Biomass Management in Community Forest using Biochar from "Ta–Ya–Ki Kiln": A Local Wisdom to Carbon Sequestration, Uttaradit Province, Thailand

Research Article

Received:
9 November 2025

Received in revised form:
23 February 2026

Accepted:
28 February 2026

Pruttipong Pantamanatsopa[1,*], Kullawadee Sungsanit[2], Waroonsiri Jakarbutr[2], Phornwalan Nanthananon[2], Wichain Chailad[2], Sirichon Buaboon[2], Parinwat Thana–siratheirachai[3], Kitti Mueangtoom[4], Kitti Leartlum[5] and Warunee Ariyawiriyanan[2]

[1]Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang District, Songkhla Province, 90000 Thailand
[2]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi District, Pathum Thani Province, 12120 Thailand
[3]Faculty of Engineering and Industrial Technology, Suan Sunandtha Rajabhat University, Dusit District, Bangkok, 10300 Thailand
[4]Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Muang District, Uttaradit Province, 53000 Thailand
[5]Independent Researcher, Na Di District, Prachinburi Province, 25220 Thailand
[*]Corresponding author's E–mail: pruttipong.p@rmutsv.ac.th

Extended Abstract (1/2)

Background: Community forests in Tha Pla District, Uttaradit Province, Thailand, are predominantly dry dipterocarp and deciduous forest ecosystems that play a vital role in supporting local livelihoods and ecological balance. However, these areas have been facing recurring forest fires during the dry season, open burning for agricultural land preparation, and the continuous accumulation of natural biomass such as dry branches, fallen logs, and dead standing trees. This excessive fuel load significantly increases fire intensity and makes fire suppression difficult. The situation has led to soil degradation, biodiversity loss, and deterioration of forest health. Moreover, open burning and wildfires contribute to the emission of fine particulate matter (PM2.5) and greenhouse gases, including carbon dioxide (CO_2), nitrous oxide (N_2O), and methane (CH_4), thereby affecting public health and exacerbating climate change at both local and global scales. Hotspot data recorded during 2023–2025 indicate a rising trend in fire incidents across Uttaradit Province, including areas surrounding Tha Pla District, highlighting the urgent need for an effective and sustainable biomass management strategy.

Objectives: This research aimed to (1) develop and implement the "Ta–Ya–Ki kiln," an innovative charcoal kiln that integrates local wisdom with scientific principles of combustion and pyrolysis for efficient biomass management; (2) establish a participatory change process that enhances community acceptance and ownership through participatory action research; and (3) evaluate the environmental, economic, and social impacts of biochar application for soil improvement and wildfire risk reduction.

Methodology: The study adopted a Participatory Action Research (PAR) approach involving university researchers, a local wisdom expert in charcoal production, local administrative organizations, community leaders, and farmer groups. The implementation process consisted

Biomass Management in Community Forest using Biochar from "Ta–Ya–Ki Kiln": A Local Wisdom to Carbon Sequestration, Uttaradit Province, Thailand

Extended Abstract (2/2)

of five major stages. First, community engagement and consensus building were conducted through the AIC (Appreciation–Influence–Control) process, enabling stakeholders to reflect on local fire–related problems and collaboratively define solutions. Second, knowledge exchange sessions were organized with a community charcoal expert to transfer experiential knowledge regarding temperature control, airflow management, and appropriate fire–extinguishing timing during charcoal production. Third, a prototype kiln was designed and developed with an open–bottom and inclined–wall structure to enhance air circulation and moisture release, thereby reducing incomplete combustion and smoke generation. Fourth, the performance and properties of the produced biochar were evaluated, including fixed carbon content, chemical functional groups and surface morphology. The integration of biochar application with moisture retention pits in forest areas was also tested. Finally, technology transfer and scaling–up activities were conducted through hands–on training workshops and field demonstrations in multiple communities.

Results and Findings: The results demonstrate that the Ta–Ya–Ki kiln can produce high–quality biochar with approximately 80% fixed carbon content within only two hours. The pyrolysis process occurs optimally within a temperature range of 400–600 °C, which promotes controlled thermal conversion and the formation of stable carbon structures. It was confirmed the transformation of biomass functional groups during carbonization and revealed a well–developed porous structure in the biochar produced by the Ta–Ya–Ki kiln compared to conventional closed–bottom kilns. The porous structure enhances moisture retention capacity and soil carbon stabilization potential. When applied in community forest areas, the combined use of biochar and moisture enhancement practices significantly reduced the cost of firebreak construction from 15 THB to 3 THB (0.5–0.1 USD) per meter, resulting in annual savings exceeding 130,428 THB (4,347.6 USD). Household income increased by 20–28% through biochar sales and its use in organic agriculture. Furthermore, the number of labor days required for wildfire surveillance decreased by more than 10 days per year, representing cost savings of approximately 367,000 THB (12,233.33 USD). These findings highlight the economic viability and community–level benefits of intervention.

Outcome, Impacts and Sustainability: From an environmental perspective, biomass management through controlled biochar production reduced open burning activities, minimized PM2.5 emissions, and lowered the risk of cross–boundary wildfires. Satellite imagery analysis using the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) before and after project implementation showed an increasing trend in surface moisture levels in the experimental areas, indicating improved soil moisture conditions and ecosystem resilience. The stabilization of carbon in soil through biochar application supports long–term carbon sequestration and aligns with sustainable biomass fuel management principles and the Bio–Circular–Green (BCG) Economy framework.

