

การจัดการพลังงานและน้ำในฟาร์มผักคาร์บอนต่ำ และมุมมอง เชิง SROI เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน

Energy and Water Management in Low-Carbon Vegetable Farming and an SROI Perspective for Sustainable Development

ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง*, สันติพันธ์ เจียบแหลม, สุนิสา ชากุลนา, สยมภู ผาทอง, คณัสนันท์ รัตนบำเพ็ญ,
จาตุรนต์ กัณทะธง, รัฎฐติกาล ศรีชัยอินทร์

Patipat Vongruang, Santipan Chiablam, Sunisa Chakunna, Sayompu Phatong,

Kanassana Ratanabumpen, Jaturon Kantathong, Rattikan Srichaiin

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

School of Public Health, University of Phayao

* Email: patipat7@hotmail.com

ส่งต้นฉบับบทความ : 12 มี.ค. 69 / ส่งบทความฉบับแก้ไข : 4 ก.ค. 69 / ตอบรับให้เผยแพร่ : 6 ก.ค. 69 / เผยแพร่ : 7 ต.ค. 69

การอ้างอิง: ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง และคณะ (2569). การจัดการพลังงานและน้ำในฟาร์มผักคาร์บอนต่ำ และมุมมองเชิง SROI เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน. สิ่งแวดล้อมไทย, ปีที่ 30 (ฉบับที่ 2).

<https://doi.org/10.35762/TE.2569005>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินการจัดการพลังงานและน้ำในฟาร์มผักเพื่อสุขภาพ สนับสนุนการผลิตเกษตรคาร์บอนต่ำ และสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระดับชุมชน พื้นที่ศึกษาฟาร์มผักสลัดแห่งหนึ่งในจังหวัดพะเยา การศึกษาใช้รูปแบบการวิจัยเชิงพัฒนาและประเมินผลแบบก่อน-หลัง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ระบบการผลิตเดิม และจัดทำข้อมูลฐานด้านการใช้พลังงาน น้ำ ปัจจัยการผลิต การขนส่ง และการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว เพื่อนำมาวิเคราะห์จุดวิกฤตของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต การปรับปรุงประกอบด้วยการเปลี่ยนระบบสูบน้ำเดิมเป็นระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ การติดตั้งระบบติดตามสภาพแวดล้อมเพื่อบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นดิน ปริมาณการใช้น้ำ เพื่อนำข้อมูลมาใช้สนับสนุนการกำหนดรอบและปริมาณการให้น้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร นอกจากนี้ ได้ปรับปรุงขั้นตอนการล้าง คัดแยก และบรรจุผลผลิตเพื่อลดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของระบบการผลิตลดลงจาก 2,889.9 เหลือ 1,368.0 kg CO₂eq ลดลงร้อยละ 52.7 โดยการปล่อยจากพลังงานลดลงร้อยละ 64.1 จากการใช้ปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ขณะที่การสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวลดลงร้อยละ 86.2 ผลการประเมิน SROI พบว่า อัตราผลตอบแทนทางสังคม 6.75 เท่า ผลการศึกษาชี้ว่าการใช้ปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ การจัดการน้ำโดยใช้ข้อมูลติดตามสภาพแวดล้อม และการลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฟาร์ม พร้อมสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจและสังคม และมีศักยภาพเป็นต้นแบบฟาร์มผักคาร์บอนต่ำสำหรับชุมชน

คำสำคัญ : เกษตรคาร์บอนต่ำ; พลังงานสะอาด; การจัดการน้ำ; คาร์บอนฟุตพริ้นท์; การประเมินวัฏจักรชีวิต; ผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน

