

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของ
การติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยการใช้อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วย
ระบบไฟฟ้าทดแทนการใช้ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน
กรณีศึกษา การสร้างโรงงานผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อกระบวนการผลิตยา

TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS ON THE INSTALLATION OF PURIFIED WATER SYSTEM BY ELECTRICAL ION DISCHARGER INSTEAD OF ION RESIN EXCHANGER A CASE STUDY OF PURIFIED WATER PLANT GENERATION SYSTEM FOR PHARMACEUTICAL PROCESSING

ธงชัย เลขะเจริญกุล¹ ศันสนีย์ สุภามา² และ พัชรารณ ญาณภีร์²

¹สาขาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Tongchai Lekhajaroenkul¹ Sansanee Supapa² and Patcharaporn Yanpirat²

¹The Special Graduate Program in Engineering Management,

Faculty of Engineering, Kasetsart University (Bangkhen Campus)

50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao Chatuchak Bangkok 10900

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

(Bangkhen Campus) 50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao Chatuchak Bangkok 10900

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของการ
ติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยการใช้อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า (EDI) ระบบใหม่
ทดแทนการใช้ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (MBX) ระบบดั้งเดิม เพื่อผลิตน้ำ
บริสุทธิ์ที่มีอัตราการผลิตน้ำบริสุทธิ์ 3 m³/hr นำไปใช้งานในกระบวนการผลิตยาของบริษัท
กรณีศึกษา เพิ่มเติมจากเดิมที่ใช้งานอยู่เดิม เพื่อให้ได้อัตราการผลิตน้ำบริสุทธิ์รวมเป็น 6 m³/hr

ปัญหาด้านคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ในการผลิตยา เป็นประเด็นสำคัญที่จะต้องมีการพิจารณาเลือกรูปแบบของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่มีความเหมาะสม จากการออกแบบและการทดลองใช้งานระบบ EDI พบว่าสามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดได้อย่างต่อเนื่อง และคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ในแต่ละตัววัดสูงกว่าระบบ MBIX อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์การลงทุนในส่วนที่เพิ่ม โดยกำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์ 10 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำที่ร้อยละ 20 พบว่า ระบบ EDI เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำมาติดตั้งใช้งาน เนื่องจากอัตราผลตอบแทนในส่วนเพิ่มของโครงการเท่ากับ 106.98% และระยะเวลาคืนทุน 1.16 ปี และผลการวิเคราะห์ความไวจากการเปลี่ยนแปลงค่าจ้างพนักงาน, ต้นทุนของระบบรวมติดตั้ง, ราคาอุปกรณ์ EDI และ ราคาอุปกรณ์ MBIX พบว่าที่การเปลี่ยนแปลง +/- 100% ไม่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจ ดังนั้น ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ด้วยอุปกรณ์ EDI เป็นระบบที่มีความเหมาะสมมากกว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ด้วยอุปกรณ์ MBIX ทั้งทางด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้งและใช้งานสำหรับกระบวนการผลิตยาของบริษัทกรณีศึกษา

คำสำคัญ: อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า, ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน, การวิเคราะห์การลงทุนในส่วนเพิ่ม, การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปร

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the technical and economic feasibility on the installation of Electrodeionization (EDI), a new purified water system, instead of the traditional Mixed Bed Ion Exchange Resin system (MBIX) at capacity of 3 m³/hr used in pharmaceutical processing. After increasing, the rate of purified water producing would be up to 6 m³/hr. Due to high quality of purified water required for the process, the consideration for selection of the appropriate purified water system was essential. The EDI system was designed to compatible with the existing pharmaceutical process and the system was tested for production of purified water. From using the statistics method, the 123 samples of each EDI and MBIX water were tests for 4 necessary quality indicators. It was found that the purified water from EDI had high quality than MBIX under statistical significant. For the economic analysis by using the incremental investment analysis, at 10 years of project life and at the minimum attractive rate of return of 20% per year, it was found that the incremental internal rate of return was at 106.98% per year and the incremental investment has 1.16 years of payback period. The EDI was found to be more favorable for investment. As for sensitivity

analysis, it was found that for variation of the labor costs, project investment costs, EDI equipment costs and MBIX equipment costs in the range of +/- 100%. The variations were insensitive for changing the decision for system selection. Therefore, the EDI project was technically and economically feasible for purified water system of pharmaceutical production.

KEYWORDS: electrodeionization, mixed bed ion exchange resin, incremental investment analysis, sensitivity analysis

1. บทนำ

ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ (Purified Water System) เป็นระบบสนับสนุนหลักที่สำคัญในกระบวนการผลิตยาแผนปัจจุบันซึ่งจะต้องมีการใส่ใจในทุกๆ ขั้นตอนของกระบวนการ และต้องควบคุมคุณภาพเพื่อให้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดจึงจะสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตยาได้น้ำบริสุทธิ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยา สามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตยา ใช้ในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือใช้ในการทำน้ำร้อนและไอน้ำสำหรับกระบวนการอบฆ่าเชื้อ โดยมีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานด้านคุณภาพน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยา United States Pharmacopeia (USP) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลของคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตยา และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตยาทั่วไป [1] กระบวนการผลิตยาของบริษัทการศึกษา แบ่งตามสายการผลิตยาได้ทั้งหมด 6 สายการผลิต คือ ยาฉีดน้ำ, ยาฉีดผง Cephalosporin, ยาเม็ดเคลือบ, ยาเม็ดไม่เคลือบ, ยาเม็ดควบคุมความชื้น และยาฉีดผง Carbapenem อย่างละ 1 สายการผลิต ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์จะต้องควบคุมให้น้ำมีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้ระบบดังกล่าวสามารถรองรับการใช้งานในกระบวนการผลิตยาทั้งหมดที่กล่าวมาได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้งานในบริษัทการศึกษา

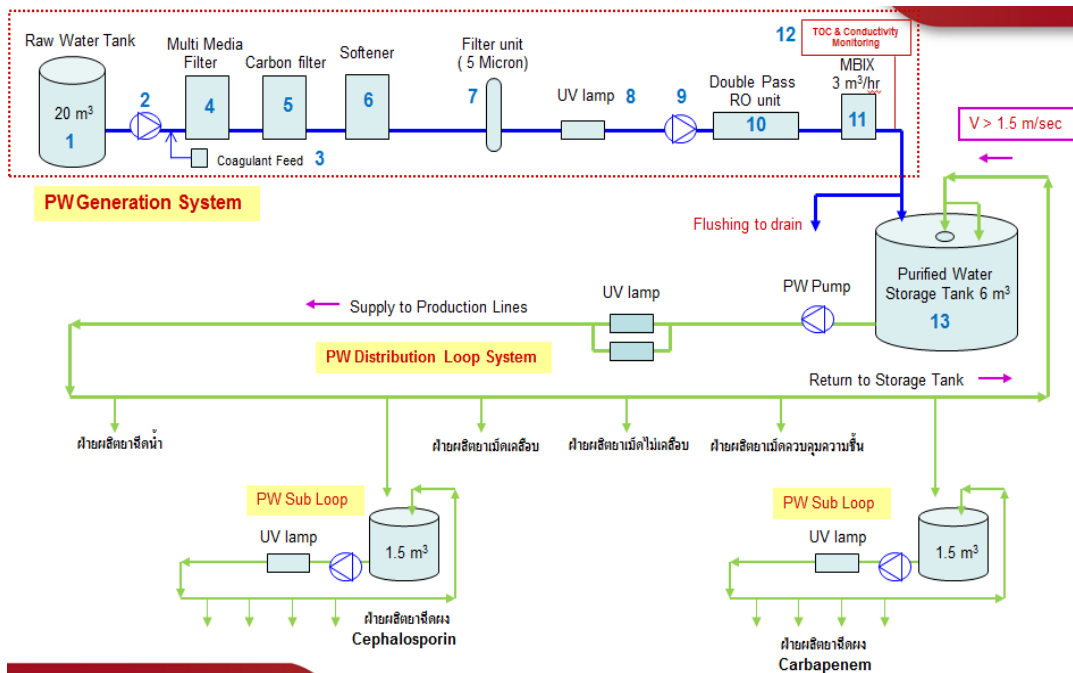
มาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยา				
รายการตรวจสอบคุณภาพน้ำบริสุทธิ์	มาตรฐานที่กำหนด	ประเภทการตรวจสอบ	ที่มาของการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ
	Limit (at 25 °C)	ตรวจสอบ	ตรวจสอบ	
1. ลักษณะทั่วไป (Appearance)	ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น	ด้านกายภาพ	การสังเกต	ทุกวัน
2. สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)	ไม่เกิน 1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$	ด้านเคมี	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	ทุกวัน

