเมมเบรนทั้ง 2 ประเภทมีคุณสมบัติเหมาะสมด้านเทคนิคในการเป็นหน่วยผลิตน้ำสะอาด โดยสามารถกรองน้ำให้เป็นไปตามข้อกำหนดของโรงงานได้ แต่ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสำหรับระบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนเท่ากับ 158,358.75 บาทต่อปี ซึ่งน้อยกว่าระบบที่ใช้อัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 255,081.48 บาทต่อปี ดังนั้น จึงเลือกไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนสำหรับใช้เป็นหน่วยผลิตน้ำสะอาดให้แก่หน่วยผลิต

น้ำบริสุทธิ์ในระบบผลิตน้ำรีไซเคิล และนาระบบที่เลือกนี้ไปวิเคราะห์ความเหมาะสมทางการเงินต่อไป

3. ผลการศึกษาส่วนประกอบของระบบการผลิตน้ำรีไซเคิล

ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปและคุณสมบัติจำเพาะของเมมเบรน พบว่าระบบผลิตน้ำรีไซเคิลประกอบด้วยหน่วยกรองน้ำ 2 หน่วย คือ หน่วยผลิตน้ำสะอาด ทำหน้าที่ผลิตน้ำให้มีคุณภาพดีก่อนส่งไป

หน่วยกรองที่สอง คือหน่วยผลิตน้ำบริสุทธิ์ ทำหน้าที่กรองน้ำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีลักษณะการต่อแบบอนุกรมกัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1: หน่วยผลิตน้ำสะอาดต่ออนุกรมกับหน่วยผลิตน้ำบริสุทธิ์

4.2) การวิเคราะห์ด้านการเงิน

การวิเคราะห์ด้านการเงินโดยกำหนดปัจจัยค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการได้จากการประเมินราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยผู้รับเหมาระบบมีมูลค่าเท่ากับ 17.85 ล้านบาท ซึ่งเป็นการลงทุนในส่วนของผู้เจ้าของทั้งหมดไม่มีการกู้ยืมจากภายนอก

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการ ได้แก่ ค่าสารเคมีสำหรับเดินระบบ ค่าสารเคมีทำความสะอาดระบบ ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างพนักงาน และค่าบำรุงรักษา โดยค่าใช้จ่ายดำเนินงานทั้งหมดประมาณ 2.72 ล้านบาทต่อปี แต่ในปีที่ 8 ค่าใช้จ่ายดำเนินงานจะเพิ่มเป็นประมาณ 3.82 ล้านบาท เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสำหรับการเปลี่ยนเมมเบรนประมาณ 1.1 ล้านบาท ซึ่งต้องเปลี่ยนทุก 8 ปี โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8: ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการ

รายการค่าใช้จ่าย	มูลค่า (บาท/ปี)
ค่าสารเคมีสำหรับเดินระบบ	216,060
ค่าสารเคมีทำความสะอาดระบบ	32,112
ค่าไฟฟ้า	1,110,578
ค่าจ้างพนักงาน	984,000
ค่าบำรุงรักษาระบบในส่วนอุปกรณ์เมมเบรน	158,359
ค่าบำรุงรักษาระบบในส่วนอุปกรณ์งานโครงการ	221,981
ค่าใช้จ่ายสำหรับการเปลี่ยนเมมเบรนในปีที่ 8 (ค่าอะไหล่และค่าแรง)	1,100,470

3. ผลประโยชน์ของโครงการ คือ ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำประปาภายในโรงงาน 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 5.5 ล้านบาทต่อปี (อัตราค่าน้ำประปาอ้างอิงจากการประปานครหลวง) คำนวณได้ดังนี้

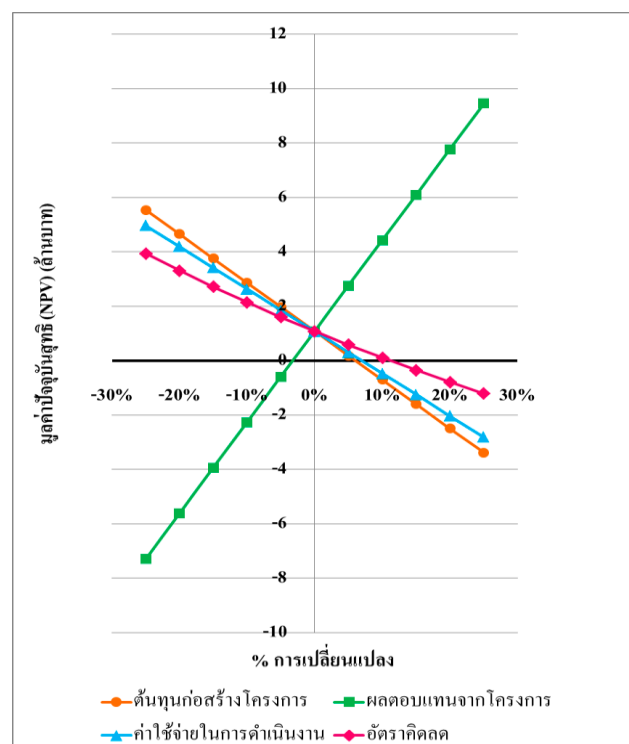
$$1,000 \text{ ลบ.ม.} \times 348 \text{ วัน/ปี} \times 15.81 \text{ บาท/ลบ.ม.} = 5,501,880 \text{ บาทต่อปี}$$