Abstract

This study aimed to develop and evaluate energy and water management in a health-oriented vegetable farm to support low-carbon agricultural production and create economic, social, and environmental value at the community level. The study was conducted at a lettuce farm in Phayao Province, Thailand. A research and development approach with a pre-post evaluation design was employed. The study began with an analysis of the existing production system and the development of baseline data on energy use, water use, production inputs, transportation, and post-harvest losses to identify greenhouse gas emission hotspots through Life Cycle Assessment. The improvement measures included replacing the existing water pumping system with a solar-powered water pump and installing an environmental monitoring system to record temperature, relative humidity, soil moisture, and water use. These data were used to support the determination of irrigation schedules and water application volumes, as well as to improve resource-use efficiency. In addition, washing, sorting, and packaging procedures were improved to reduce post-harvest losses. The results showed that total greenhouse gas emissions from the production system decreased from 2,889.9 to 1,368.0 kg CO₂eq, representing a 52.7% reduction. Energy-related emissions decreased by 64.1% through the use of the solar-powered water pump and improved energy-use efficiency, while post-harvest losses decreased by 86.2%. The Social Return on Investment analysis indicated a social return ratio of 6.75. The findings demonstrate that using a solar-powered water pump, managing water based on environmental monitoring data, and implementing loss-reduction measures in the production process can reduce the environmental impacts of vegetable farming while creating economic and social value. The proposed approach has the potential to serve as a low-carbon vegetable farming model for community-based applications.

Keyword: Low-carbon agriculture; Clean energy; Water management; Carbon footprint; Life Cycle Assessment; Social Return on Investment

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบเกษตรเชิงเดี่ยวของเกษตรกรรายย่อยในประเทศไทยกำลังปรับตัวสู่รูปแบบการผลิตที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงจากความผันผวนของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความมั่นคงด้านน้ำและ

เสถียรภาพของผลผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม เกษตรกรรายย่อยยังคงมีข้อจำกัดในการเข้าถึงเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ ทั้งในด้านต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น ความรู้และทักษะดิจิทัล ตลอดจนการเข้าถึงทรัพยากรในพื้นที่ชนบท (Kozono et al., 2025) สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาแบบจำลองฟาร์มคาร์บอนต่ำที่เหมาะสมกับบริบทของเกษตรกรรายย่อย โดยคำนึงถึงศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในระดับชุมชน ภายใต้บริบทนี้ แนวคิดเกษตรกรรมแบบควบคุมสภาพแวดล้อม (Controlled Environment Agriculture: CEA) และโรงเรือนอัจฉริยะจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น ภายหลัง ค.ศ. 2020 งานวิจัยหลายชิ้นชี้ว่าการบูรณาการระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมของฟาร์มและระบบควบคุมอัตโนมัติ สามารถเพิ่มเสถียรภาพของผลผลิต ลดความเสี่ยงจากความผันผวนของภูมิอากาศ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร โดยเฉพาะน้ำและพลังงาน (Rezvani et al., 2020; Bicamumakuba et al., 2025; Boyd et al., 2025) ขณะเดียวกัน เทคโนโลยีอัจฉริยะและการจัดการน้ำแบบแม่นยำได้รับการยอมรับว่าเป็นกลไกสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Sharma et al., 2025) ในด้านพลังงานสะอาด การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระบบสูบน้ำและการจัดการฟาร์มถูกเสนอว่าเป็นแนวทางสำคัญในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตาม การประเมินผลกระทบควรดำเนินการในระดับวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งสามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุของระบบ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการกำจัดซาก และยังสนับสนุนการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานเพื่อช่วยในการตัดสินใจลงทุนอย่างรอบด้าน แม้ว่าการวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงศักยภาพของ LCA ในการลดการใช้ทรัพยากรและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ยังมีการศึกษาเชิงประจักษ์ที่พบว่าแหล่งพลังงานไฟฟ้าของฟาร์มมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญ (Joensuu et al., 2024) ขณะเดียวกัน งานวิจัยจำนวนมากยังมุ่งเน้นผลลัพธ์เชิงเทคนิค เช่น ประสิทธิภาพพลังงานหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลผลิตมากกว่าการบูรณาการมิติด้านสุขภาพ อนามัยสิ่งแวดล้อม และคุณค่าทางสังคมเข้ากับการประเมินผลกระทบเชิงระบบในบริบทฟาร์มชุมชนขนาดเล็ก นอกจากนี้ การเชื่อมโยงผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อมกับการประเมินความคุ้มค่าเชิงสังคมด้วยกรอบ Social Return on Investment (SROI) ยังมีหลักฐานเชิงประจักษ์ในบริบทฟาร์มผักเพื่อสุขภาพของประเทศไทยค่อนข้างจำกัด (Nicholls et al., 2012)

