

## การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของกระบวนการจัดการน้ำเสีย อย่างยั่งยืนในนิคมอุตสาหกรรมพื้นที่ภาคตะวันออก

เพียงใจ หาญวัฒนาวุฒิ<sup>1</sup>, กอบเกียรติ ผ่องพจน์<sup>2</sup>, บุญเลิศ วงศ์โพธิ์<sup>3</sup>, วินัย วีระพัฒนานนท์<sup>4</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี

<sup>2</sup>ภาควิชาทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>3,4</sup>สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี

Email: piangchai@gmail.com<sup>1</sup>

Received: Dec 02, 2023

Revised: Feb 26, 2024

Accepted: Feb 27, 2024

### บทคัดย่อ

การจัดการทรัพยากรน้ำในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ใช้แนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่โดยเฉพาะยิ่งการจัดการน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว โดยงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพภายใต้การดำเนินงานของนิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่จังหวัดชลบุรี ตระหนักถึงการดำเนินงานตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ขององค์การสหประชาชาติ เป้าหมายที่ 6 ว่าด้วยสร้างหลักประกันเรื่องน้ำและการสุขาภิบาลให้มีการจัดการอย่างยั่งยืน และมีสภาพพร้อมใช้สำหรับทุกคน จากการบริหารงานที่ยั่งยืน โดยการใช้เครื่องมือด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ มาบูรณาการร่วมกัน นิคมอุตสาหกรรมร่วมดำเนินงานแห่งนี้ ตั้งอยู่ในจังหวัดชลบุรี และได้รับการรับรองเป็นเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ ระดับ Eco-World Class หนึ่งในดำเนินงานการจัดการทรัพยากรคือน้ำและน้ำเสีย โดยมีกระบวนการนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดนำกลับมาใช้ใหม่ ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน มุ่งเน้นให้เกิดการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดต่อการลดการใช้ทรัพยากรน้ำและมลพิษน้ำรวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดการ โดยประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป openLCA เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากผลการศึกษาจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้แก่ ผลต่อสุขภาพ, ผลระบบนิเวศน์ และ ผลต่อทรัพยากร เท่ากับ  $3.36\text{E-}05$  DALY,  $9.07\text{E+}03$  PDF.m<sup>2</sup>.yr และ  $2.54\text{E+}05$  MJ ตามลำดับ ซึ่งดัชนีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเท่ากับ 65.23 การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่มีผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง 34.08% ซึ่งหมายถึงการใช้น้ำที่บำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ส่งผลให้นิคมอุตสาหกรรมสามารถลดค่าใช้จ่าย และลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

**คำสำคัญ :** ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ, ก๊าซเรือนกระจก, น้ำเสีย, น้ำที่บำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่, การประเมิน วัฏจักรชีวิต

## Eco-Efficiency Assessment of Sustainable Wastewater Management Processes in Industrial Estates of the Eastern Region

Piangchai Hanwatanawuthi<sup>1</sup>, Kobkiat Pongput<sup>2</sup>, Bunlert Wongpho<sup>3</sup>,  
Vinai Veeravatnanond<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Student of Ph.D. (Environmental Education Program), Pathumthani University, Thailand

<sup>2</sup>Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Thailand

<sup>3,4</sup> Environmental Education Program, Pathumthani University, Thailand

Email: piangchai@gmail.com<sup>1</sup>

Received: Dec 02, 2023

Revised: Feb 26, 2024

Accepted: Feb 27, 2024

### Abstract

In the present, wastewater management in the industrial sector is primarily focused on the reuse of treated water. The purpose of this research is to study the efficiency of the biological wastewater treatment system under the operation of the industrial estate in Chonburi province. The Industrial Estate, under the supervision of the Industrial Estate Authority of Thailand, is aware of Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goal 6. SDG 6 aims to ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all, according to the United Nations. The Industrial Estate integrates environmental tools in line with the concept of a circular economy, with a focus on minimizing environmental impacts. Minimizing water consumption, reducing pollution, and cutting down on management expenses are integrated into industrial estates. OpenLCA is software designed for evaluating the life cycle of products and eco-efficiency. The environmental impact assessment includes effects on Human Health, Ecosystem Quality, and Resources, with values of 3.36E-05 DALY, 9.07E+03 PDF.m2.yr, and 2.54E+05 MJ, respectively. The Eco-Efficiency index is precisely 65.23. The reutilization of treated water reduces 34.08% in greenhouse gas emissions. Industrial estates can achieve reduction in expenses and a decrease in carbon dioxide emissions.