การวิเคราะห์ผลทางด้านการเงิน โดยโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ เท่ากับ 10% ต่อปี พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดของโครงการที่ระยะเวลาอายุโครงการ 15 ปี มีค่าเท่ากับ 1.07 ล้านบาท ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ เท่ากับ 11.11% ซึ่งมีค่ามากกว่า

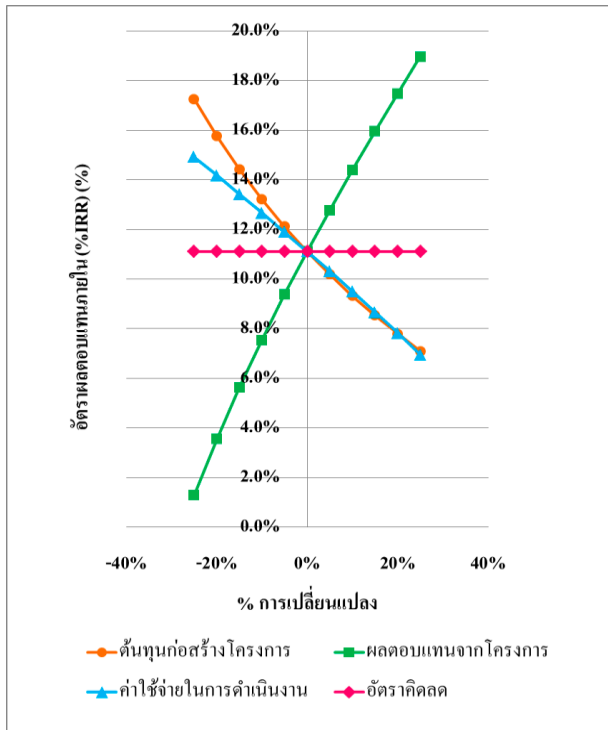
อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ที่ 10% และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เท่ากับ 1.03 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.00 ขณะที่ระยะเวลาคืนทุนคิดลดของโครงการเท่ากับ 13 ปี 2 เดือน ซึ่งน้อยกว่าอายุโครงการ แสดงว่าโครงการนี้มีความเป็นไปได้ทางการเงิน

4.3) การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

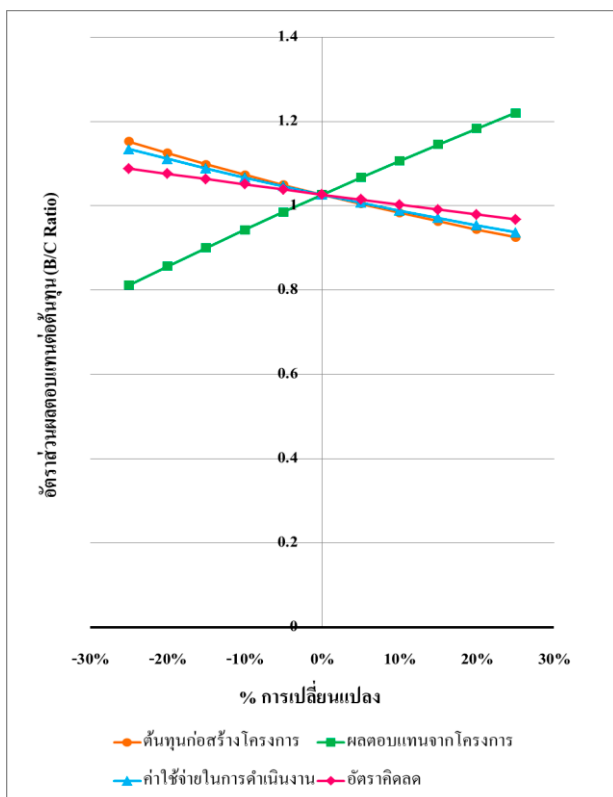
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่สำคัญต่างๆ ของโครงการ เพื่อรองรับความไม่แน่นอนที่จะส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน ปัจจัยที่พิจารณา คือ ต้นทุนการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ผลตอบแทนที่ได้จากโครงการและอัตราการคิดลด โดยมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง $\pm 25\%$ จากกรณีปกติ ผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ดังแสดงในรูปที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราค่าเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่จะส่งผลกระทบทำให้โครงการไม่มีความเป็นไปได้ทางการเงิน คือ ต้นทุนการก่อสร้างเพิ่มขึ้น 10% ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเพิ่มขึ้น 10% ผลตอบแทนลดลง 5% และอัตราคิดลดเพิ่มขึ้น 15% ซึ่งสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 9



รูปที่ 2: แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)



รูปที่ 3: แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR)



รูปที่ 4: แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)