ช่องว่างดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นของการศึกษาที่บูรณาการการลดคาร์บอนในระดับฟาร์มกับการประเมินคุณค่าทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างเป็นระบบ การศึกษานี้จึงมุ่งพัฒนาและประเมินระบบพลังงานสะอาดและการจัดการน้ำแบบบูรณาการในฟาร์มผักเพื่อสุขภาพ โดยใช้ LCA ประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และใช้ SROI ประเมินคุณค่าทางเศรษฐกิจและสังคมของการลงทุน

2. วิธีการและขั้นตอนการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาและประเมินผล โดยใช้การประเมินแบบก่อน-หลัง ในพื้นที่จริง เพื่อพัฒนาและประเมินระบบพลังงานและการจัดการน้ำแบบบูรณาการในฟาร์มผักเพื่อสุขภาพ พื้นที่ศึกษาคือ

ฟาร์มผักสลัดแห่งหนึ่งในจังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นฟาร์มชุมชนที่มีพื้นที่การผลิตประมาณ 800 ตารางเมตร ผลิตผักสลัดหลากหลายสายพันธุ์ โดยมีผักสลัดกรีนคอส เป็นผลผลิตหลัก ร่วมกับผักสลัดเรดคอส ฟริลลิช กรีนโอ๊ก เรดโอ๊ก และบัตเตอร์เฮด ซึ่งปลูกหมุนเวียนผสมกันตามแผนการผลิตของฟาร์ม ฟาร์มมีกำลังการผลิตเฉลี่ยประมาณ 72 กิโลกรัมต่อวัน และมีแรงงานประจำจำนวน 5 คน โดยผลผลิตจำหน่ายในตลาดท้องถิ่นและแก่กลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ การดำเนินงานมีการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ เจ้าของฟาร์ม กลุ่มเกษตรกร ผู้บริโภค ร้านค้าจำหน่ายผักและอาหาร แรงงานในฟาร์ม กลุ่มผู้ขนส่งผลผลิต รวมถึงบุคลากรและนักศึกษาของมหาวิทยาลัยพะเยา ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่



รูปที่ 1 กรอบแนวคิด และผู้มีส่วนได้ ส่วนเสีย ของงานวิจัย

ระยะที่ 1 วิเคราะห์ระบบเดิมและระบุจุดวิกฤต

ในระยะแรกของการศึกษา ได้ดำเนินการวิเคราะห์ระบบการผลิตเดิมของฟาร์ม โดยทบทวนกิจกรรมตลอดห่วงโซ่การผลิต ตั้งแต่การเตรียมแปลงและวัสดุปลูก และการจัดการน้ำ การใช้ปัจจัยการผลิต การเก็บเกี่ยว การคัดแยกและบรรจุภัณฑ์ การเก็บรักษา และการขนส่งผลผลิต จากนั้นได้รวบรวมข้อมูลฐาน (Baseline data) จากข้อมูลปฐมภูมิของฟาร์ม ครอบคลุมการใช้พลังงาน การผลิตน้ำ ปัจจัยการผลิต การขนส่ง การสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว และข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของฟาร์ม ข้อมูลดังกล่าวถูกประเมิน LCA เพื่อวิเคราะห์และระบุจุดวิกฤตของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจำแนกตามหมวดกิจกรรม สำหรับการศึกษาี้หมวดการผลิตน้ำ หมายถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การใช้คลอรีน ขณะที่การใช้น้ำหมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในกิจกรรมของฟาร์ม โดยเฉพาะการให้น้ำแก่แปลงปลูก ส่วนการจัดการน้ำหมายถึง การวางแผน ควบคุม และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำโดยอาศัยข้อมูลจากระบบติดตามสภาพแวดล้อม ทั้งนี้ การใช้ไฟฟ้าของระบบสูบน้ำถูกประเมินแยกอยู่ในหมวดพลังงาน