**Keywords :** Eco efficiency, Greenhouse gas, Wastewater, Reclaimed water, Life Cycle Assessment

## บทนำ

การขาดแคลนทรัพยากรน้ำ (Water scarcity) ทำให้เกิดการแย่งชิงน้ำระหว่างภาคครัวเรือน ภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม และส่งผลกระทบต่อพื้นที่อุตสาหกรรม เช่น นิคมอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออก [1,2] และกระจายไปหลายพื้นที่ทั่วประเทศ การจัดการทรัพยากรน้ำในระบบอุตสาหกรรมโดยใช้หลักบูรณาการ การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ การใช้เครื่องมือสิ่งต่าง ๆ เช่น เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจ (Eco Efficiency) หลักการประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์ เพื่อสอดคล้องกับวาระแห่งชาติของประเทศไทยที่มุ่งสู่แผนพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวมที่เรียกว่า BCG [3] ที่จะพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติ ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bio Economy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) ไปพร้อมกัน โดยมีเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goal-SDGs) การมุ่งเน้นในประเด็นการบำบัดน้ำเสีย, ประสิทธิภาพการใช้น้ำและแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ [4] สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ด้านน้ำสะอาดและสุขอนามัย SDGs 6 โดยนำหลัก 3R 'ได้แก่' Reuse Reduce และ Recycle ผสมผสานกับประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ได้ถูกนำมาเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาเรื่องความขาดแคลนทรัพยากรน้ำ [5] ในมิติเศรษฐกิจหมุนเวียน ภายใต้การพัฒนาอย่างสมดุล โดยมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน [6,7]

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) มีพันธกิจในการพัฒนานิคมอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน และบริหารจัดการนิคมอุตสาหกรรมเพื่อรองรับการลงทุนภาคการผลิตและผลักดันให้ไทยเป็นศูนย์กลางการผลิต โดยกำหนดทิศทางขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไทยภายใต้โมเดลเศรษฐกิจ BCG การลงทุนในอุตสาหกรรมใหม่ news curve ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรมใหม่ นอกจากนี้แล้ว กนอ. ยังเป็นองค์กร

หลักในการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ [8] โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) กล่าวคือ การผลิตสินค้าหรือบริการ การผลิตภัณฑ์และบริการตลอดจนถึงขั้นตอนการกำจัด ภาคอุตสาหกรรมต้องให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการทรัพยากร อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเกิดมลพิษน้อยที่สุด

ทรัพยากรน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบ ปลายทางคือของเสียที่เกิดขึ้นต้องผ่านการบำบัดก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งถือเป็นต้นทุนในการผลิต ดังนั้น การใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นทางเลือกที่ผลประโยชน์ในด้านเศรษฐกิจและการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยการเลือกใช้เครื่องมือด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในการบริหารจัดการน้ำตลอดกระบวนการผลิต [9]

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษาประสิทธิภาพการนำน้ำเสียจากอุตสาหกรรมภายใต้การดำเนินงานของนิคมอุตสาหกรรม ในพื้นที่โครงการเขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำและนำกระบวนการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดต่อการลดการใช้ทรัพยากรน้ำและมลพิษน้ำรวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดการ เพื่อแก้ปัญหาความเครียดของน้ำ ทำให้เกิดการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน โดยประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์ [10,11] และประเมินประสิทธิภาพนิเวศเศรษฐกิจของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมกระบวนการผลิตของนิคมอุตสาหกรรมโดยการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก [12]

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชีวภาพที่มีกระบวนการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชีวภาพที่มีกระบวนการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

### ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมร่วมดำเนินงานแห่งหนึ่ง ภายใต้การกำกับดูแลของ กนอ. ในจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นนิคมอุตสาหกรรมที่ยกระดับเป็นเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ ระดับ Eco-World Class เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน เป็นตัวแทนของนิคมอุตสาหกรรมในภาคตะวันออก นิคมอุตสาหกรรมแห่งนี้เป็น 1 ใน 30 เขตพื้นที่นิคมภาคตะวันออกจังหวัดชลบุรีซึ่งเป็นจังหวัดที่มีโรงงานอุตสาหกรรมใหม่สูงที่สุดในภูมิภาค และประเภทอุตสาหกรรมที่ตั้งในนิคมอุตสาหกรรมจัดเป็นประเภทที่เกิดมลพิษต่ำซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ขอบเขตของระบบคือ วงจรชีวิตจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นการบำบัดซึ่งครอบคลุม ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย การดำเนินการบำบัด การบำรุงรักษาระบบและการจัดการกากตะกอน การวิเคราะห์ การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรม

### ขอบเขตด้านพื้นที่

ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรมแบบ gate to gate

ตัวแปรต้น : ความเข้มข้นของ BOD loading และ ปริมาณน้ำ พลังงาน สารเคมี

ตัวแปรตาม : ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำ : ปริมาณน้ำ ที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่

### ระเบียบการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัย โดยรวบรวมข้อมูลน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรม โดยมีอุปกรณ์ คือ Computer Processor Intel Core i5 โปรแกรม openLCA 1.11.0 สำหรับคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และโปรแกรม Microsoft Office 365 วิเคราะห์ ดังนี้

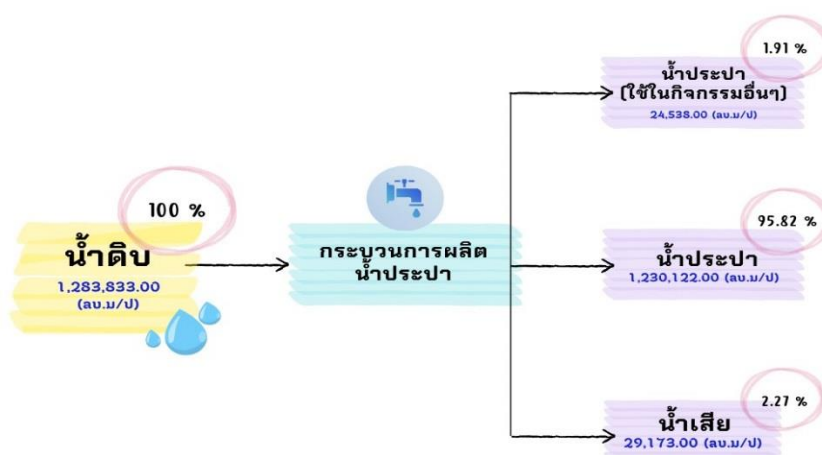
1. การประเมินสมดุลย์ปริมาณน้ำ (Water Balance) ในระบบบำบัดน้ำเสีย [13]
2. การประเมินวัฏจักรชีวิต Life Cycle Assessment (LCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป openLCA [14]
3. วิเคราะห์ผลการนำ LCA ไปใช้ประโยชน์ด้วยหลักการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas – GHG) ตามแนวทาง ISO 14040 และ IPCC
4. การประเมินประสิทธิภาพเศรษฐกิจเชิงนิเวศ (Eco-Efficiency) ตามแนวทาง ISO 14050 [15,16]