The Ta–Ya–Ki kiln represents an innovative integration of indigenous knowledge and scientific principles, offering a practical and community–driven solution for wildfire mitigation and ecosystem restoration. The participatory process not only facilitated technological adoption but also strengthened community networks, local learning systems, and shared responsibility for forest management. The project demonstrates tangible impacts across environmental, economic, and social dimensions, including reduced fire risk, improved soil quality, enhanced household income, and decreased public health risks associated with air pollution. As a scalable and area–based innovation, the Ta–Ya–Ki kiln model provides a sustainable pathway for biomass management and carbon sequestration in fire–prone community forest landscapes, contributing to climate change mitigation and long–term community resilience.

Keywords: Uttaradit Province, Ta–Ya–Ki kiln, Biochar, Local wisdom, Sustainable biomass management, Carbon sequestration

การจัดการชีวมวลในพื้นที่ป่าชุมชนด้วยไบโอชาร์จากเตาเผาถ่านชุมชน “เตาตายักษ์”: จากภูมิปัญญาท้องถิ่นสู่การกักเก็บคาร์บอน จังหวัดอุตรดิตถ์

บทความวิจัย

วันที่รับบทความ:
9 พฤศจิกายน 2568

วันแก้ไขบทความ:
23 กุมภาพันธ์ 2569

วันตอบรับบทความ:
28 กุมภาพันธ์ 2569

พฤติพงศ์ พันธมนัสโสภา[1,*] กุลวดี สังข์สนิท[2] วรุณศิริ จักรบุตร[2] ภรวลัญช์ นันท์ธนานนท์[2] วิเชียร ไชยลาด[2] ศิรชล บัวบุญ[2] ปริญวัฒน์ ธนศิรเธียรชัย[3] กิตติ เมืองตุ้ม[4] กิตติ เลิศล้ำ[5] และ วารุณี อริยวิริยะนันท์[2]

[1]หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เขตสวนดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
[4]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000
[5]นักวิจัยอิสระ อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี 25220
[*]ผู้เขียนหลัก อีเมล์: pruttipong.p@rmutsv.ac.th

คำสำคัญ:
จังหวัดอุตรดิตถ์
เตาตายักษ์
ไบโอชาร์
ภูมิปัญญาท้องถิ่น
การจัดการชีวมวล
การกักเก็บคาร์บอน

บทคัดย่อ (1/2)

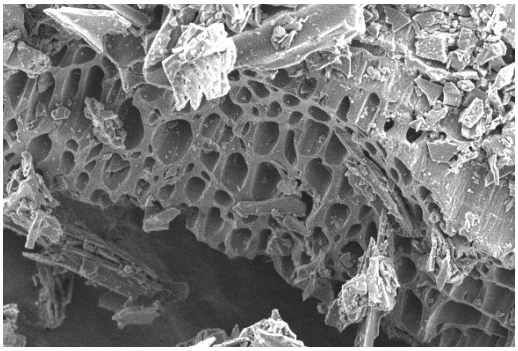
สถานการณ์ที่เป็นอยู่เดิม: ป่าชุมชนในอำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นพื้นที่ป่าเต็งรังและป่าผลัดใบที่มีความสำคัญต่อวิถีชีวิตและเศรษฐกิจของชุมชนในท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม พื้นที่ดังกล่าวประสบปัญหาไฟป่าซ้ำซากในช่วงฤดูแล้ง การเผาในที่โล่งเพื่อเตรียมพื้นที่เกษตร และการสะสมของชีวมวลตามธรรมชาติ เช่น กิ่งไม้แห้ง ขอนไม้ และซากต้นไม้ล้มตาย ซึ่งกลายเป็นเชื้อเพลิงจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดไฟป่ารุนแรงและยากต่อการควบคุม สถานการณ์ดังกล่าวไม่เพียงก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของดินและระบบนิเวศ แต่ยังก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และมีเทน (CH_4) ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับพื้นที่และระดับโลก นอกจากนี้ ข้อมูลจุดความร้อน (Hotspots) ในช่วงปี พ.ศ. 2566–2568 แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดไฟป่าในจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยเฉพาะพื้นที่ใกล้เคียงอำเภอท่าปลา สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนาแนวทางการจัดการชีวมวลที่เหมาะสมและยั่งยืน

วัตถุประสงค์: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเตาเผาถ่าน “เตาตายักษ์” ซึ่งผสานภูมิปัญญาท้องถิ่นกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ด้านการเผาไหม้และไพโรไลซิส เพื่อจัดการชีวมวลในป่าชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ (2) สร้างกระบวนการมีส่วนร่วมและการยอมรับของชุมชนผ่านการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม และ (3) ประเมินผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม จากการประยุกต์ใช้ไบโอชาร์เพื่อบำรุงดินและลดความเสี่ยงไฟป่า