ผลการวิเคราะห์พบว่าหมวดพลังงานเป็นจุดวิกฤตอันดับที่ 1 โดยมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 79 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ขณะที่หมวดอื่นมีสัดส่วนต่ำกว่า ข้อมูลดังกล่าวจึงถูกใช้เป็นฐานในการออกแบบมาตรการพัฒนาในระยะถัดไป โดยมุ่งปรับปรุงหมวดพลังงานซึ่งมีผลกระทบสูง และหมวดอื่นที่ฟาร์มสามารถจัดการได้โดยตรง ควบคู่กับการพัฒนาการจัดการน้ำและการลดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นประเด็นที่สามารถปรับปรุงได้ทันทีภายในกระบวนการดำเนินงานของฟาร์ม

ระยะที่ 2 ออกแบบและติดตั้งระบบพัฒนา

จากผลการวิเคราะห์ในระยะที่ 1 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับสูบน้ำเป็นหนึ่งในแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของระบบการผลิต ดังนั้น ในระยะการพัฒนา จึงได้ปรับเปลี่ยนระบบสูบน้ำเดิมเป็นระบบปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากโครงข่ายและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับฟาร์ม พร้อมบันทึกข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์ ปริมาณน้ำที่ผลิต และสถานะการทำงานของปั๊มสำหรับใช้ในการประเมินผล ควบคู่กันนั้น ได้ติดตั้งระบบติดตามสภาพแวดล้อมแบบ IoT เพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำและการตัดสินใจด้านการผลิต โดยติดตามอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน ปริมาณการใช้น้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และค่า pH ของน้ำ ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาใช้กำหนดรอบและปริมาณการให้น้ำให้เหมาะสมกับระยะการปลูกและสภาพแวดล้อมในโรงเรือน เช่น การเพิ่มรอบให้น้ำเมื่อความชื้นดินต่ำ และการลดหรือหยุดให้น้ำเมื่อความชื้นดินสูงเกินระดับที่กำหนด รวมทั้งใช้ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อเฝ้าระวังสภาวะที่อาจส่งผลต่อสุขภาพของพืช กระบวนการดังกล่าวช่วยลดการใช้น้ำและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการทรัพยากรของฟาร์ม นอกจากนี้ ยังได้ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว โดยยึดหลักการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดการสูญเสียทรัพยากร และสนับสนุนความปลอดภัยอาหารควบคู่กับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ระยะที่ 3 ประเมินผลก่อน-หลัง

การประเมินผลดำเนินการโดยเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการพัฒนาระบบในสามมิติ ได้แก่ มิติสิ่งแวดล้อม มิติเศรษฐกิจและสังคม และมิติการเรียนรู้ของชุมชน ในมิติสิ่งแวดล้อม ใช้ LCA ประเมินการเปลี่ยนแปลงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการผลิต เช่น ต่อปริมาณผลผลิตผักที่จำหน่ายได้ต่อปี และกำหนดขอบเขตระบบตั้งแต่การได้มาของปัจจัยการผลิตจนถึงออกจากฟาร์ม ข้อมูลบัญชีวงจรชีวิตจัดทำจากข้อมูลปฐมภูมิของฟาร์มและเชื่อมโยงกับปัจจัยการปล่อยจากแหล่งข้อมูลอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับ เพื่อคำนวณและเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก่อนและหลังการพัฒนาระบบ ในมิติเศรษฐกิจและสังคม ใช้ SROI โดยกำหนดขอบเขตการประเมิน ระบุผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และจัดทำแผนผังผลลัพธ์ของโครงการ จากนั้นแปลงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นมูลค่าเงินโดยใช้ตัวแทนมูลค่าที่เหมาะสม ก่อนคำนวณมูลค่าปัจจุบันของผลลัพธ์และเปรียบเทียบกับต้นทุนการลงทุน เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางสังคม นอกจากนี้ ยังได้ถ่ายทอดองค์ความรู้และแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในชุมชน เพื่อส่งเสริมความเข้าใจและการประยุกต์ใช้