### ผลการศึกษา

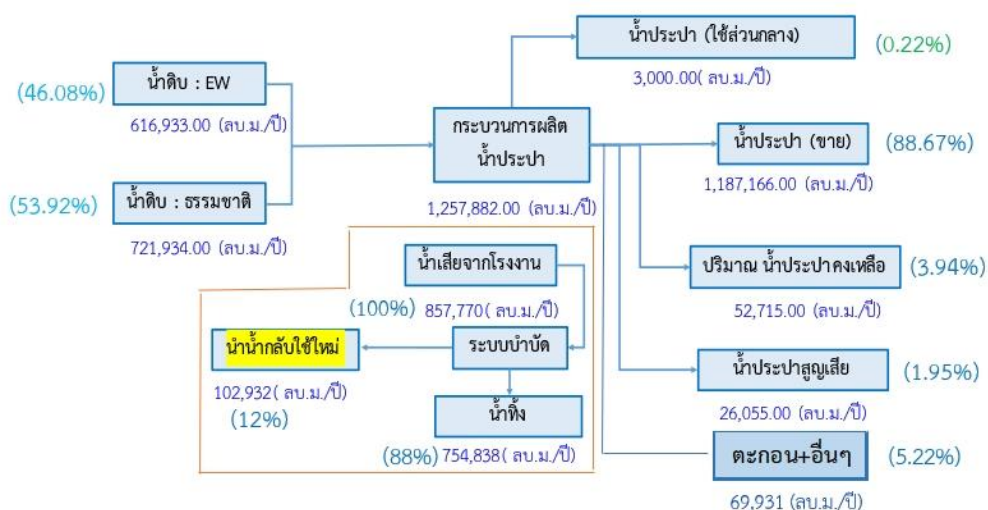
จากการศึกษาข้อมูลการจัดการน้ำของนิคมอุตสาหกรรม ปี 2564 ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบ Activated Sludge ประสิทธิภาพสูงสุด 1,460,000 ลบ.ม./ปี การวิเคราะห์ประสิทธิภาพน้ำเสียกรณีศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมเพื่อการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ และเพื่อประเมินความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลการศึกษาแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

#### 1. การประเมินสมดุลย์ปริมาณน้ำเสีย (Water Balance) ในระบบบำบัดน้ำเสีย

สมดุลน้ำสำหรับการผลิตน้ำประปาของนิคมอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 1 จากน้ำดิบ 1,283,800 ลบ.ม./ปี ผลิตเป็นน้ำประปา 1,254,660 ลบ.ม./ปี ในกรณีที่มีการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Circular Economy) ปริมาณ 102,932 ลบ.ม./ปี แสดงดังรูปที่ 2

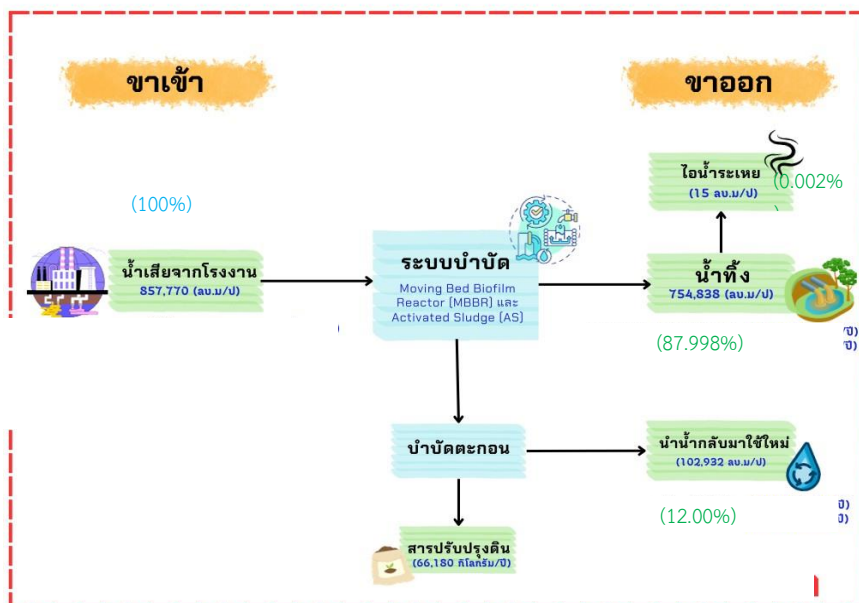


รูปที่ 1 ผังแสดงสมดุลน้ำของการใช้น้ำ ปริมาณน้ำดิบ ที่นำมาผลิตน้ำประปาของนิคมอุตสาหกรรม



รูปที่ 2 ผังแสดงสมดุลน้ำของการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Circular Economy)

จากการประเมินสมดุลน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรม มีน้ำเสียเข้าระบบ 857,770 ลบ.ม./ปี การนำน้ำกลับใช้ใหม่ 102,932 ลบ.ม./ปี โดยกากตะกอนจากระบบบำบัดจะนำไปทำเป็นสารปรับปรุงดิน แสดงดัง รูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังแสดงสมดุลปริมาณน้ำเสีย (Water Balance) ในระบบบำบัดน้ำเสีย