ตารางที่ 9: ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยด้านต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงปัจจัย	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว			
	NPV (บาท)	IRR (%)	B/C Ratio	DPB (ปี)
ต้นทุนก่อสร้างเพิ่มขึ้น 10%	-707,462.67	9.33%	0.98	มากกว่าอายุโครงการ
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเพิ่มขึ้น 10%	-477,666.79	9.50%	0.99	มากกว่าอายุโครงการ
ผลตอบแทนลดลง 5%	-596,241.01	9.37%	0.99	มากกว่าอายุโครงการ
อัตราคิดลดเพิ่มขึ้น 15%	-354,446.17	11.11%	0.99	มากกว่าอายุโครงการ

5) สรุปผลงานวิจัย

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค พบว่า ระบบผลิตน้ำรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีเมมเบรน ประกอบด้วยหน่วยกรอง 2 หน่วยหลัก คือ หน่วยสำหรับผลิตน้ำสะอาด โดยมีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนเป็นเยื่อกรองทำหน้าที่ในการเตรียมน้ำให้มีคุณภาพก่อนบ่อน้ำเข้าสู่หน่วยกรองสุดท้าย คือ หน่วยสำหรับผลิตน้ำบริสุทธิ์ โดยมีเรเวอร์สออสโมซิสเมมเบรน เป็นเยื่อกรองทำหน้าที่กรองน้ำในขั้นสุดท้ายให้มีความบริสุทธิ์

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการก่อสร้างระบบผลิตน้ำรีไซเคิลจากน้ำเสีย โดยมีอายุของโครงการ 15 ปี เมื่อพิจารณาจากดัชนีชี้วัดต่างๆ พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 1,077,668.46 บาท อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ เท่ากับ 11.11% อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เท่ากับ 1.03 และมีระยะเวลาคืนทุนคิดลดของโครงการ 13 ปี 2 เดือน แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความเป็นไปได้ทางการเงินที่จะตัดสินใจในการลงทุน

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการโดยพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าที่อยู่ระหว่าง $\pm 25\%$ พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อโครงการไม่มีความเป็นไปได้ในการลงทุน คือ เมื่อต้นทุนการก่อสร้างเพิ่มขึ้น 10% ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเพิ่มขึ้น 10% ผลตอบแทนลดลง 5% และอัตราคิดลดเพิ่มขึ้น 15%

ในการศึกษานี้มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาและเงินทุนสนับสนุน งานวิจัยที่จะนำไปต่อยอดศึกษามีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคในส่วนของอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบผลิตน้ำรีไซเคิลเพิ่มเติมเพื่อให้ครบถ้วน ครบคลุม และหากโครงการมีปัจจัยอื่นๆ ที่สามารถเพิ่มเติมในส่วนของการผลตอบแทนจะทำให้โครงการมีความเป็นไปได้ทางการเงินที่จะลงทุนเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Atanasova, M. Dalmau, J. Comas, M. Poch, I. Rodriguez-Roda, and G. Buttiglieri, "Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities," *Journal of Environmental Management*, vol. 193, pp. 503–511, May 2017.
- [2] ชีรพงศ์ สว่างรัตน์, "การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบชักโครกด้วยระบบกรองคาร์บอนและฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2551.
- [3] "การวิเคราะห์โครงการ," มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/poll.html>. [เข้าถึงเมื่อ: 17-ก.พ.-2560].
- [4] A. Marchioni and C. A. Magni, "Investment decisions and sensitivity analysis: NPV-consistency of rates of return," *European Journal of Operational Research*, vol. 268, no. 1, pp. 361–372, Jul. 2018.
- [5] ทนศักดิ์ วัฒนา, "เรียนรู้การรีไซเคิลน้ำเพื่อการใช้ที่ยั่งยืน," *วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี*, ปีที่ 39, ฉบับที่ 225, หน้า 71-74, ตุลาคม-พฤศจิกายน 2555.
- [6] I. Petrinic, J. Korenak, D. Povodnik, and C. Hélix-Nielsen, "A feasibility study of ultrafiltration/reverse osmosis (UF/RO)-based wastewater treatment and reuse in the metal finishing industry," *Journal of Cleaner Production*, vol. 101, pp. 292–300, Aug. 2015.
- [7] J. Garcia-Ivars, L. Martella, M. Massella, C. Carbonell-Alcaina, M.-I. Alcaina-Miranda, and M.-I. Iborra-Clar, "Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants," *Water Res.*, vol. 125, pp. 360–373, Nov. 2017.
- [8] A. Suárez, P. Fernández, J. Ramón Iglesias, E. Iglesias, and F. A. Riera, "Cost assessment of membrane processes: A practical example in the dairy wastewater reclamation by reverse osmosis," *Journal of Membrane Science*, vol. 493, pp. 389–402, Nov. 2015.
- [9] R. Ordóñez, D. Hermosilla, I. S. Pío, and Á. Blanco, "Evaluation of MF and UF as pretreatments prior to RO applied to reclaim municipal wastewater for freshwater substitution in a paper mill: A practical experience," *Chemical Engineering Journal*, vol. 166, no. 1, pp. 88–98, Jan. 2011.