วิธีการดำเนินงาน: การดำเนินงานใช้แนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) โดยมีนักวิจัย ปราชญ์ชุมชน หน่วยงานท้องถิ่น และกลุ่มเกษตรกรร่วมออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยี กระบวนการดำเนินงานประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การสร้างการมีส่วนร่วมและการยอมรับผ่านกระบวนการ AIC (Appreciation–Influence–Control) เพื่อให้ชุมชนร่วมสะท้อนปัญหาและกำหนดแนวทางจัดการชีวมวล (2) การแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับปราชญ์ชุมชนด้านการเผาถ่าน เพื่อถ่ายทอดประสบการณ์การควบคุมอุณหภูมิและ

https://doi.org/10.48048/abcj.2026.256902

การจัดการชีวมวลในพื้นที่ป่าชุมชนด้วยไบโอชาร์จากเตาเผาถ่านชุมชน “เตาตายักษ์”: จากภูมิปัญญาท้องถิ่นสู่การกักเก็บคาร์บอน จังหวัดอุตรดิตถ์



บทคัดย่อ (2/2)

ช่วงเวลาการดับไฟที่เหมาะสม (3) การออกแบบและพัฒนาเตาต้นแบบแบบก้นเปิดผนังเอียง เพื่อเพิ่มการไหลเวียนอากาศและการระบายความชื้น ลดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (4) การทดสอบและประเมินคุณสมบัติไบโอชาร์ ทั้งด้านปริมาณคาร์บอนคงตัว โครงสร้างรูพรุน และการประยุกต์ใช้ร่วมกับหลุมกักเก็บความชื้น และ (5) การถ่ายทอดเทคโนโลยีและขยายผลสู่ชุมชนอื่นผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการและการสาธิตในพื้นที่จริง

ผลการดำเนินงาน: เตาตายักษ์สามารถผลิตไบโอชาร์ที่มีค่าคาร์บอนคงตัวสูงถึงประมาณร้อยละ 80 ภายในเวลาเพียง 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในกระบวนการเผาอยู่ในช่วง 400–600 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการไพโรไลซิสและการสร้างโครงสร้างคาร์บอนที่เสถียร การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี และลักษณะทางสัณฐานวิทยา แสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์จากเตาตายักษ์มีโครงสร้างรูพรุนที่พัฒนาได้ดีและมีศักยภาพในการกักเก็บความชื้นและคาร์บอนในดิน เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับการเพิ่มความชื้นในพื้นที่ป่าชุมชน พบว่าสามารถลดต้นทุนการทำแนวกันไฟจาก 15 บาท เหลือ 3 บาทต่อเมตร คิดเป็นมูลค่าประหยัดมากกว่า 130,428 บาทต่อปี รายได้ครัวเรือนเพิ่มขึ้นร้อยละ 20–28 จากการจำหน่ายไบโอชาร์และการใช้ถ่านปรับปรุงดินในเกษตรอินทรีย์ นอกจากนี้ จำนวนวันแรงงานเฝ้าระวังไฟป่าลดลงมากกว่า 10 วันต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 367,000 บาท

ผลลัพธ์ ผลกระทบ และความยั่งยืน: ในด้านสิ่งแวดล้อม การจัดการชีวมวลด้วยเตาตายักษ์ช่วยลดการเผาในที่โล่ง ลดการเกิด PM2.5 และลดความเสี่ยงการเกิดไฟป่าข้ามแดน การประเมินความชื้นผิวดินด้วยดัชนี NDMI จากภาพถ่ายดาวเทียมก่อนและหลังการดำเนินโครงการแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นในพื้นที่ทดลอง สะท้อนถึงศักยภาพในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอนในระยะยาว ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass fuel management) และสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ–หมุนเวียน–สีเขียว (BCG economy)

เตาตายักษ์เป็นนวัตกรรมที่ผสานภูมิปัญญาท้องถิ่นกับหลักวิทยาศาสตร์อย่างเป็นระบบ สามารถสร้างการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม การยอมรับ และการใช้งานจริงในชุมชน ก่อให้เกิดเครือข่ายการเรียนรู้และการขยายผลในระดับพื้นที่ ตอบโจทย์การจัดการไฟป่า ฟื้นฟูระบบนิเวศ ลดต้นทุนทางเศรษฐกิจ และเสริมสร้างความยั่งยืนของชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งในมิติสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