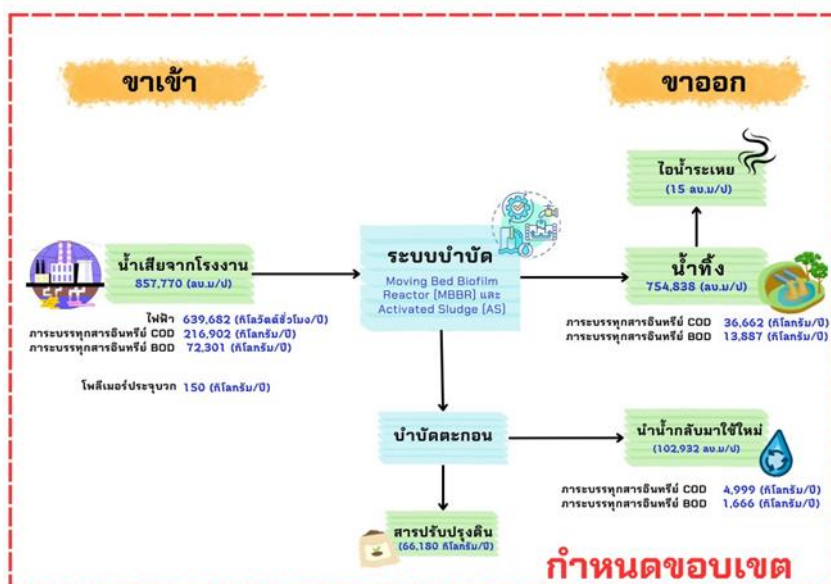
## 2. การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป openLCA ในระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรม

การประเมินวัฏจักรชีวิต Life Cycle Assessment (LCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป openLCA ตรวจสอบวงจรชีวิตทั้งหมดของกระบวนการ ผ่านถึงตกตะกอน และนำน้ำเสียที่บำบัดแล้ว ประมาณ 12% ของน้ำทิ้งทั้งหมดไปใช้งานต่อการจัดทำรายการวัฏจักรชีวิต

(LCI) ซึ่งรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น ทั้งขาเข้า และขาออก เช่น ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบ พลังงานไฟฟ้า การใช้น้ำ ภาระโหลด BOD<sub>5</sub>, COD และ สารเคมีที่ใช้งาน ในส่วนของขาออกได้ข้อมูล ปริมาณน้ำทิ้ง ปริมาณน้ำที่หมุนเวียนไปใช้ใหม่ ภาระโหลด BOD<sub>5</sub>, COD และ กากตะกอนส่วนเกินแสดงดังตารางแผนผังแสดงดังรูปที่ 4

| ขาเข้า            |         |                     |
|-------------------|---------|---------------------|
|                   | ปริมาณ  | หน่วย               |
| น้ำเสีย           | 857,770 | ลบ.ม./ปี            |
| ภาระโหลด          | 72,301  | กก.BOD/ปี           |
| ภาระโหลด          | 216,902 | กก.COD/ปี           |
| ไฟฟ้า             | 639,682 | กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี |
| น้ำใช้            | 15      | ลบ.ม./ปี            |
| โพลีเมอร์ประจุบวก | 150     | กก./ปี              |