ตารางที่ 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้ภายในบริษัทการศึกษา (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยา				
รายการตรวจสอบคุณภาพน้ำ บริสุทธิ์	มาตรฐานที่กำหนด	ประเภทการ ตรวจสอบ	ที่มาของการ ตรวจสอบ	ความถี่ใน การตรวจสอบ
	Limit (at 25 °C)			
3. ปริมาณคาร์บอนของ สารอินทรีย์โดยรวม (TOC)	ไม่เกิน 500 ppb	ด้านเคมี	อุปกรณ์และ เครื่องมือวัด	ทุกวัน
4. สภาพความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.0 - 7.0	ด้านเคมี	อุปกรณ์และ เครื่องมือวัด	ทุกวัน
5. ปริมาณแบคทีเรียโดยรวมใน น้ำ (TAMC)	ไม่เกิน 10,000 cfu / 100 ml	ด้าน จุลชีววิทยา	ห้องปฏิบัติการ ทดลอง	≥ 1 ครั้ง / เดือน
6. แบคทีเรีย <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 cfu / 100 ml	ด้าน จุลชีววิทยา	ห้องปฏิบัติการ ทดลอง	≥ 1 ครั้ง / เดือน
7. แบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i>	0 cfu / 100 ml	ด้าน จุลชีววิทยา	ห้องปฏิบัติการ ทดลอง	≥ 1 ครั้ง / เดือน
8. แบคทีเรีย <i>Coliform</i>	0 cfu / 100 ml	ด้าน จุลชีววิทยา	ห้องปฏิบัติการ ทดลอง	≥ 1 ครั้ง / เดือน

บริษัทการศึกษามีโครงการที่จะทำการขยายกำลังการผลิตโรงงานผลิตน้ำบริสุทธิ์ (Purified Water Plant) เพิ่มเติม เนื่องจากปริมาณการใช้น้ำบริสุทธิ์ที่เพิ่มขึ้นจากการที่มีการขยายกระบวนการผลิตยา เพื่อตอบสนองตามความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้งานอยู่เดิมเป็นระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยใช้ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (Mixed Bed Ion Exchange Resin: MBIX) และมีอัตราการผลิตน้ำบริสุทธิ์ 3 m³/hr ซึ่งติดตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2548 ตามรูปที่ 1

ซึ่งระบบดังกล่าวมีคุณภาพและประสิทธิภาพในการใช้งานได้เป็นอย่างดี แต่ในปี พ.ศ.2555 มีการผลิตยาตามความต้องการของลูกค้าเพิ่มมากขึ้นและมีความไม่แน่นอนของแผนการผลิต ทำให้พบปัญหาของคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ไม่มีความต่อเนื่องในการใช้งาน โดยพบปัญหาน้ำบริสุทธิ์มีสภาพการนำไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพการใช้งานเป็นจำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้ง ตามตารางที่ 2



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX ขนาด 3 m³/hr ของบริษัท กรณีศึกษา

ตารางที่ 2 ปัญหาด้านคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ MBIX จากการใช้งานในปี พ.ศ. 2555

ครั้งที่	ตำแหน่ง	หัวข้อของการตรวจสอบคุณภาพน้ำบริสุทธิ์	
		สภาพการนำไฟฟ้า	ผลสรุปคุณภาพน้ำบริสุทธิ์
		ค่ามาตรฐานไม่เกิน 1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่ 25 °C	ผ่าน/ไม่ผ่าน
1	MBIX	1.987 $\mu\text{S}/\text{cm}$	ไม่ผ่าน
2	MBIX	1.845 $\mu\text{S}/\text{cm}$	ไม่ผ่าน
3	MBIX	1.914 $\mu\text{S}/\text{cm}$	ไม่ผ่าน

ในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตยาเป็นเวลา 6 ชม. ส่วนครั้งที่ 2 ที่พบปัญหานั้น ได้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก เนื่องจากภายหลังที่มีการล้างระบบเสร็จเกิดการปนเปื้อนจากภายนอกเข้าสู่ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ ทำให้มีการตรวจพบค่าปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำบริสุทธิ์มีค่า 914 ppb ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพโรงงานที่จะต้องไม่เกิน 500 ppb ทำให้ต้องหยุดระบบผลิตน้ำเป็นระยะเวลาทั้งหมด 5 วัน เพื่อทำการล้างระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์และระบบจ่ายน้ำบริสุทธิ์ทั้งระบบ และต้องทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ ตาม

กระบวนการของฝ่ายควบคุมคุณภาพและประกันคุณภาพ ให้ผลผ่านเป็นระยะเวลาติดต่อกัน 5 วัน เพื่อเป็นการยืนยันคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ว่าสามารถใช้งานได้อย่างมีคุณภาพและประสิทธิภาพ จึงจะสามารถเปิดใช้งานระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX ได้อีกครั้ง นับเป็นผลกระทบที่สร้างความเสียหายต่อโอกาสในการผลิตยาของบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างมาก

ในปี พ.ศ. 2557 บริษัทกรณีศึกษามีการขยายกำลังการผลิตยา จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินโครงการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพิ่มเติมจากที่มีใช้งานอยู่เดิม ทั้งนี้ ข้อมูลความต้องการใช้น้ำบริสุทธิ์ก่อนขยายกำลังการผลิตยา มีอัตราความต้องการใช้น้ำบริสุทธิ์สูงสุด 5,903 ลิตร/ชม. ซึ่งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX ที่ใช้งานอยู่เดิม สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้ในอัตรา 3,000 ลิตร/ชม. จึงมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพิ่มเติม ซึ่งจะมี 2 ทางเลือกคือ ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยการใช้ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (Mixed Bed Ion Exchange Resin: MBIX) ซึ่งเป็นระบบแบบดั้งเดิมที่ใช้งานอยู่ หรือระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยการใช้อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า (Electrodeionization: EDI) ซึ่งเป็นระบบแบบเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดยคัดเลือกเพียงหนึ่งระบบที่จะนำมาใช้งานในโครงการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ของบริษัทกรณีศึกษาต่อไป

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์ ในการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยา โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า (EDI) และถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (MBIX) และศึกษาความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยา โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะส่วนของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยเริ่มต้นจากน้ำดิบ ไปจนถึงน้ำบริสุทธิ์ที่กรองได้ในขั้นตอนสุดท้ายและนำไปเก็บที่ถังเก็บน้ำบริสุทธิ์ โดยกำหนดอายุโครงการ 10 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบจะพิจารณาหลังหักภาษี ไม่พิจารณาผลกระทบจากเงินเฟ้อ และในการศึกษานี้จะไม่พิจารณาระบบรองรับกรณีฉุกเฉินใดๆ ทั้งสิ้น