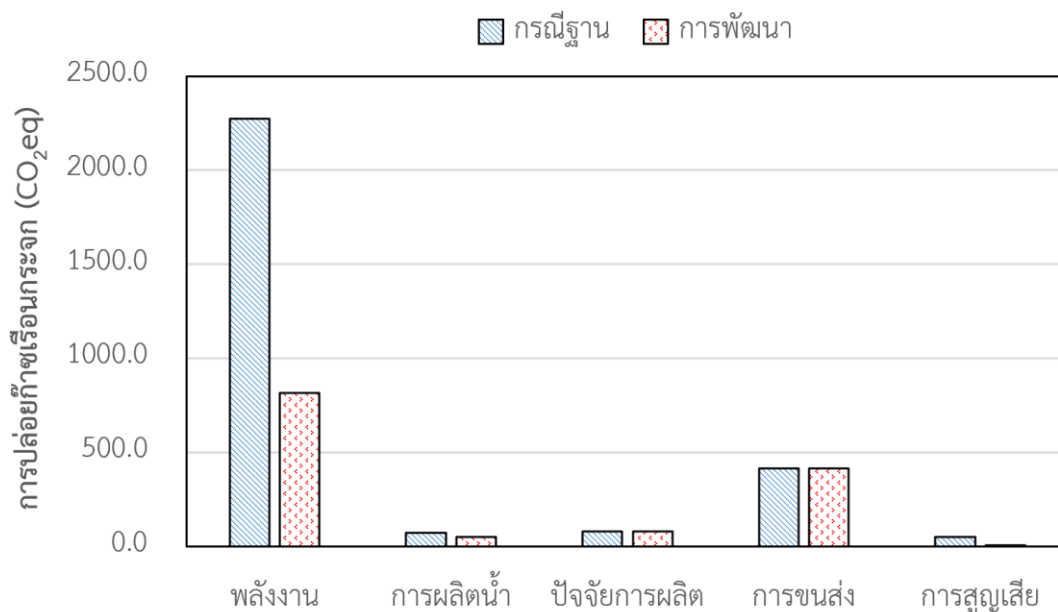
แนวคิดการจัดการน้ำ พลังงาน และการลดการสูญเสียในระดับฟาร์ม อันเป็นส่วนหนึ่งของการขยายผลแนวคิดฟาร์มคาร์บอนต่ำในระดับพื้นที่

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมจากการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต

รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบการผลิตผักในระดับฟาร์ม ภายใต้ขอบเขตตั้งแต่การได้มาของปัจจัยการผลิตจนถึงออกจากฟาร์ม โดยจำแนกตามหมวดกิจกรรมหลัก ได้แก่ พลังงาน การผลิตน้ำ ปัจจัยการผลิต การขนส่ง และการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมลดลงจาก 2,889.9 เป็น 1,368.0 kgCO₂eq หรือลดลงร้อยละ 52.7 ภายหลังการพัฒนาระบบ ซึ่งสะท้อนผลของการปรับปรุงการจัดการพลังงาน น้ำ และกระบวนการผลิตในฟาร์ม หมวดพลังงานเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักของระบบเดิม โดยมีสัดส่วนสูงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม ภายหลังการติดตั้งระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดนี้ลดลงร้อยละ 64.1 และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของระบบลดลง ในหมวดการผลิตน้ำ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงสอดคล้องกับการปรับปรุงการจัดการรอบการใช้น้ำและการใช้ข้อมูลจากระบบติดตามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ ขณะที่หมวดปัจจัยการผลิตและการขนส่งไม่มีการปรับเปลี่ยนกิจกรรม จึงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงเดิม สำหรับการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว พบว่าลดลงอย่างชัดเจนร้อยละ 86.2 จากการปรับปรุงกระบวนการจัดการผลผลิต โดยเปลี่ยนจากการล้างแบบน้ำไหลผ่านเป็นระบบล้างแบบสามถังและเวียนใช้น้ำอย่างเหมาะสม ควบคู่กับการกำจัดและพัฒนาการปฏิบัติงานของแรงงานในฟาร์มด้านการคัดแยกและบรรจุผลผลิตอย่างประณีต เพื่อลดการตกหล่น การซ้ำ และความเสียหายของใบผัก ผลผลิตที่มีตำหนิหรือมีควมสวยงามน้อยแต่ยังเหมาะสมต่อการบริโภค ถูกคัดแยกเพื่อจำหน่ายแก่ร้านอาหารในชุมชน ขณะที่เศษเหลือทิ้งที่เดิมปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ถูกนำไปผลิตปุ๋ยหมักเพื่อนำกลับมาใช้ในฟาร์ม ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวช่วยเพิ่มสัดส่วนผลผลิตที่สามารถใช้ประโยชน์หรือจำหน่ายได้ และลดการสูญเสียทรัพยากรในกระบวนการผลิต โดยรวม การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบเกิดจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างการใช้พลังงาน ร่วมกับการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ส่งผลให้การใช้ทรัพยากรต่อหน่วยผลผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นแนวทางฟาร์มคาร์บอนต่ำในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริบทฟาร์มชุมชน