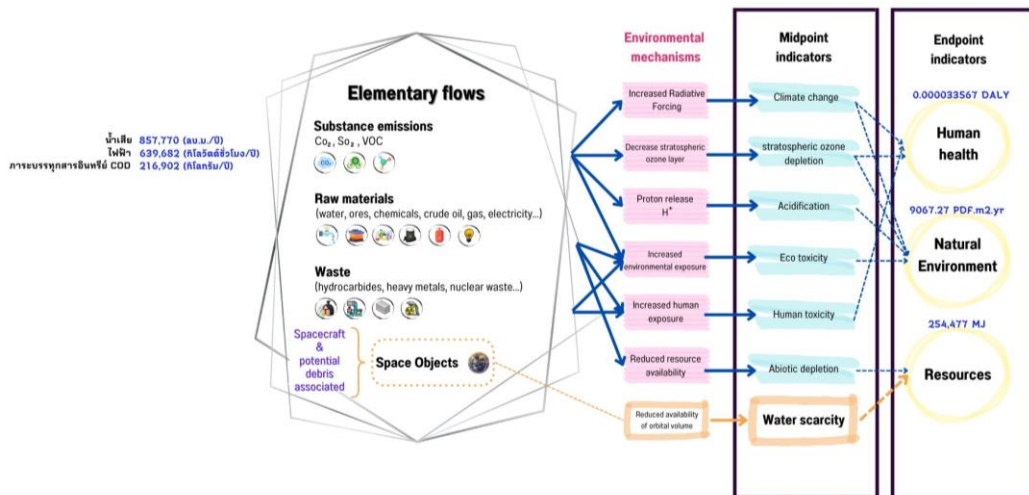
| ขาออก              |         |                                 |
|--------------------|---------|---------------------------------|
| น้ำทิ้ง            | 754,838 | ลบ.ม/ปี                         |
| ภาระโหลด           | 13,887  | กก.BOD/ปี                       |
| ภาระโหลด           | 36,662  | กก.COD/ปี                       |
| น้ำนำกลับไปใช้ใหม่ | 102,932 | ลบ.ม/ปี                         |
| ภาระโหลด           | 1666    | กก.BOD/ปี                       |
| ภาระโหลด           | 4999    | กก.COD/ปี                       |
| ตะกอนส่วนเกิน      | 66,180  | กก./ปี                          |
| ไอน้ำ              | 15      | ลบ.ม/ปี                         |
| ก๊าซเรือนกระจก     | 319.78  | ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี |



รูปที่ 4 การทำรายการวัฏจักรชีวิต Life Cycle Inventory (LCI) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

### 3. การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิต Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

การประเมินผลกระทบของวงจรชีวิต (LCIA) ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับ LCI ผลลัพธ์จากการประเมินผลกระทบ ระบุความสำคัญด้านคุณภาพ สิ่งแวดล้อม และทรัพยากร [17] ได้ผลดังรูปที่



รูปที่ 5 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป openLCA ในระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรม

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป openLCA ระบบบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรมวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ซึ่งมีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดเนื่องจากทรัพยากรแต่ละชนิดมีปริมาณต่างกัน

ก. สุขภาพคือ 0.000033567 จำนวนราย ในการฉีกการวัดการป่วย การตายแบบทั่ว ๆ ไปเป็นการวัดที่รวมการสูญเสียทั้งจากการตายและความพิการหรือ ความเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นในระดับประชากร การสูญเสียปีสุขภาวะ (DALY) ซึ่งบ่งชี้ถึงการสูญเสีย 0.000033567 ปีจากชีวิตที่มีสุขภาพดีของบุคคลในรูปแบบของความทุกข์ทรมาน

ข. คุณภาพของระบบนิเวศอยู่ที่ 9067.27 PDF.m<sup>2</sup>.yr ซึ่งแสดงถึงการทำลายล้างของสปีชีส์หรือระบบนิเวศ 9067.27 m<sup>2</sup> ในหนึ่งปี

ค. ทรัพยากรส่วนเกิน 254,477 MJ หมายถึงปริมาณพลังงานพื้นฐานที่จำเป็นในการบำบัดน้ำเสีย

| Impact            | Unit                   | Result   |
|-------------------|------------------------|----------|
| Human Health      | DALY                   | 3.36E-05 |
| Ecosystem Quality | PDF.m <sup>2</sup> .yr | 9.07E+03 |
| Resources         | MJ                     | 2.54E+05 |

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่งผลให้คนต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่าย ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ การคำนวณยังเกี่ยวข้องกับการแปลงมูลค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในสกุลเงินยูโร ซึ่งแต่ละค่าจะถูกคูณด้วยมูลค่าที่แน่นอนเพื่อให้ได้หน่วยยูโร และแปลงมูลค่าเป็นหน่วย บาท ในขั้นสุดท้าย [16]



ตารางที่ 1 มูลค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Eco Cost)

| Impact : IMPACTWorld+ | unit                   | Total    | Multiplier factor | Eco cost (EURO) | Eco cost (THB) |
|-----------------------|------------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------|
| Human Health          | DALY                   | 3.36E-05 | 74000             | 37.077          | 92.10          |
| Ecosystem Quality     | PDF.m <sup>2</sup> .yr | 9.07E+03 | 1.4               | 0.037077        | 470.66         |
| Resources             | MJ                     | 2.54E+05 | 0.00411           | 37.077          | 38,778.85      |
|                       |                        |          |                   | Total           | 39,341.61      |