https://doi.org/10.48048/abcj.2026.256902

สถานการณ์ที่เป็นอยู่เดิม
Former Situation

จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นพื้นที่ที่มีป่าชุมชนมากกว่า 1,900 ไร่ บริบทเป็นป่าไม้ประเภทป่าผลัดใบ และมีไม้เด่นคือต้นเต็งหรือต้นรัง อยู่ที่ระดับความสูงช่วง 400–700 เมตร จากระดับน้ำทะเล (Department of National Park, Wildlife and Plant Conservation, 2019) และเกิดไฟในป่าและประสบปัญหาไฟป่าซ้ำซากเป็นประจำทุกปี (Pornleesangsuwan et al., 2016) ส่งผลให้ป่ามีความเสื่อมโทรม คิดเป็นร้อยละ 67 ของป่าทั้งหมด และในแต่ละปีพื้นที่ป่าลดลงร้อยละ 6 ของพื้นที่ป่าทั้งหมด โดยสาเหตุหลักเกิดจากการสะสมของชีวมวลตามธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ที่ล้มตาย กิ่งไม้แห้ง และใบไม้ร่วงทับถมกันจนกลายเป็นเชื้อเพลิงจำนวนมาก ดังภาพที่ 1 (Figure 1) โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่มีความชื้นต่ำ ทำให้เกิดไฟป่าที่มีความรุนแรงสูง (Royal Forest Department, 2022) ทำให้ป่าเต็งรังกลายเป็นป่าเต็งรังเสื่อมโทรม ในบางพื้นที่ต้นไผ่ในป่าเบญจพรรณได้รุกล้ำเข้ามาในเขตป่าเต็งรัง ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์จากป่าเต็งรัง (Sahunalu, 2001) แม้จะมีความพยายามจัดการและการใช้งานต้นไผ่ แต่ก็ไม่เทียบเท่ากับความเร็วในการขยายพันธุ์ของไผ่ (Rakbumrung et al., 2023) อีกทั้งการดูแลจัดการป่าชุมชนโดยชุมชนก็มีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ส่งผลให้เกิดพื้นที่แห้งแล้งในพื้นที่ป่าชุมชน (Rytwinski & Crowe, 2010)

ตำบลผาเลือด ตำบลผาจุก ตำบลน้ำไคร้ ตำบลบ้านทุ่ง และตำบลนาตารอด อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาไฟป่าอย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูแล้งของทุกปี ดังภาพที่ 2 (Figure 2) สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดอุตรดิตถ์ แสดงข้อมูลบริบทปัญหาการเกิดภัยแล้ง และไฟป่าในพื้นที่ป่าชุมชนทั้ง 5 แห่ง พบว่า เกิดไฟป่าข้ามแดนในช่วงเวลาไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดไฟป่านอกเขตแล้วลุกลามข้ามแนวกันไฟเข้ามาในพื้นที่ สร้างความเสียหายแก่พื้นที่ป่าชุมชน ไฟป่าที่เกิดขึ้นส่งผลให้ทรัพยากรป่าไม้ถูกทำลายเป็นบริเวณกว้าง และก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ นอกจากนี้ปัญหาไฟป่ายังทำให้ชาวบ้านกังวลว่าอาจลุกลามเข้าสู่พื้นที่ทำกินและที่อยู่อาศัย เนื่องจากอำเภอฟากท่าเคยเกิดเหตุไฟป่ารุนแรง จนเห็นแนวไฟบนภูเขาชัดเจนในเวลากลางคืน และไม่มีหน่วยงานเข้าดับไฟได้ทันท่วงที ซึ่งเหตุการณ์นี้ชี้ให้เห็นถึงความรุนแรงของไฟป่าและความเสี่ยงที่อาจเกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน

หน่วยงานในพื้นที่ระบุว่า ช่วงปลายฤดูแล้งปี พ.ศ. 2566 ตรวจพบจุดความร้อน (Hotspots) ในจังหวัดอุตรดิตถ์สูงถึง 185 จุด กระจายอยู่ใน 7 อำเภอ โดยเฉพาะอำเภอท่าปลาจำนวน 25 จุด ดังนี้ ตำบลท่าปลา 8 จุด ตำบลผาเลือด 15 จุด และตำบลนางพญา 2 จุด สะท้อนว่าอำเภอท่าปลาเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีไฟป่าเกิดขึ้นจำนวนมาก อีกทั้งในปี พ.ศ. 2567 เกิดเหตุไฟป่าบริเวณอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน ในพื้นที่ตำบลผาเลือด อำเภอท่าปลา และพื้นที่ต่อเนื่องในอำเภอน้ำปาด อย่างน้อย 2 จุดใหญ่ ช่วงปลายเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ส่งผลกระทบต่อเนื่องเป็นวงกว้างต่อคุณภาพอากาศเป็นเวลาหลายวัน สำหรับช่วงต้นปี พ.ศ. 2568 พบว่า

Figure 1 Natural biomass accumulation in community forest areas

Figure 2 Forest fire in a community forest area, Tha Pla District, Uttaradit Province

จำนวนจุดความร้อนสะสมเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยเฉพาะอำเภอน้ำปาดมีจุดความร้อนสะสมกว่า 300 จุด ภายในกลางเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ซึ่งมากที่สุดในจังหวัด และสูงกว่าปี พ.ศ. 2567 ถึง 3 เท่า แม้อำเภอท่าปลาจะไม่ได้เกิดไฟป่าสูงเท่าอำเภอน้ำปาด แต่ก็ถือว่าอยู่ในเขตพื้นที่เสี่ยงไฟป่าสูง

การเผาเพื่อเตรียมพื้นที่เกษตร หรือการเผาแกล้งกันภายในชุมชน สามารถลุกลามจนกลายเป็นไฟป่าในวงกว้างและยากต่อการควบคุม (Kamching & Homhuan, 2020) ปัญหาการเผาป่าไม่เพียงส่งผลกระทบต่อทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่เท่านั้น แต่ยังเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาภาวะโลกร้อน (Global warming) ในระดับโลก การเผาพื้นที่ป่าทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก ดังนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Amlinger et al., 2008) ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น เกิดความแปรปรวนของสภาพอากาศ เช่น คลื่นความร้อน ภัยแล้ง และน้ำท่วมที่ทวีความรุนแรง