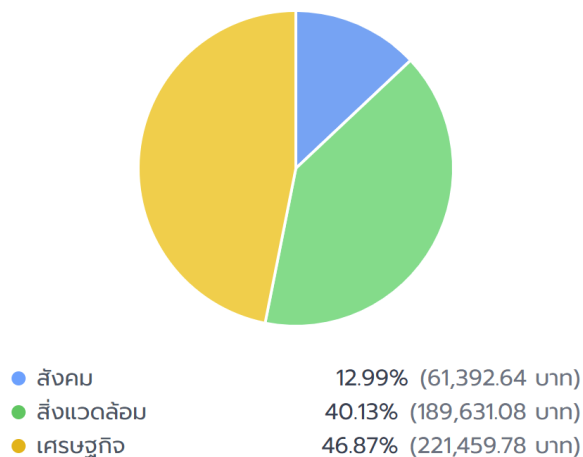
รูปที่ 2 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละแหล่งกำเนิดภายในฟาร์ม

3.2 ผลการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและสังคมของการลงทุน

การประเมิน SROI แสดงให้เห็นว่าโครงการพัฒนาระบบพลังงานสะอาดและการจัดการน้ำในฟาร์มผักเพื่อสุขภาพสามารถสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมได้ เมื่อเทียบกับต้นทุนการลงทุน โดยใช้งบประมาณโครงการ 70,000 บาท และประเมินผลลัพธ์ตลอดช่วงเวลา 5 ปี ภายใต้อัตราคิดลดร้อยละ 5 พบว่ามูลค่าปัจจุบันของผลลัพธ์รวมเท่ากับ 472,483.51 บาท ส่งผลให้อัตราผลตอบแทนทางสังคมเท่ากับ 6.75 เท่า หรือกล่าวได้ว่า ทุก 1 บาทของการลงทุนสามารถสร้างคุณค่าทางสังคมได้ประมาณ 6.75 บาท เมื่อพิจารณาการกระจายผลลัพธ์ในมิติ ต่าง ๆ พบว่า มิติด้านเศรษฐกิจมีสัดส่วนสูงที่สุด (ร้อยละ 46.87) รองลงมา คือ มิติด้านสิ่งแวดล้อม (ร้อยละ 40.13) และ มิติด้านสังคม (ร้อยละ 12.99) สะท้อนว่าโครงการสร้างผลลัพธ์ทางเศรษฐกิจควบคู่กับประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่ผลลัพธ์ด้านสังคมมีบทบาทสำคัญในเชิงคุณภาพต่อความเข้มแข็งของชุมชน

ในระดับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ฟาร์มได้รับประโยชน์หลักจากการลดต้นทุนพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ส่งผลให้ต้นทุนรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะเดียวกันแรงงานในฟาร์มได้รับประโยชน์จากประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นและเวลาการทำงานที่เหมาะสมมากขึ้น นอกจากนี้ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน ได้แก่ ผู้ขนส่ง ร้านค้าส่ง และร้านอาหาร ได้รับประโยชน์จากการที่ฟาร์มสามารถลดการสูญเสียระหว่างกระบวนการจัดการหลังเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ผลผลิตส่วนที่เดิมสูญเสียและไม่สามารถจำหน่ายได้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์และจำหน่ายได้เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 6.1 ของน้ำหนักผลผลิตทั้งหมด ทำให้ฟาร์มมีปริมาณผลผลิตพร้อมส่งมอบเพิ่มขึ้น และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น ในมิติสิ่งแวดล้อม มูลค่าผลลัพธ์เกิดจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ อันเป็นผลจากการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการลดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว ขณะที่ในมิติด้าน