#### 4. ผลการประเมินความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม (Eco Efficiency) เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed water)

รายงานการประเมินวัฏจักรชีวิตในการศึกษานี้ได้นำน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย (Effluent) ของนิคมอุตสาหกรรม 12% ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด 857,770 ลบ.ม./ปี มาบำบัดใหม่ และนำน้ำดังกล่าว (Reclaimed water) ปริมาตร 102,932 ลบ.ม./ปี

กลับมาใช้ใหม่โดยนำมารดน้ำต้นไม้บริเวณภายในนิคมอุตสาหกรรมตามหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน มีมูลค่าผลิตภัณฑ์และบริการ (บาท/ปี) - ค่าใช้จ่ายในดำเนินงาน (บาท/ปี) เท่ากับ 2,566,449 บาท/ปี และ มูลค่าทางนิเวศน์ที่ได้จากตารางที่ 1 เท่ากับ 39,341 บาท/ปี ผลกระทบที่มีมูลค่าสูงที่สุดคือผลกระทบด้านทรัพยากร คิดเป็นมูลค่า เกินกว่า 98% ของมูลค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยรวม และสามารถคำนวณ Eco Efficiency ได้จากสมการ

$$EEI = \frac{\text{มูลค่าผลิตภัณฑ์และบริการ (บาท/ปี)} - \text{ค่าใช้จ่ายในดำเนินงาน (บาท/ปี)}}{\text{มูลค่าทางนิเวศน์ (บาท/ปี)}}$$

$$EEI = \frac{2,566,449 \text{ (บาท/ปี)}}{39,341.61 \text{ (บาท/ปี)}}$$

$$EEI = 65.23$$

จากค่า EEI ที่มากกว่า 1 แสดงว่ากิจกรรมการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ประมาณ 12% ของน้ำเสียทั้งหมด มีความคุ้มค่าและยั่งยืน ตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศ [18]

#### 5. ผลการเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ระหว่างการผลิตน้ำประปา และการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่

ผลการประเมินพบว่า การใช้น้ำลดได้จากกิจกรรมนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ 38.37 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำประปาเท่ากับ 0.56556 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ลบ.ม. ปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 0.37280 ตัน

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ลบ.ม. ดังนั้น การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงเท่ากับ 0.1928 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ลบ.ม. หรือ 34.08 %

#### สรุป และอภิปรายผล

จากการวิจัยการประเมินวัฏจักรชีวิตในระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรม และการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้สรุปได้ว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศของระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 65.23 ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าค่าใช้จ่ายและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถลดลงได้ 34.08% เนื่องจากน้ำเสียมีลักษณะเป็นน้ำเสียแบบอินทรีย์วัตถุมาก

(จากอัตราส่วนระหว่าง  $BOD_5$  : COD เท่ากับ 1 : 3 และระบบบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีชีวภาพ) ประสิทธิภาพในการกำจัด  $BOD_5$  ประมาณ 80% ของระบบ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน การนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ มีความคุ้มค่าและยั่งยืน ตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศ โดยรวมการใช้ LCA และ Eco-Efficiency เพื่อเป็นเครื่องมือในการจัดการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมรวมถึงใช้เป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการจัดการ เพื่อปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพและเลือกใช้เทคโนโลยีในกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เป็นต้นแบบการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้

เครื่องมือ LCA ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมการบำบัดน้ำเสียโดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของสินค้าและบริการ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ได้ทุกภาคส่วน และมี 4 ขอบเขตที่สามารถนำมาประเมินได้ LCA เครื่องมือตั้งต้นที่สำคัญอย่างยิ่งในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสามารถขยายพื้นที่ศึกษา และต่อยอดนำไปใช้ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในบริบทอื่น ๆ ได้

### ปัญหาและอุปสรรค

1. ผลการศึกษา LCIA เน้นเฉพาะประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ถูกระบุในเป้าหมายและขอบเขตเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่ได้เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