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity Meter)
2. เครื่องมือวัดปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ (Total Organic Carbon Meter)

3. เครื่องมือวัดสภาพความเป็นกรดและด่าง (pH Meter)
4. ขวดแก้วสำหรับการเก็บน้ำ ส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการทดลอง
5. อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการทดลองการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบริสุทธิ์
6. เอกสารการตรวจเช็คประจำวันสำหรับระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์
7. โปรแกรมสำเร็จรูป: Microsoft Office 2010
8. โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ: Minitab 16
9. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ในการทำวิจัย
10. เครื่องพิมพ์
11. กล้องถ่ายรูปดิจิทัล

3.2 วิธีการ

ในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเทคนิค การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน และการศึกษาปัจจัยและความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยา มีวิธีการศึกษาดังนี้

3.2.1 ศึกษาเทคโนโลยีของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยาที่ใช้ในปัจจุบัน

1) เทคโนโลยีการผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยใช้ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (Mixed Bed Ion Exchange Resin: MBIX) เพื่อศึกษารูปแบบและขั้นตอนการทำงาน รวมถึงข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ดังกล่าว

2) เทคโนโลยีการผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยใช้อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า (Electrodeionization: EDI) เพื่อศึกษารูปแบบและขั้นตอนการทำงาน รวมถึงข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ดังกล่าว

3.2.2 วิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเทคนิคของโครงการ

1) รวบรวมข้อมูลประกอบการพิจารณาเพื่อหาอัตราการผลิตน้ำของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่จะติดตั้ง โดยทำการรวบรวมข้อมูลความต้องการใช้น้ำบริสุทธิ์ก่อนและหลังขยายกำลังการผลิตของบริษัทรถยนต์ศึกษา เพื่อคำนวณหาขนาดของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่จะทำการติดตั้งเพิ่มเติมจากระบบเดิมที่ใช้งานอยู่ ให้สามารถรองรับกระบวนการผลิตยาได้อย่างมีคุณภาพและประสิทธิภาพ

2) ดำเนินการคัดเลือกระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่จะดำเนินการติดตั้ง โดยใช้วิธีการลงคะแนนคัดเลือก ผู้มีสิทธิ์ลงคะแนนจะเป็นคณะกรรมการของบริษัทรถยนต์ศึกษาซึ่งทำงานในหน่วยงานที่

เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต จำนวน 10 ท่าน แบ่งหัวข้อการพิจารณา 5 หัวข้อ คือ ประสิทธิภาพของระบบ, การลงทุนติดตั้ง, อายุการใช้งาน, ค่าใช้จ่ายในการใช้งานและการบำรุงรักษา และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากนั้นรวบรวมคะแนนสูงสุด เพื่อเลือกนำมาติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ต่อไป

3) ระบุขอบเขตความต้องการของงานติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยาที่จะดำเนินการติดตั้งว่ามีรายละเอียดการติดตั้งเป็นอย่างไร, ระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้ง, ขอบเขตงานของผู้รับจ้าง, การเตรียมงานของผู้ว่าจ้าง, การทดสอบการทำงานของระบบ และการส่งมอบการใช้งาน

4) คำนวณหาขนาดและการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI ที่จะทำการติดตั้ง โดยครอบคลุมอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบทั้งหมด เพื่อดำเนินการสั่งซื้อและว่าจ้างภายนอกดำเนินการติดตั้งระบบตามรูปแบบที่ต้องการของผู้ว่าจ้างในขั้นตอนต่อไป

5) สรุปรายละเอียดอุปกรณ์ทั้งหมดและดำเนินการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI

6) ทวนสอบขั้นตอนการทำงานของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI ที่ติดตั้งแล้วเสร็จ เพื่อตรวจรับงานโครงการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ดังกล่าวว่าถูกต้องและเป็นไปตามจุดประสงค์และความต้องการของผู้ใช้งานหรือไม่

7) เก็บตัวอย่างน้ำบริสุทธิ์ EDI และ MBIX เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ โดยส่งเข้าห้องปฏิบัติการทดลองเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำบริสุทธิ์

8) รวบรวมผลตรวจวัดคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ MBIX

9) รวบรวมผลตรวจวัดคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ EDI

10) ประเมินผลตรวจวัดคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ทั้ง 8 หัวข้อคุณภาพน้ำ คือ ลักษณะทางกายภาพ, สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์, ปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ, สภาพความเป็นกรดและด่าง, ปริมาณแบคทีเรียโดยรวมในน้ำ, ปริมาณแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa*, ปริมาณแบคทีเรีย *Escherichia coli* และปริมาณแบคทีเรีย Coliform และทำการสรุปผลเบื้องต้น โดยใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้งานในบริษัทกรณีศึกษาเป็นเกณฑ์กำหนดการเปรียบเทียบ และเปรียบเทียบระหว่างระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบด้วย

11) ทำการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ในเชิงสถิติ โดยใช้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Excel, Minitab 16 เป็นเครื่องมือชี้วัด สำหรับ 3 หัวข้อหลักของคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ คือ ด้านสภาพการนำไฟฟ้า ด้านปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ และด้านปริมาณแบคทีเรียโดยรวมในน้ำ

12) สรุปผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเทคนิคของโครงการ

3.2.3 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

1) วิเคราะห์การลงทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อทราบผลความเป็นไปได้ ในการเลือกลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX หรือ ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยมีการระบุเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน, การเปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์ พิจารณาล้างหักภาษี และไม่คิดเงินเฟ้อ, ระบุค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และวิธีการคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์

2) การประมาณต้นทุน ค่าใช้จ่าย และผลตอบแทนในการลงทุน

2.1) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost) ทำการรวบรวมค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองทางเลือก ซึ่งจะมีทั้งค่าใช้จ่ายของระบบรวมติดตั้งที่ต้องว่าจ้างภายนอกดำเนินการ และค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมระบบ Utility ที่ทางบริษัทกรณีศึกษาต้องดำเนินการเอง

2.2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Cost) ทำการรวบรวมค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ทั้งหมดซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ เช่น ค่าใช้จ่ายต่อปีในการล้างสารกรองเรซิน, ค่าใช้จ่ายต่อปีในการบำรุงรักษาตามรอบของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์, ค่าใช้จ่ายต่อปีในการว่าจ้างภายนอกเข้ามาตรวจเช็คระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์, ค่าไฟฟ้าต่อปี, ค่าจ้างต่อปีของการจ้างพนักงานดูแลระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสีย

2.3) หามูลค่าสินทรัพย์คงเหลือของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เมื่อสิ้นอายุโครงการของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ โดยกำหนดจำนวนปีและรูปแบบการคิดค่าเสื่อมราคา

2.4) คำนวณอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมสำหรับโครงการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ ซึ่งมีการแยกส่วนของเงินลงทุนระหว่างส่วนช่องเจ้าของ (ทุนเรือนหุ้น) และส่วนกู้ยืมจากสถาบันการเงินภายในประเทศ ในอัตราส่วน 50:50

2.5) ทำการประมาณการงบกระแสเงินสดของการลงทุนหลังหักภาษีเงินได้สำหรับโครงการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ เพื่อหาอัตราผลตอบแทนในส่วนที่เพิ่มขึ้นของการลงทุนภายในโครงการ (Incremental IRR), มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ และผลระยะเวลาคืนทุนของโครงการ

2.6) ทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราผลตอบแทนในส่วนที่เพิ่มขึ้นของการลงทุนภายในโครงการ กับ อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำของโครงการ เพื่อพิจารณาทางเลือกของการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่เหมาะสมในโครงการ

3) สรุปผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ

3.2.4 วิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจในโครงการ

ทำการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาทางเลือกของโครงการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ โดยพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ต้นทุนค่าไฟฟ้า, ค่าจ้างพนักงาน, ต้นทุนของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์รวมติดตั้ง, ต้นทุนราคาอุปกรณ์ EDI และต้นทุนราคาอุปกรณ์ MBIX ว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด จึงจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาทางเลือกในการดำเนินงานของโครงการ และทำการสรุปผลการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการ

4. การเปรียบเทียบทางด้านเทคนิคของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยา

การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยการกำจัดประจุไฟฟ้าออกจากน้ำนั้น มีอยู่ 2 ระบบที่นิยมใช้กัน คือระบบกำจัดประจุออกจากน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrodeionization: EDI) และระบบถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (Mixed Bed Ion Exchange Resin: MBIX) ซึ่งระบบ EDI เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยกว่า MBIX โดยเทคโนโลยีทั้งสองชนิดนี้จะใช้เรซินในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยระบบ EDI เป็นกระบวนการที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ต้องใช้สารเคมีในการฟื้นฟูสภาพของเรซิน และไม่มีของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแตกต่างจากระบบ MBIX อย่างสิ้นเชิง การทำงานของระบบ EDI จะใช้กระแสไฟฟ้าในการกำจัดประจุจากแร่ธาตุต่างๆ ที่ปนมากับน้ำ มีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) ที่หลงเหลืออยู่ และยังลดปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ (Total Organic Carbon: TOC) ได้ในระดับหนึ่งอีกด้วย ระบบ EDI จะติดตั้งในตำแหน่งหลังจากระบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis: RO) ทั้งนี้ระบบ EDI สามารถกำจัดเกลือออกจากน้ำได้มากกว่า 99.5 % และทำให้น้ำมีความต้านทานทางไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 18 Megaohm.cm หรือ สภาพการนำไฟฟ้าได้ต่ำสุดถึง 0.056 uS/cm

การทำงานของระบบ EDI เริ่มจากน้ำป้อนจะถูกจ่ายเข้าไปในระบบ EDI เพื่อไหลผ่านเข้าไปในช่อง Compartment ที่มี Ion Exchange Resin บรรจุอยู่ เพื่อทำการจับประจุไอออนที่สามารถละลายในน้ำได้ออกมา ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าจะขับให้อิออนบวกไหลเข้าไปยัง Cation Membrane และอิออนลบไหลเข้าไปยัง Anion Membrane และกลายเป็นน้ำทิ้ง ส่วนน้ำที่เหลือในช่อง Compartment จะกลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากประจุไฟฟ้าและไหลออกทางด้านขวาออกจากระบบ EDI เพื่อนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตยาต่อไป

ส่วนกระบวนการ MBIX จะมีกระบวนการทำงานในถังขนาดใหญ่ มีเรซินแบบกรด (Cation Resin) และเรซินแบบด่าง (Anion Resin) ผสมกันอยู่ โดย Cation Resin จะมีไฮโดรเจนอิออน (H^+)

ติดอยู่กับเรซิน ซึ่งพร้อมที่จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ละลายแตกตัวอยู่ในน้ำ เช่น แคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนจากน้ำป้อน ส่วน Anion Resin จะมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ติดอยู่กับเรซิน เพื่อที่จะแลกเปลี่ยนกับไอออนลบที่ละลายแตกตัวในน้ำ เช่น ซัลเฟตไอออนและคลอไรด์ไอออน ไอออน H^+ และ OH^- ที่ได้มาจากการปลดปล่อยออกจากเรซินทั้งสองชนิดจะก่อตัวรวมกัน เกิดเป็นน้ำ (H_2O)

การทำงานของระบบ MBIX จะเสื่อมสภาพลงไป เมื่อมีการสูญเสียไอออน H^+ และ OH^- ทำให้เรซินที่อยู่ในระบบถึงกรองเป็นของที่หมดสภาพในการใช้งาน ต้องทำการล้างฟื้นฟูสภาพเรซิน (Regenerated) เริ่มต้นโดยการล้างย้อนกลับด้วยน้ำที่ปรับสภาพแล้วเข้าไปในตัวถังกรอง เพื่อให้ Cation Resin ที่มีน้ำหนักมากกว่า Anion Resin เกิดการแยกชั้นระหว่างกัน โซดาไฟหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide: NaOH) ที่เจือจางแล้วจะถูกนำมาใช้ในการล้างฟื้นฟู Anion Resin โดยไหลผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของตัวถังกรอง ส่วนกรดเกลือหรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric: HCl) ที่เจือจางจะถูกนำมาใช้ในการล้างฟื้นฟู Cation Resin โดยไหลผ่านจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของตัวถังกรอง น้ำจากการล้างสารกรองดังกล่าวจะไหลออกที่ทางออกบริเวณตรงกลางของผิวหน้าที่สัมผัสกันของ Cation Resin และ Anion Resin เพื่อส่งไปที่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป ทั้งนี้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะฟื้นฟูสภาพ Anion Resin ด้วย OH^- และ สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะฟื้นฟูสภาพ Cation Resin ด้วย H^+ ซึ่งประจุไอออนที่ถูกแลกเปลี่ยนออกมาจะปนอยู่ในน้ำทิ้งที่ถูกส่งไปยังแหล่งรวมน้ำทิ้ง ส่วนเรซินในถังกรอง MBIX จะถูกผสมเข้าด้วยกันใหม่อีกครั้งจากการใช้ลมแรงดันต่ำเป่าให้ผสมกันอย่างทั่วถึงเพื่อการนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ต่อไป

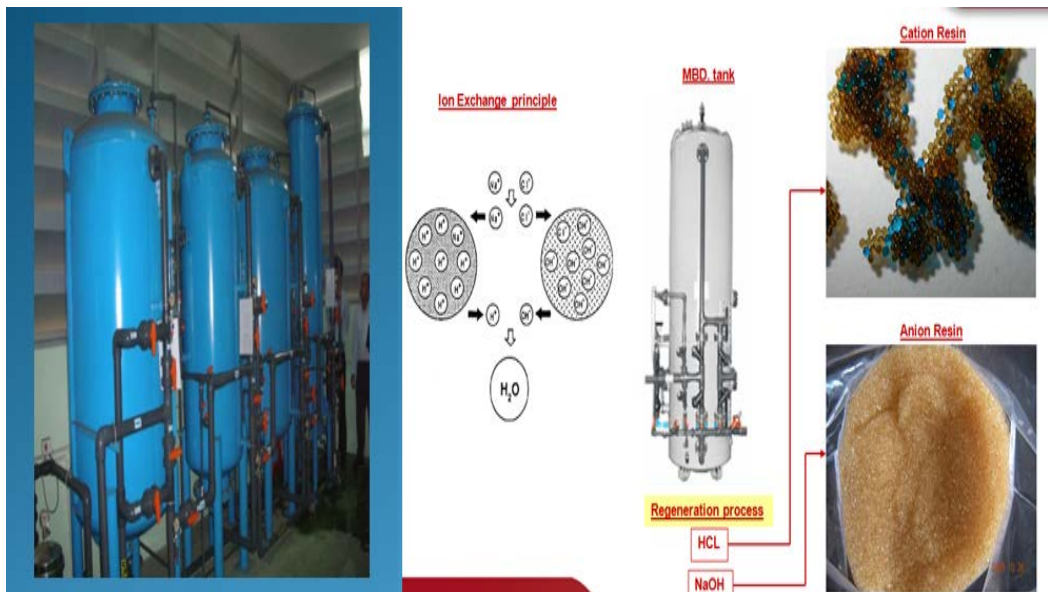
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ MBIX จะมีราคาถูกกว่าระบบ EDI แต่ในการใช้งานจะต้องใช้สารเคมีกรดและด่างในการฟื้นฟูสภาพเรซินอยู่เสมอ รวมทั้งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่สูงกว่าระบบ EDI [1]

การผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อการผลิตยามีความเคร่งครัดเป็นอย่างมาก ที่จะต้องมีการปฏิบัติและการทำงานให้สอดคล้องกับข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ของทางกฎหมายว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการผลิตยาที่ดี ซึ่งจะถูกระบุอยู่ในเภสัชตำรับ [2]

4.1 เทคโนโลยีการผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยใช้ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (Mixed Bed Ion Exchange Resin: MBIX)

MBIX เป็นอุปกรณ์ผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยมีลักษณะรูปร่างเป็นถังกรองน้ำ ภายในบรรจุด้วยเรซินสองชนิด คือ Cation Resin และ Anion Resin เป็นระบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นที่รู้จักและใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั่วไป ระบบดังกล่าวทำงานโดยอาศัยหลักการ การ

ไหลของน้ำที่ต้องการกรองให้เป็นน้ำบริสุทธิ์เข้าถังกรองดังกล่าว โดยภายในถังกรองจะใช้เรซิน 2 ชนิด คือ เรซินแบบกรด (Cation Resin) และเรซินแบบด่าง (Anion Resin) โดยที่เรซินแบบกรดจะทำหน้าที่กำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ สามารถล้างคืนรูปเรซินได้ด้วยกรดเกลือ ส่วนเรซินแบบด่างจะทำหน้าที่กำจัดไอออนลบ สามารถล้างคืนรูปเรซินได้ด้วยโซดาไฟ (NaOH) โดยน้ำที่ผลิตได้ และไหลผ่านออกจากถังกรอง จะเป็นน้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากเกลือแร่ต่างๆ เจือปน [3] ดังรูปที่ 2



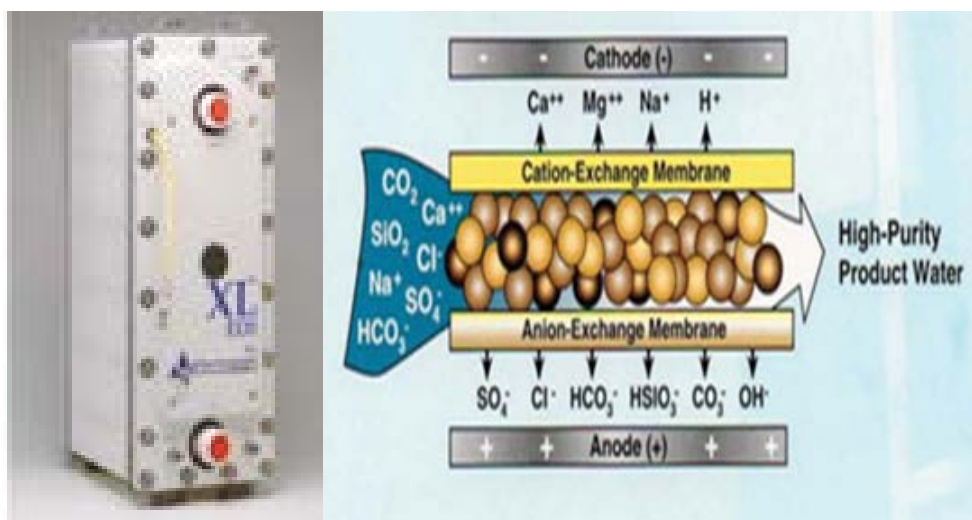
รูปที่ 2 อุปกรณ์ถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (MBIX)

โดยข้อดีคือ อุปกรณ์มีราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ EDI เมื่อเทียบราคาต่อถังตลาดปัจจุบัน ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้สารเคมีกรดและด่างในการล้างสารกรอง และมีภาระเพิ่มจากการบำบัดน้ำเสียหลังการล้างสารกรองในแต่ละครั้ง คุณภาพของน้ำบริสุทธิ์ด้านสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเมื่อใกล้รอบเวลาการล้างสารกรองเรซิน ทำให้อาจมีผลกระทบในเรื่องของคุณภาพใช้งาน และมีความจำเป็นในการบำรุงรักษาจากการเปลี่ยนถ่ายสารกรองเรซินทั้งหมดตามรอบเวลาใช้งาน [4-8] ซึ่งปัญหานี้ได้เกิดขึ้นกับบริษัทกรณีศึกษา ตามที่ได้ให้รายละเอียดไว้ในส่วนท้ายของบทนำ

4.2 เทคโนโลยีการผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยใช้อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า (Electrodeionization: EDI)

EDI เป็นอุปกรณ์ผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่เป็นระบบเทคโนโลยีสมัยใหม่ เริ่มใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้น้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากประจุไฟฟ้า ระบบดังกล่าวทำงานโดย

อาศัยหลักการของไฟฟ้าเพื่อสร้างให้เกิดความต่างศักย์ที่ปลายขั้วทั้งสองข้างของแผ่น Anode และ Cathode โดยมีสารกรอง Mixed Resin ซึ่งถูกประกบด้วย Cation Membrane และ Anion Membrane วางเรียงซ้อนกันเหมือนแซนวิชประกบเป็นคู่ๆ เมื่อมีน้ำไหลผ่านเข้าไปในช่องของ Mixed Resin สนามไฟฟ้าประจุบวกจะดึงประจุลบในน้ำผ่าน Anion Membrane และสนามไฟฟ้าประจุลบจะดึงประจุบวกผ่าน Cation Membrane ประจุของสารละลายจะมารวมกันในช่องของ Concentrate ซึ่งจะทำให้น้ำในส่วนนี้มีความเข้มข้นสูงขึ้นและปล่อยออกทิ้ง ขณะเดียวกันจะเกิดการแตกตัวของ H^+ และ OH^- ในโมเลกุลของน้ำในบริเวณที่ Cation Resin และ Anion Resin สัมผัสกันทำให้เกิดการล้างคืนรูปสารกรองเรซินไปพร้อมๆ กัน ทำให้น้ำที่ออกจากส่วนของสารกรองเป็นน้ำบริสุทธิ์ไม่จำเป็นต้องล้างคืนรูปสารกรองอีกต่อไป ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า (EDI)

โดยข้อดีคือ สามารถล้างคืนรูปสารกรองได้ด้วยตัวเองตลอดเวลา ทำให้สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ให้มีคุณภาพผ่านการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆ ในการล้างสารกรอง ไม่มีภาระเพิ่มเติมจากระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่ต้องเสียค่าบำรุงรักษาจากการเปลี่ยนถ่ายสารกรอง ส่วนข้อเสียคือ อุปกรณ์มีราคาแพงกว่า MBIX [4-8] เมื่อเทียบราคาต่อถังตลาดปัจจุบัน

5. การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเทคนิคของโครงการ

บริษัทกรณีศึกษาได้มีการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อนำมาติดตั้งใช้งาน โดยเลือกจากระบบ EDI หรือ ระบบ MBIX ด้วยวิธีการลงคะแนนคัดเลือก จากหัวข้อการให้คะแนนทั้งหมด 5 หัวข้อ คือ ประสิทธิภาพของระบบ, การลงทุนติดตั้ง, อายุการใช้งาน, ค่าใช้จ่ายในการใช้

งานและบำรุงรักษา และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผู้ลงคะแนนเป็นคณะกรรมการที่ปฏิบัติงานในบริษัทกรณีศึกษาจำนวนทั้งหมด 10 ท่าน ผลการคัดเลือกสรุปว่าระบบ EDI มีคะแนนที่มากกว่าระบบ MBIX จึงเลือกระบบ EDI สำหรับการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ในโครงการนี้ โดยมีอัตราการผลิตน้ำบริสุทธิ์ 3 m³/hr อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการติดตั้ง แสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI

อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้ง	รายละเอียด/รุ่น	จำนวนที่ใช้ในการติดตั้ง
1. บั๊มสูบน้ำดิบจากใต้ดินเข้าสู่ถังเก็บน้ำดิบพลาสติค	ขนาด 1.2 KW, อัตราการจ่ายน้ำ 10 m ³ /hr, ระยะส่งน้ำ 25 เมตร	2 ชุด
2. ถังเก็บน้ำดิบพลาสติค	ทำจากวัสดุ Polyethylene, ขนาด 10 m ³	2 ใบ
3. บั๊มสูบน้ำดิบเข้าสู่กรองทราย	ขนาด 1.2 KW, อัตราการจ่ายน้ำ 10 m ³ /hr, ระยะส่งน้ำ 25 เมตร	2 ชุด
4. บั๊มจ่ายสารเคมี (Coagulant Feed Pump)	อัตราการจ่ายสารเคมี 2.1 ลิตร/ชม., แรงดัน 10 bar และถังเก็บสารเคมีขนาด 200 ลิตร	1 ชุด
5. ถังกรองทราย (Multimedia Filter)	ขนาด Dia 800 mm., Height 1,500 mm., Thickness 4.5 mm., รองรับกรองน้ำได้สูงสุด 10 m ³ /hr, บรรจุทรายกรองน้ำ 240 ลิตร	1 ใบ
6. ถังกรองคาร์บอน (Carbon Filter)	ขนาด Dia 800 mm., Height 1,500 mm., Thickness 4.5 mm., รองรับกรองน้ำได้สูงสุด 10 m ³ /hr, บรรจุถ่านคาร์บอนกรองน้ำ 240 ลิตร	1 ใบ
7. ถังกรองน้ำอ่อน (Softener Filter)	ขนาด Dia 800 mm., Height 1,500 mm., Thickness 4.5 mm., รองรับกรองน้ำได้สูงสุด 10 m ³ /hr, บรรจุสารเรซินกรองน้ำ 240 ลิตร	1 ใบ
8. ตู้ควบคุมการทำงานของระบบกรองน้ำ	ทำจากวัสดุเหล็ก, สำหรับการใช้งานในอาคาร	1 ชุด
9. ชุดกรองน้ำ	บรรจุไส้กรองน้ำขนาด 5 ไมครอน, ความยาว 30", จำนวน 3 ไส้	1 ชุด
10. หลอด UV ฆ่าเชื้อโรค (UV Disinfection)	ความยาวคลื่น 254 nm, ความเข้มแสง 30,000 μ WSec/cm ² , รองรับอัตราการไหลของน้ำได้สูงสุด 9.084 m ³ /hr พร้อมเสื้อกรอง	1 ชุด
11. อุปกรณ์กรองน้ำ RO	2 Stage (Double Pass Reverse Osmosis System) RO-Stage1 ประกอบด้วยไส้กรองเมมเบรนขนาด 8" จำนวน 5 ไส้, บั๊มน้ำ RO จำนวน 1 ชุด ขนาด 5.5 KW, อัตราการจ่ายน้ำ 10 m ³ /hr, ระยะส่งน้ำ 130 m (ระยะส่งน้ำสูงสุด 163 m), สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าไม่เกิน 20 μ S/cm RO-Stage2 ประกอบด้วยไส้กรองเมมเบรนขนาด 4" จำนวน 12 ไส้, บั๊มน้ำ RO จำนวน 1 ชุด ขนาด 4 KW, อัตราการจ่ายน้ำ 6.8m ³ /hr, ระยะส่งน้ำ 120 m (ระยะส่งน้ำสูงสุด 177.4 m), สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าไม่เกิน 10 μ S/cm	1 ชุด

ตารางที่ 3 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI (ต่อ)

อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้ง	รายละเอียด/รุ่น	จำนวนที่ใช้ในการติดตั้ง
12. อุปกรณ์กำจัดประจุของน้ำด้วยระบบไฟฟ้า (EDI)	ผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้สูงสุด 3.3 m ³ /hr, สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ให้มีสภาพการนำไฟฟ้าได้ต่ำสุดถึง 0.0625 μ S/cm	1 ชุด
13. ถังเก็บน้ำบริสุทธิ์สแตนเลส	ทำจากวัสดุสแตนเลส 316 L, ขนาด 1 m ³	1 ใบ
14. ถังเก็บน้ำบริสุทธิ์สแตนเลส	ทำจากวัสดุสแตนเลส 316 L, ขนาด 12 m ³	1 ใบ

จากตารางที่ 3 สามารถนำมาแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI ขนาด 3 m³/hr ได้ ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI ขนาด 3 m³/hr ที่ติดตั้งแล้วเสร็จ

จากรูปที่ 4 ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI ภายหลังการติดตั้งแล้วเสร็จ ทางบริษัทกรณีศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบริสุทธิ์จำนวน 123 ตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบคุณภาพกับน้ำบริสุทธิ์ของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX จากรูปที่ 1 ในจำนวน 123 ตัวอย่างเท่ากัน การตรวจวัดเพื่อคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ของทั้งสองระบบ จะใช้มาตรฐานและวิธีการตรวจจากมาตรฐานคุณภาพน้ำบริสุทธิ์จากตารางที่ 1 ซึ่งผลของคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ในหัวข้อลักษณะทั่วไป, แบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa*, แบคทีเรีย *Escherichia coli* และแบคทีเรีย Coliform ของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ พบว่ามีค่าผ่านการใช้งานตามมาตรฐานและมีค่าเทียบเท่ากัน ในขณะที่ 4 หัวข้อที่เหลือคือ

สภาพการนำไฟฟ้า (EC), ปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ (TOC), ปริมาณแอมโมเนียโดยรวมในน้ำ (TAMC) และสภาพความเป็นกรดและด่าง (pH) พบว่ายังไม่สามารถสรุปข้อมูลที่ชี้ชัดได้ จึงใช้กระบวนการทางสถิติเป็นตัวชี้วัด โดย 3 หัวข้อแรกจะทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อชี้ชัดระบบที่มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่า โดยมีการตั้งสมมติฐานหัวข้อคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ 3 หัวข้อ คือ ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ โดยมีค่าสภาพการนำไฟฟ้า, ปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ และปริมาณแอมโมเนียโดยรวมในน้ำน้อยกว่าน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX จากผลการทดสอบข้อสมมติฐานภายใต้ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามรูปที่ 5 พบว่าทั้ง 3 หัวข้อมีค่า P-Value แบบ One-Tail น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ทั้งสามหัวข้อ ผลสรุปคือ ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI สามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX

z-Test: Two Sample for Means

	TAMC EDI	TAMC MBIX
	Variable 1	Variable 2
Mean	444.2357724	528.0813008
Known Variance	13716.23084	20182.79661
Observations	123	123
Hypothesized Mean Difference	0	-
z	5.050551951	
P(Z<=z) one-tail	2.20268E-07	
z Critical one-tail	1.644853627	
P(Z<=z) two-tail	4.40535E-07	
z Critical two-tail	1.959963985	

z-Test: Two Sample for Means

	TOC EDI	TOC MBIX
	Variable 1	Variable 2
Mean	165.4813008	187.0758537
Known Variance	566.35825	18075.80113
Observations	123	123
Hypothesized Mean Difference	0	-
z	1.754077036	
P(Z<=z) one-tail	0.039708654	
z Critical one-tail	1.644853627	
P(Z<=z) two-tail	0.079417308	
z Critical two-tail	1.959963985	

z-Test: Two Sample for Means

	EC EDI	EC MBIX
	Variable 1	Variable 2
Mean	0.32604878	0.881731707
Known Variance	0.022997	0.054409
Observations	123	123
Hypothesized Mean Difference	0	-
z	22.15094692	
P(Z<=z) one-tail	0	
z Critical one-tail	1.644853627	
P(Z<=z) two-tail	0	
z Critical two-tail	1.959963985	