สังคม ผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากการเข้าถึงผักเพื่อสุขภาพที่ผ่านการจัดการหลังเก็บเกี่ยวอย่างเหมาะสมและมีคุณภาพในปริมาณเพิ่มขึ้น รวมถึงการเสริมสร้างความเข้มแข็งของเครือข่ายเกษตรกรและกระบวนการเรียนรู้ร่วมกับสถาบันการศึกษา โดยภาพรวม ผลการประเมินสะท้อนว่าโครงการช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของฟาร์ม ควบคู่กับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มโอกาสให้ผู้บริโภคและผู้เกี่ยวข้องในชุมชนเข้าถึงผลผลิตที่มีคุณภาพมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 มิติของผลกระทบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและสังคมของการลงทุน

4. การอภิปรายผลการศึกษา

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตแสดงให้เห็นว่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของฟาร์มเกิดจากการปรับโครงสร้างของระบบการผลิต มากกว่าการลดกิจกรรมการผลิตโดยตรง ก่อนการพัฒนา หมวดพลังงานเป็นแหล่งปล่อยหลักของระบบและมีสัดส่วนสูงของการปล่อยรวม ซึ่งสอดคล้องกับงาน LCA ในระบบผลิตผักแบบควบคุมสภาพแวดล้อมที่ชี้ว่าไฟฟ้าและพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และผลลัพธ์มีความไวต่อแหล่งพลังงานที่ใช้ (Joensuu et al., 2024) การติดตั้งระบบปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงช่วยลดการปล่อยของทั้งระบบได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในหมวดพลังงานซึ่งเป็นแหล่งปล่อยหลักของฟาร์ม

ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของระบบเกษตรแบบควบคุมสภาพแวดล้อมที่ระบุว่ายั่งยืนด้านคาร์บอนของการผลิตขึ้นอยู่กับโครงสร้างพลังงานอย่างมาก หากไฟฟ้ามีความเข้มข้นคาร์บอนสูง ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมจะถูกจำกัด แต่การเปลี่ยนไปใช้พลังงานหมุนเวียนสามารถเพิ่มศักยภาพการลดการปล่อยได้อย่างมีนัยสำคัญ (Mills, 2025) กรณีศึกษานี้จึงสะท้อนแนวทางการลดคาร์บอนผ่านการปรับโครงสร้างพลังงานควบคู่กับการปรับปรุงการจัดการน้ำและการดำเนินงานในฟาร์ม โดยใช้ข้อมูลจากระบบติดตามเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในบริบทฟาร์มชุมชน ในมิติเศรษฐกิจและสังคม ผลการประเมิน SROI ที่มีค่า 6.75 เท่า แสดงว่าโครงการสร้างคุณค่าเชิงบูรณาการในห่วงโซ่มูลค่าท้องถิ่น โดยมีมิติด้านเศรษฐกิจเป็นแรงขับเคลื่อนหลักของมูลค่ารวม สะท้อนถึงการลดต้นทุนพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ขณะที่มิติด้านสิ่งแวดล้อมมีสัดส่วนใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการลดการ

ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถแปลงเป็นคุณค่าทางเศรษฐกิจได้จริง ส่วนมิติด้านสังคมแม้มีสัดส่วนน้อยกว่า แต่สะท้อนบทบาทของทุนทางสังคม การเรียนรู้ร่วม และความเข้มแข็งของเครือข่าย ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญต่อความยั่งยืนของผลลัพธ์ในระยะยาว ตามแนวคิดของ SROI (Nicholls et al., 2012)

เมื่อพิจารณาผลกระทบในระดับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย พบว่าประโยชน์ของโครงการไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะฟาร์ม แต่กระจายไปยังเครือข่ายเศรษฐกิจในระดับพื้นที่ ทั้งแรงงาน ผู้ขนส่ง ร้านค้า และผู้บริโภค ขณะที่สถาบันการศึกษามีบทบาทสนับสนุนผ่านการเรียนรู้และการถ่ายทอดองค์ความรู้ รูปแบบผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนลักษณะของนวัตกรรมเชิงระบบระดับพื้นที่ที่เชื่อมโยงเทคโนโลยี การเรียนรู้ และเครือข่ายชุมชนเข้าด้วยกัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทของเกษตรกรรายย่อย (Kozono et al., 2025) กรณีศึกษาฟาร์มผักชุมชนในจังหวัดพะเยาแสดงให้เห็นว่าการลดคาร์บอนในระดับหน่วยผลิตสามารถเชื่อมโยงกับผลลัพธ์ทางเศรษฐกิจและสังคมได้อย่างเป็นรูปธรรม และทำให้แนวคิดความยั่งยืนสะท้อนออกมาในรูปแบบที่ตรวจสอบได้ (Joensuu et al., 2024; Nicholls et al., 2012)

5. บทสรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ระบบปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบติดตามสภาพแวดล้อมสามารถสนับสนุนการจัดการพลังงานและน้ำในฟาร์มผักเพื่อสุขภาพได้ โดยข้อมูลสภาพแวดล้อมถูกนำมาใช้ประกอบการปรับรอบและปริมาณการให้น้ำให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการปลูก ขณะที่การปรับปรุงการจัดการหลังเก็บเกี่ยวช่วยลดการสูญเสียของผลผลิต ผลการประเมินพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของระบบลดลงร้อยละ 52.7 โดยการปรับเปลี่ยนระบบสูบน้ำและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดพลังงานร้อยละ 64.1 ขณะเดียวกัน การปรับปรุงกระบวนการล้าง คัดแยก และบรรจุผลผลิตช่วยลดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวร้อยละ 86.2 และเพิ่มสัดส่วนผลผลิตที่สามารถนำไปจำหน่ายได้ การประเมิน SROI พบอัตราผลตอบแทนทางสังคม 6.75 เท่า สะท้อนว่าการลงทุนดังกล่าวก่อให้เกิดประโยชน์ต่อฟาร์ม ผู้เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน และผู้บริโภค สำหรับการศึกษาในอนาคต ควรพิจารณาประเมินความเพียงพอและความต่อเนื่องของพลังงานจากระบบแสงอาทิตย์ในช่วงที่มีรังสีดวงอาทิตย์ต่ำหรือไม่มีแสง รวมทั้งเปรียบเทียบความคุ้มค่าระยะยาวกับการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่าย เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเลือกใช้ระบบให้เหมาะสมกับบริบทของฟาร์มแต่ละแห่ง

เอกสารอ้างอิง

- Bicamumakuba, E., Reza, M. N., Jin, H., Samsuzzaman, Lee, K.-H., & Chung, S.-O. (2025). Multi-sensor monitoring, intelligent control, and data processing for smart greenhouse environment management. *Sensors*, 25(19), 6134. <https://doi.org/10.3390/s25196134>
- Boyd, A. P., Zankowski, P., Wheeler, R., Stokes-Draut, J. R., Chudnovsky, Y., Ingram, D., & Luo, Y. (2025). Controlled environment agriculture: An opportunity to strengthen interagency research

- collaboration in the US government. *PNAS Nexus*, 4(6), pgaf155.
- Joensuu, K., Kotilainen, T., Räsänen, K., Rantanen, M., & Usva, K. (2024). Assessment of climate change impact and resource-use efficiency of lettuce production in vertical farming and greenhouse production in Finland: A case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29, 1932–1944. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02343-5>
- Kozono, M., Cahyono, A. A., & Diyanah, S. M. (2025, November). Digitalisation in agriculture and food systems in ASEAN: Pathways to its resilience and sustainability (ERIA Policy Brief No. 2025-12). Jakarta: Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA).
- Mills, E. (2025). The emergence of indoor agriculture as a driver of global energy demand. *npj Sustainable Agriculture*, 3, 52. <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00091-z>
- Nicholls, J., Lawlor, E., Neitzert, E., & Goodspeed, T. (2012). A guide to social return on investment (2nd ed.). London, England: The SROI Network.
- Rezvani, S. M.-e., Abyaneh, H. Z., Shamshiri, R. R., Balasundram, S. K., Dworak, V., Goodarzi, M., Sultan, M., & Mahns, B. (2020). IoT-based sensor data fusion for determining optimality degrees of microclimate parameters in commercial greenhouse production of tomato. *Sensors*, 20(22), 6474. <https://doi.org/10.3390/s20226474>
- Sharma, V., Kaur, G., Sreethu, S., Chhabra, V., & Kashyap, R. (2025). Smart irrigation systems in agriculture: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 239(Part B), 111008. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.111008>