2. ข้อจำกัดในการเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการที่เหมาะสมและเป็นตัวแทนของผลกระทบในแต่ละกลุ่ม

### References

- [1] Department of Local Administration Ministry of Interior, Apr. 20, 2022, "Standards and indicators for water pollution management," [online]. Available: [http://www.dla.go.th/work/e\\_book/eb1/10\\_9.pdf](http://www.dla.go.th/work/e_book/eb1/10_9.pdf)
- [2] Bangkokbiznews, Jun. 26, 2022, "Smart Water Management System in EEC," [online]. Available: <https://www.bangkokbiznews.com/blogs/columnist/125328>
- [3] National Science and Technology Development Agency, Apr. 21, 2022, "BCG New Business Model," [online]. Available: [https://www.nstda.or.th/home/knowledge\\_post/bcg](https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/bcg) : by : nstda/
- [4] K. Suwannahong, "Technology Wastewater Treatment in Biological Wastewater Treatment course," Aug. 24, 2022.
- [5] J. Benjawan, Apr. 20, 2022, "Water Resource," [online]. Available: [http://human.tru.ac.th/elearning/Human%20Being/human : detail3\\_6.html](http://human.tru.ac.th/elearning/Human%20Being/human%20detail3_6.html)
- [6] P. Rinratanakorn, "8 Important factors for concrete development for sustainable success of the EEC," [online]. Available: <https://so05.tci.thaijo.org/index.php/SPUCJ/article/download/240810/163967/827370>
- [7] R. Singsakda, Aug. 24, 2022, "Water shortage is a problem that everyone must help," [online]. Available: <https://api.dtn.go.th/files/v3/5e96a210ef4140b16555bf53/download>

- [8] Industrial Estate Authority of Thailand, Aug. 24, 2022, "Principles of ecological industrial development," [online]. Available: <https://eco.ieat.go.th/th/eco-development-principles>
- [9] Echo community, Aug. 24, 2022, "Sustainable Decentralized Water Treatment for Rural Developing Communities Using Locally Generated Biochar Adsorbents," [online]. Available: <https://www.echocommunity.org/en/resources/f9592532:c0cd:424f:81d5:80444d693a2c>
- [10] K. Poolsawat, W. Tachajapong, S. Prasitwattanaseree, and W. Wongsapa, "Electricity consumption characteristics in Thailand residential sector and its saving potential." *Energy Reports* 2019, October. 2019, vol. 6(1), pp. 337–343.
- [11] Caiado, R. G. G., de Freitas Dias, R., Mattos, L. V., Quelhas, O. L. G., and Leal Filho, W., "Towards sustainable development through the perspective of eco: efficiency," *A systematic literature review. Journal of Cleaner Production*, vol. 165(1), pp. 890–904, November. 2017.
- [12] A. Dania, S. Mohamed, M. Medhat, E. Ahmed, and F. Mai, Nov. 28, 2023, "Life Cycle Assessment of a Domestic Wastewater Treatment Plant Simulated with Alternative Operational Designs." *Sustainability* 2023, 15, 9033. [online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/11/9033>
- [13] E. Hertwich and R. Wood, "The growing importance of scope 3 greenhouse gas emissions from industry," *Environmental Research Letters* 2018, vol. 13(10), October. 2018, pp. 104013.
- [14] Čuček, L., Klemeš, J. J., and Z. Kravanja, "Overview of environmental footprints. Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability 2015," June 2014, pp.131–193.
- [15] P. Schröder, K. Anggraeni & U. Weber, "The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals," *Journal of Industrial Ecology* 2018, vol. 23(9), pp.77-95, February. 2018.
- [16] International Organization for Standardization, "International Standard ISO 14050," *Fourth edition 2022*, pp.9.
- [17] Pardo M. C. I., "An analysis of eco: efficiency in energy use and CO<sub>2</sub> emissions in the Swedish service industries." *Socio: Economic Planning Sciences*, 47(2), pp. 120–130, [online]. Available: <https://www.10.1016/j.seps.2012.11.004>
- [18] N. A. Ramli & S. Munisamy, "Eco: efficiency in greenhouse emissions among manufacturing industries: A range adjusted measure. Economic Modelling," pp. 219–227, [online]. Available: <https://www.10.1016/j.econmod.2015.02.034>