รูปที่ 5 การประมวลผลเพื่อการทดสอบสมมติฐาน z-Test : Two Sample for Means แบบ One-Tail โดยใช้ค่า CI = 95%

สำหรับหัวข้อคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ด้านสภาพความเป็นกรดและด่าง จากตารางที่ 1 จะพบว่ามาตรฐานที่ผ่านคุณภาพการใช้งานจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง 5.0-7.0 จะใช้ข้อมูลทางสถิติตามตารางที่ 4 เพื่อสรุปผล ดังนี้

ตารางที่ 4 สรุปผลการเปรียบเทียบผลคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ EDI และ MBIX ในเชิงสถิติ ที่ได้
จากตัวอย่างน้ำบริสุทธิ์จำนวน 123 ตัวอย่าง

หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบทางสถิติ	มาตรฐานคุณภาพที่กำหนด	ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI					
		ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	
						ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	ไม่เกิน 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.326	0.152	0.838	0.132	0.299	0.353
ปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ (ppb)	ไม่เกิน 500 ppb	165.5	23.8	221.0	114.7	161.3	169.7
สภาพความเป็นกรดและด่าง	5.0 - 7.0	5.889	0.166	6.34	5.34	5.86	5.92
ปริมาณแบคทีเรียโดยรวมในน้ำ (cfu/100 ml)	ไม่เกิน 10,000 cfu/100 ml	444	117	723	204	424	465

หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบทางสถิติ	มาตรฐานคุณภาพที่กำหนด	ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX					
		ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	
						ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	ไม่เกิน 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.882	0.233	1.836	0.534	0.841	0.923
ปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ (ppb)	ไม่เกิน 500 ppb	187.0	134.0	1,231	104.2	163.3	210.8
สภาพความเป็นกรดและด่าง	5.0 - 7.0	5.848	0.138	6.42	5.60	5.82	5.87
ปริมาณแบคทีเรียโดยรวมในน้ำ (cfu/100 ml)	ไม่เกิน 10,000 cfu/100 ml	528	142	845	242	503	553

จากตารางที่ 4 ในหัวข้อสภาพความเป็นกรดและด่าง พบว่า ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI มีค่าเฉลี่ยมากกว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานใช้งานที่มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0-7.0 แล้ว จะไม่ส่งผลในเรื่องข้อได้เปรียบและเสียเปรียบต่อกันของระบบผลิตน้ำทั้งสองระบบ โดยจากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาในเรื่องของการประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับ 95% (95% of Confidence Interval Estimation) พบว่า ช่วงขอบเขตล่าง (Lower Bound) และขอบเขตบน (Upper Bound) ของสภาพความเป็นกรดและด่างของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้งสองระบบ มีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานการใช้งาน 5.0-7.0 ทั้งคู่ จึงสรุปได้ว่า ทั้งสองระบบมีคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ในหัวข้อนี้ ผ่านมาตรฐานการใช้งานเทียบเท่ากัน

6. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ จะพิจารณาจากการประมาณการงบกระแสเงินสดหลังหักภาษีเงินได้ของทั้ง 2 ทางเลือก โดยใช้วิธีวิเคราะห์เฉพาะค่าใช้จ่ายในส่วนที่เพิ่ม (Incremental Analysis) [9] โดยทางเลือกที่หนึ่งคือระบบ MBIX มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 3,673,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปี 591,379 บาท และทางเลือกที่สองคือระบบ EDI มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 3,973,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปี 357,063 บาท การลงทุนมีสัดส่วนเงินลงทุนในส่วนของผู้ลงทุน และเงินกู้ในอัตรา 50% เท่าๆ กัน โดยเงินกู้มีอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 9.5 ต่อปี และชำระคืนเงินต้นปีละเท่าๆ กันเป็นเวลา 5 ปี อัตราภาษีเงินได้นิติบุคคล 20% ต่อปี ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ใช้วิธีเส้นตรงโดยมีระยะเวลาในการหักค่าเสื่อมราคา 5 ปี พบว่า กระแสเงินสดสุทธิหลังหักภาษีของทั้งสองระบบ และกระแสเงินสดส่วนเพิ่ม (Incremental Cash Flow) โดยใช้ทางเลือกที่ 2 เป็นตัวตั้งลบด้วยทางเลือกที่ 1 ได้ข้อมูลตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราผลตอบแทนในส่วนที่เพิ่มขึ้นของการลงทุนภายในโครงการ

ปีที่	กระแสเงินสดสุทธิหลังหักภาษี (CFAT)		Incremental Cash Flow
	MBIX	EDI	
0	-1,836,500	-1,986,500	-150,000
1	-833,057	-675,004	158,053
2	-805,142	-644,810	160,333
3	-777,228	-614,615	162,613
4	-749,313	-584,420	164,893
5	-721,398	-554,225	167,173
6	-473,103	-285,650	187,453
7	-473,103	-285,650	187,453
8	-473,103	-285,650	187,453
9	-473,103	-285,650	187,453
10	-473,103	-285,650	187,453

จากตารางที่ 5 พิจารณาค่าปัจจุบันสุทธิจากรายได้หลังหักภาษีเงินได้นิติบุคคลในส่วนที่เพิ่มของทั้งสองทางเลือก โดยกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ 20% ที่อัตราดอกเบี้ย 9.5% ให้

ผลตอบแทนคั่งค่าต่อการลงทุนในส่วนเพิ่ม ดังตารางที่ 5 เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 559,153 บาท มีค่ามากกว่า 0 อัตราผลตอบแทนในส่วนเพิ่มของโครงการ (Incremental IRR) เท่ากับ 106.98% มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำ (MARR) ที่กำหนดไว้ 20% ต่อปี (Incremental IRR > MARR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 1.16 ปี แสดงให้เห็นว่าโครงการทางเลือกที่ 2 มีความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาจะได้ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพ และสะดวกต่อการบำรุงรักษาอีกด้วย

7. วิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจในโครงการ

การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปร (Sensitivity Analysis) เพื่อวิเคราะห์ความไม่แน่นอนที่จะส่งผลต่อโครงการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ สำหรับทั้งสองทางเลือกโดยการกำหนดสถานการณ์จำลองเพื่อให้เห็นถึงผลกระทบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดทางการเงิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนค่าไฟฟ้า, ค่าจ้างพนักงาน, ต้นทุนของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์รวมติดตั้ง, ต้นทุนราคาอุปกรณ์ EDI และต้นทุนราคาอุปกรณ์ MBIX ว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด จึงจะทำให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปตามเกณฑ์ของการตัดสินใจลงทุน ผลการวิเคราะห์ความไวสรุปได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความไวของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ทำให้อัตราผลตอบแทนภายในส่วนที่เพิ่มของโครงการมีค่าน้อยกว่า MARR

ปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์	% เปลี่ยนแปลง
ต้นทุนค่าไฟฟ้า	ความไวไม่มีผลต่อการพิจารณาโครงการ
ค่าจ้างพนักงาน	-115.77%
ต้นทุนของระบบรวมติดตั้ง	+233.25%
ราคาอุปกรณ์ EDI	+116.63%
ราคาอุปกรณ์ MBIX	-233.25%