อำเภอท่าปลามีความพยายามทำแนวกันไฟในหลายวิธี หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมคือ การใช้เครื่องเป่าลมเพื่อรวบรวมใบไม้และชีวมวลที่มีน้ำหนักเบาให้มากองรวมกันก่อนจุดไฟเผา เพื่อกำจัดเชื้อเพลิงในบริเวณนั้น วิธีดังกล่าวช่วยลดปริมาณชีวมวลบางส่วนได้ แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากแรงลมจากเครื่องเป่าไม่สามารถเคลื่อนย้ายชีวมวลขนาดกลางและขนาดใหญ่ เช่น กิ่งไม้ ท่อนไม้ หรือซากต้นไม้ที่ล้มตายได้ ส่งผลให้ชีวมวลกลุ่มใหญ่เหล่านี้ยังคงสะสมอยู่ในพื้นที่ ดังนั้นเมื่อเกิดไฟป่าชีวมวลขนาดใหญ่เหล่านี้จึงกลายเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนสูง ทำให้การดับไฟเป็นไปได้ยาก แม้สามารถดับไฟในเบื้องต้นได้ แต่ชีวมวลขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ยังคงสะสมความร้อนอยู่ภายในจะสามารถปะทุขึ้นอีกครั้ง จนกลายเป็นการลุกไหม้ซ้ำในพื้นที่เดิมและขยายวงกว้างมากขึ้น

เตาเผาถ่านที่มีประสิทธิภาพสูง ที่สวนลุงกิตติ เลิศล้ำ ตำบลนาดี อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาถ่านซึ่งเป็นนวัตกรรมพร้อมใช้ เลขที่อนุสิทธิบัตร 21403 เลขที่คำขอ 1903002989 (6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562) (Lertlum, 2023) เป็นเตาเผาถ่านที่ไม่ใช้เชื้อเพลิงและมีเครื่องกลเติมอากาศซึ่งระบบการเผาไหม้ภายในเตาสมบูรณ์ดี โดยไม่มีควันและกลิ่นมารบกวนในขณะที่กำลังเผาถ่าน และเป็นเตาเผาถ่านที่ใช้งานง่าย ไม่มีระบบหรืออุปกรณ์ซับซ้อน เกิดควันจากการเผาไหม้น้อย น้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก และผลิตถ่านชีวภาพในปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณไม้ที่เผา ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินอย่างมีประสิทธิภาพ

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงและการยอมรับของชุมชนเป้าหมาย
Pathways of Change and Acceptance in the Target Community

การพัฒนาเตาเผาถ่าน “เตาตายักษ์” ในอำเภอท่าปลา เป็นกระบวนการที่เกิดจากความร่วมมือของหลายฝ่าย ดังนี้ ปราชญ์ชุมชน จำนวน 1 คน นักวิจัยจากมหาวิทยาลัย จำนวน 6 คน หน่วยงานท้องถิ่น 3 หน่วยงาน ได้แก่ ผู้ใหญ่บ้าน กำนัน และองค์การบริหารส่วนตำบล และกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ จำนวนมากกว่า 20 คน และใช้แนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม ซึ่งเน้นให้ชุมชนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้และการตัดสินใจ และเป็นผลจากการเรียนรู้ร่วมกันของภูมิปัญญาท้องถิ่นและองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยมีการดำเนินการ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสร้างการมีส่วนร่วมและการยอมรับของท้องถิ่นและสังคมผ่านวิธี AIC (Appreciation Influence Control)

การจัดกิจกรรมการแสดงความคิดเห็นในหัวข้อป่าชุมชนเราควรเป็นอย่างไร เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วม และค้นหาความต้องการร่วมกันของผู้เข้าร่วม การลงพื้นที่สำรวจและพูดคุยกับชาวบ้านในตำบลผาเลือด อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ เพื่อให้ชุมชนร่วมกันสะท้อนปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ เช่น การถางป่า การเผาทำลายเศษวัสดุทางการเกษตร ปัญหาควัน ฝุ่น และความเสื่อมโทรมของดิน กระบวนการนี้เปิดโอกาสให้คนในชุมชนได้ตระหนักถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการดำเนินชีวิตของตนเอง และรับทราบความจำเป็นในการเปลี่ยนแปลงแนวทางการจัดการทรัพยากรธรรมชาติให้ยั่งยืนมากขึ้น

การประชุมกลุ่มย่อยของนวัตกรเรื่องการเผาถ่านทำให้พบปัญหาในพื้นที่ดังนี้ บริเวณป่าชุมชนมีการสะสมของขอนไม้ ไม้ยืนต้นตาย และกิ่งไม้ขนาดใหญ่ ซึ่งการชิงเผาไม่สามารถจัดการชีวมวลประเภทนี้ได้ ดังนั้นเมื่อเกิดไฟป่าที่มีความรุนแรง ชีวมวลขนาดใหญ่ที่ติดไฟจึงดับได้ยาก ควบคุมได้ยาก และเสี่ยงต่อการเกิดไฟข้ามแดน ดังนั้นชุมชนจึงต้องการให้เกิดแนวทางการจัดการชีวมวลเหล่านั้นและให้เกิดประโยชน์ต่อป่าชุมชน จึงจัดทำกิจกรรมเสริมทักษะนวัตกรในการจัดการชีวมวลในป่าชุมชน รายละเอียดดังตารางที่ 1 (Table 1) การสร้างถ่านบำรุงดิน ซึ่งตอบสนองความต้องการของชุมชน โดยกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวนำเทคโนโลยีเตาตายักษ์ที่เป็นเทคโนโลยีพร้อมใช้มาประกอบการสร้างแนวทางการจัดการชีวมวล ทำให้เรียนรู้ได้ง่าย และผลิตถ่านบำรุงดินที่ใช้งานร่วมกับหลุมดักความชื้น

Table 1 Innovation skills enhancement for biomass management in community forests

Activity	Activity details
Activity A: Strengthening capacity in forest health indicator evaluation	This activity is a field-based practical operation conducted within community forests to build knowledge and understanding of how to observe and interpret forest health indicators. Through participatory observation, participants learned to assess and analyze the level of ecological fertility in their own community forests.
Activity B: Enhancing skills in biomass utilization and biochar production for community forest management	This activity focuses on practical techniques for using large-scale charcoal kilns ("Ta-Ya-Ki kiln") to manage medium- and large-sized biomass in community forests. Participants learned to operate the kiln efficiently to convert biomass into biochar (soil-enriching charcoal) for sustainable soil improvement.
Activity C: Enhancing the efficiency of government firebreaks through the implementation of black firebreak techniques	This activity aims to enhance efficiency and establish practical community guidelines for constructing effective firebreaks. The training emphasizes the use of black firebreaks, applying controlled burning techniques to create highly effective fire prevention barriers within community forests
Activity D: Capacity building on the design of moisture retention pits integrated with biochar for soil improvement	This activity provides hands-on learning for applying biochar produced in Activity B together with moisture-trapping pit construction techniques. Innovators analyzed the forest area, identified suitable sites, and determined coordinates for creating moisture-retention pits within their own community forests.
Activity E: Innovation development for strategic planning in community forest management	This activity involves practical exercises and scenario simulations for developing community forest management plans focused on prevention and restoration. Participants learned to prepare operational and budget proposals suitable for submission to relevant agencies for resource allocation and implementation support.

2. การแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับปราชญ์ชุมชน

การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกับปราชญ์ชุมชนผู้มีความเชี่ยวชาญด้านการเผาถ่านจากประสบการณ์จริงที่สั่งสมมายาวนาน ซึ่งเป็นการถ่ายทอดความรู้โดย คุณกิตติ เลิศล้ำ ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตไบโอชาร์ มาร่วมเป็นวิทยากรและผู้นำกระบวนการเรียนรู้ในชุมชน ขั้นตอนกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การควบคุมอุณหภูมิในเตา และการเผาถ่านให้ได้คุณภาพสูง ธรรมชาติของการเผาไม้ให้เป็นถ่าน ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการเผาถ่านจะเกิดขึ้น 3 ระยะ คือ 1) ระยะเกิดควันหรือระยะเผาไหม้เริ่มต้น 2) ระยะการเผาไหม้อย่างรุนแรง และ 3) ระยะการเปลี่ยนไม้เป็นถ่าน

การเชื่อมโยงองค์ความรู้กับหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยทดลองเก็บตัวอย่างไม้ในพื้นที่เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสลายตัวของชีวมวลเมื่อถูกเผาในอุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อยืนยันหลักการเบื้องต้น และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ "เตาตายักษ์" ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งข้อมูลที่ศึกษาสอดคล้องกับคำอธิบายจากการเผาไหม้ของชุมชนว่า "หากไม่ดับไฟในจังหวะที่เหมาะสม ถ่านจะไหม้หมดจนเหลือเพียงขี้เถ้า" ดังนั้น การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างภูมิปัญญาชาวบ้านกับนักวิจัยจึงทำให้เกิด การเข้าใจเชิงวิทยาศาสตร์ของภูมิปัญญา และนำไปสู่แนวคิดการพัฒนาเตาเผาถ่านที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและการไหลของอากาศได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ถ่านคุณภาพสูง ปลอดควัน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม

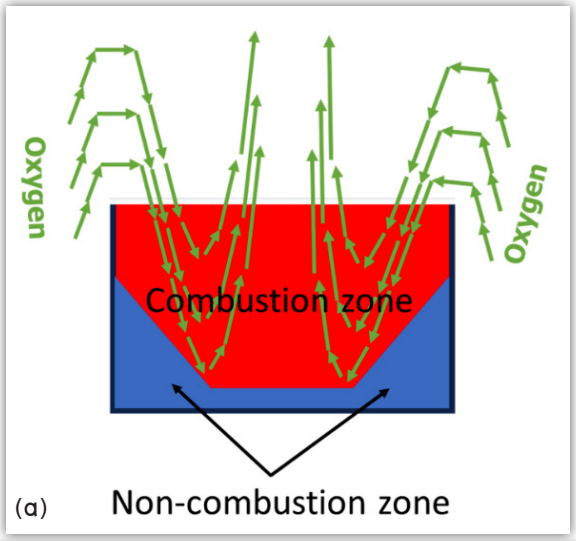
เตาเผาถ่านที่ชาวบ้านนิยมใช้ทั่วไปในพื้นที่ เป็นเตาที่มีลักษณะก้นปิด (Closed-bottom kiln) หรือบางครั้งเรียกว่าเตาอับอากาศ ลักษณะของเตาจะเป็นทรงกล่องหรือทรงกระบอก มีช่องที่ให้ออกซิเจนเข้าสู่การเผาไหม้ทางด้านบนเท่านั้น เมื่อเผาไม้หรือเศษชีวมวลพบว่า ในช่วงแรกของการเผาไหม้ ออกซิเจนจากบรรยากาศสามารถเข้าสู่บริเวณด้านบนได้ ทำให้เกิดการจุดติดไฟได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในบริเวณผิวบนของเชื้อเพลิง แต่เมื่อชั้นบนถูกเผาไหม้แล้ว เปลวไฟและอากาศร้อนจะก่อตัวเป็นชั้นปิดกั้นทำให้ออกซิเจนจากภายนอกไม่สามารถไหลลงไปยังส่วนล่างของเตาได้ ทำให้บริเวณด้านล่างของเตาซึ่งถูกปิดกั้นกลายเป็นจุดบอดของการเผาไหม้ที่ออกซิเจนเข้าไม่ถึง ส่งผลให้เนื้อไม้ด้านล่างไม่เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ความชื้นในไม้ซึ่งเกิดจากการระเหยในช่วงแรกไม่สามารถระบายออกได้และเกิดการสะสมในเตา เมื่อความชื้นเหล่านี้ไม่สามารถระบายออกทางด้านล่างได้ ก็จะถูกผลักขึ้นด้านบนแต่ไม่สามารถทะลุชั้นไฟได้ เกิดเป็นวงจรการเผาไหม้ที่ไม่สมดุล ระหว่างบริเวณที่ร้อนจัดกับบริเวณที่เย็นชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้ได้ถ่านที่ไหม้เพียงบางส่วน และส่วนที่เหลือยังคงเป็นไม้ที่ไม่ติดไฟหรือถ่านดิบ

3. การออกแบบและพัฒนาเตาต้นแบบ

การออกแบบเตาเผาถ่านต้นแบบมีแนวคิดสำคัญคือ ลดการเคลื่อนย้ายชีวมวลออกนอกพื้นที่ และสามารถฝังถ่านกลับลงไปในดินได้ทันทีหลังการเผา เพื่อลดการสูญเสียคาร์บอนและคืนความอุดมสมบูรณ์สู่ระบบนิเวศ เตาที่พัฒนาใช้เวลาในการเผาน้อยลงแต่ให้ผลผลิตถ่านคุณภาพสูง การร่วมกันออกแบบและปรับปรุงเตาเผาถ่านต้นแบบจากเตาขนาดใหญ่ที่เคลื่อนย้ายยากให้กลายเป็นเตาขนาดเล็กที่มีขนาดปากเตาด้านบนกว้าง 85 เซนติเมตร ปากเตาด้านล่างกว้าง 50 เซนติเมตร ความสูงของเตา 40 เซนติเมตร สะดวกต่อการใช้งานในครัวเรือน ใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ และคำนึงถึงหลักการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เพื่อให้ได้ถ่านที่มีคาร์บอนสูงและปลอดควัน ชาวบ้านในกลุ่มทดลองมีส่วนร่วมในกระบวนการเผา และการเปรียบเทียบคุณภาพถ่าน เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างแท้จริง

การพัฒนาเตาเผาถ่านต้นแบบเพื่อลดพื้นที่ มีแบบจำลองดังภาพที่ 3 (Figure 3) โดยปรับโครงสร้างภายในให้มีมุมเอียงเข้าด้านใน และเปิดช่องระบายอากาศที่ก้นเตา เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศและการระบายไอน้ำได้ทั้งด้านบนและด้านล่าง การออกแบบในลักษณะนี้ช่วยให้กระบวนการเผาไหม้ภายในเตามีความสมดุลมากขึ้น ออกซิเจนสามารถเข้าสู่บริเวณการเผาไหม้ได้ทั่วถึงในระยะแรก และในขณะเดียวกัน ความชื้นที่ระเหยออกจากไม้ในช่วงการอบแห้งสามารถถูกขับออกได้ทั้งสองทิศทาง (ขึ้นบนและลงล่าง) เมื่อความชื้นถูกขับออกจากเตาอย่างรวดเร็ว การเผาไหม้จะเข้าสู่ระยะการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนแบบควบคุมอากาศ (Controlled thermal conversion) ซึ่งภายในเตาจะมีปริมาณออกซิเจนลดลงเรื่อย ๆ หลังจากเกิดการเผาไหม้ในช่วงต้น อุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้นถึงประมาณ 600–700 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากไม่มีออกซิเจนมาเติมเต็ม การเผาไหม้จึงไม่เกิดอย่างต่อเนื่อง และเปลี่ยนสภาวะไปสู่การอบ (Carbonization) มากกว่าการเผาไหม้ (Combustion) ในระยะนี้ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของชีวมวลจะเป็นลักษณะของกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือการสลายตัวของสารอินทรีย์ เช่น เซลลูโลสและลิกนิน ให้กลายเป็นถ่าน (Char) ก๊าซ (Syngas) และของเหลวระเหย (Tar) ซึ่งถ่านที่ได้จะมีโครงสร้างคาร์บอนสูง ทั้งนี้ช่องระบายด้านล่างจะช่วยให้การดันอากาศร้อนและไอน้ำออกจากเตาเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้ความชื้นในเชื้อเพลิงถูกขับออกได้รวดเร็วกว่าเตาแบบดั้งเดิม ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้สูงขึ้นและการเกิดถ่านเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเรียกว่าเตาตายักษ์ ดังภาพที่ 4 (Figure 4)