จากตารางที่ 6 พบว่า ระดับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น หากต้องการให้ถึงระดับที่ส่งผลการพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมของโครงการเปลี่ยนแปลงจากระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI (ทางเลือกที่ 2) เป็น ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX (ทางเลือกที่ 1) จะต้องมี

การเปลี่ยนแปลงในระดับเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่า +100% หรือ น้อยกว่า -100% ซึ่งนับเป็นระดับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ยากมาก เมื่อพิจารณาจากสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ส่วนในเรื่องของต้นทุนค่าไฟฟ้า จากการวิเคราะห์พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนี้ ไม่ว่าจะเปลี่ยนแปลงในระดับใดก็ตาม จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเลือกที่เหมาะสมของโครงการจากระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI (ทางเลือกที่ 2) เปลี่ยนเป็นระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX (ทางเลือกที่ 1)

8. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเทคนิคของโครงการพบว่า ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI มีคุณภาพ ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือในการใช้งานมากกว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริสุทธิ์เพื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองระบบ พบว่าเป็นการตัดสินใจที่ถูกต้องที่ได้ทำการเลือกติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI เพราะว่าหากมองในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้งานของระบบเป็นหลัก โดยมีการใช้ข้อมูลเชิงสถิติเป็นตัวชี้วัดแล้ว พบว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX อย่างชัดเจนในหัวข้อสภาพการนำไฟฟ้า ปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ และปริมาณแบคทีเรียโดยรวมในน้ำ ส่วนสภาพความเป็นกรดและด่างถือว่าทั้งสองระบบมีคุณภาพและประสิทธิภาพที่เทียบเท่ากัน

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ พบว่า แม้ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI จะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเริ่มต้นที่สูงกว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX แต่เมื่อพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นตลอดอายุของโครงการแล้ว พบว่า ทางเลือกของการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI ให้อัตราผลตอบแทนภายในส่วนที่เพิ่มของโครงการ (Incremental IRR) 106.98% ซึ่งมากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำ (MARR) ที่กำหนดไว้ที่ 20% และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 559,153 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 และให้ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period) 1.16 ปี ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว สรุปได้ว่า ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ EDI เป็นทางเลือกที่เหมาะสมมากกว่าระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ MBIX

จากการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยในระดับ % ที่มากกว่า +100% หรือ น้อยกว่า -100% การพิจารณาโครงการจึงมีความเหมาะสมที่จะเปลี่ยนทางเลือก EDI เป็นทางเลือก MBIX แต่เมื่อพิจารณาจากสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบันแล้วพบว่าเป็นเรื่องที่ยากมากๆ ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับนั้นได้ภายในช่วงอายุของโครงการ 10 ปี ส่วนในเรื่องของต้นทุนค่าไฟฟ้า จากการวิเคราะห์พบว่า ความไวไม่มีผลต่อการพิจารณาโครงการ

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้คือ หากการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ระบบใหม่ มีการใช้งานน้ำดิบจากแหล่งเก็บน้ำดิบต้นทางที่ต่างแตกต่างจากระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ระบบเดิมที่ใช้งานอยู่ ผู้ศึกษาควรที่จะพิจารณาในส่วนของคุณภาพน้ำดิบจากแหล่งเก็บน้ำดิบต้นทางด้วย เพราะเป็นปัจจัย

สำคัญที่จะนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบและติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ในรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานในโครงการนั้นๆ

หากผู้สนใจต้องการติดตั้งระบบจ่ายน้ำบริสุทธิ์ (Distribution Loop) สำหรับกระบวนการผลิตยา นอกเหนือไปจากการติดตั้งระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แล้ว ขอให้ทำการศึกษารายละเอียดที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เช่น วัสดุที่ใช้ทำท่อน้ำ, ความเรียบของท่อน้ำและถังเก็บน้ำบริสุทธิ์, ชนิดของปั๊มน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้งาน, อัตราเร็วของน้ำบริสุทธิ์ในท่อน้ำ, การติดตั้งระบบท่อน้ำและวาล์วจ่ายน้ำโดยปราศจากจุดตกอับ, คุณภาพรอยเชื่อมของการเชื่อมท่อน้ำ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความเอื้อเฟื้อเพื่อดำเนินสถานที่และการสนับสนุนข้อมูลสำหรับงานวิจัยเป็นอย่างดี รวมถึงบุคลากรในระดับปฏิบัติการและระดับบริหารงานทุกๆ ท่านที่กรุณาให้การสนับสนุนในการทำการทดลอง ให้คำแนะนำและความเห็นที่เป็นประโยชน์ยิ่งทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์

References

- [1] Bennett, A. (2006). "Process water: analysing the lifecycle cost of pure water". **Filtration & Separation**. Vol. 43 (2): 28-32.
- [2] Bennett, A. 2009. Water processes and production: High and ultra-high purity water. **Filtration & Separation**. Vol. 46. (2): 24-27.
- [3] Peerapong Wongrat and Aranya Lueangaroon. (2004). **Water System for Pharmaceutical Processing**. Edition No. 1. Bureau of Drug Control. Food and Drug Administration. Ministry of Public Health. Nonthaburi. (In Thai)
- [4] Anonymous. (1999). "RO/EDI systems, efficient alternative to deionization". **Membrane Technology**. 1999. (105): 3.
- [5] Belkacem, M., K. Bensadok, A. Refes, P.M. Charvier and G. Nezzal. (2008). "Water produce for pharmaceutical industry: role of reverse osmosis stage". **Desalination**. Vol. 221 (1–3): 298-302.
- [6] Bennett, A. (2007). "High purity water: Advances in ion exchange technology". **Filtration & Separation**. Vol. 44 (6): 20-23.
- [7] Elga, L. and I. Elga. (1997). "Upgrading a pharmaceutical water purification system to meet FDA requirements". **Filtration & Separation**. Vol. 34 (9): 938-939.

- [8] Wood, J., J. Gifford, J. Arba and M. Shaw. (2010). "Production of ultrapure water by continuous electrodeionization". **Desalination**. Vol. 250 (3): 973-976.
- [9] Pornchai Akesakulpaibool. (2012). **Technical and Economic Feasibility Analysis on Utilization of Biogas from Waste Water Treatment System in Substitution of Natural Gas Usage in Steam Boiler: A Case Study of Chicken Processing Plant**. Master of Engineering. Program in Engineering Management. Kasetsart University. Bangkok. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



ธงชัย เลขะเจริญกุล ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุงโรงงาน บ. ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (โรงงานปทุมธานี) 55 หมู่ 2 ถนนกรุงเทพ-ปทุมธานี ตำบลบางชะแยง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-598-2500-19 ต่อ 7193 โทรสาร 02-977-4218 E-mail : tongchai.le@thainamthip.co.th, nop_tl@yahoo.co.th

งานวิจัยที่สนใจ: ระบบการจัดการด้านพลังงาน ระบบการจัดการด้านซ่อมบำรุงโรงงาน การวิจัยด้านเทคโนโลยีวิศวกรรมทั่วไป



ต้นสนีย์ สุภามา จบการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ M.S. (Industrial Eng.) จาก Illinois Institute of Technology , USA โทรศัพท์ 02-797-0999 ต่อ 1603-1604 E-mail: fengsas@ku.ac.th

สาขาที่เชี่ยวชาญ: Industrial Engineering



พัชรารณ ญาณภักดิ์ จบการศึกษา วท.บ. (เศรษฐศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 2 จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ M.Sc. (Industrial Eng.), D.Tech.Sc. จาก Asian Institute of Technology โทรศัพท์ 02-797-0999 ต่อ 1615,1617 E-mail: fengppy@ku.ac.th

สาขาที่เชี่ยวชาญ: Operations Research, Management and Decision Analysis