การทดสอบการเผาถ่านภายใต้สภาพแวดล้อมจริง โดยเปรียบเทียบเตาตายักษ์กับเตาแบบดั้งเดิมในหลายตัวชี้วัด ได้แก่ ระยะเวลาการเผาไหม้ ปริมาณผลผลิตถ่าน คาร์บอนคงตัว และค่าความชื้นของถ่าน เป็นดังนี้ เตาตายักษ์สามารถลดระยะเวลาการเผาไหม้ได้เฉลี่ยร้อยละ 30–40 ปริมาณผลผลิตถ่านเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 20–25 แสดงถึงประสิทธิภาพของการเผาที่สูงกว่าและการใช้พลังงานที่คุ้มค่ามากขึ้น ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบถ่านในตารางที่ 2 (Table 2) พบว่า ถ่านที่ได้จากการเผาทั้งสองระบบมี



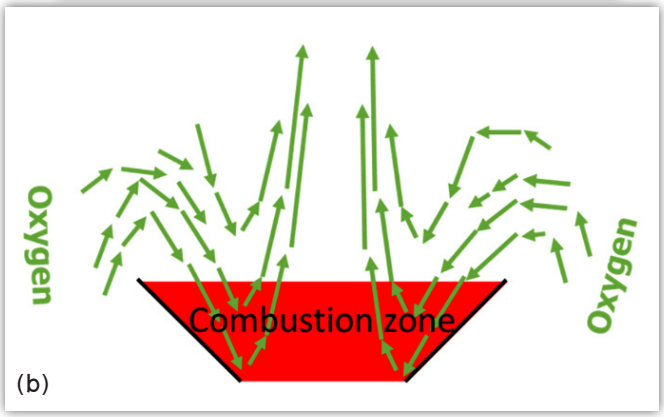


Figure 3 Natural charcoal kiln development (a) Closed-bottom kiln and (b) Ta-Ya-Ki kiln

Figure 4 Ta-Ya-Ki kiln

Table 2 Comparison of the efficiency of biochar from biomass stove and Ta–Ya–Ki kiln

Specifications	Biochar from closed bottom kiln	Biochar from Ta–Ya–Ki kiln	Standard test
Moisture content	7.61 %	38.17%	ASTM D 7582–15:2015
Carbon content	47.9%	49.90%	ASTM D 5373–16:2016
Fixed carbon	80.58%	80.98%	–

ค่าคาร์บอนคงตัวอยู่ในระดับสูงประมาณร้อยละ 80 ซึ่งสะท้อนถึงการเกิดกระบวนการคาร์บอไนเซชันที่สมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิในช่วง 500–600 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ถ่านที่ได้จากเตาแบบดั้งเดิมยังมีบางส่วนที่ไม่ได้รับการเผาไหม้อย่างทั่วถึง เป็นผลมาจากการกระจายความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอและพื้นที่ไม่เผาไหม้ของเตา ขณะที่เตาตายักษ์สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดกระบวนการ ทำให้เนื้อถ่านได้รับความร้อนเท่ากันทุกส่วนและเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านสมบูรณ์ทั้งก้อน นอกจากนี้ เตาตายักษ์ยังมีข้อได้เปรียบด้านสิ่งแวดล้อม โดยสามารถลดการปล่อยควันและก๊าซพิษได้อย่างชัดเจน และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าถ่านจากเตาตายักษ์มีความชื้นสะสมเฉลี่ยร้อยละ 38.17 ขณะที่ถ่านจากเตาแบบดั้งเดิมมีค่าความชื้นเพียงร้อยละ 7.61 ซึ่งความชื้นในระดับสูงของถ่านจากเตาตายักษ์เป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงดิน เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มการกักเก็บความชื้นในดินและสนับสนุนการฟื้นฟูระบบนิเวศในพื้นที่ป่า

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ของถ่านที่ได้จากเตาทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 6 (Figure 6) พบว่า ถ่านจากเตาแบบดั้งเดิมมีลักษณะเป็นก้อนตัน เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และการควบคุมอุณหภูมิไม่คงที่ ขณะที่ถ่านจากเตาตายักษ์พบว่า บริเวณพื้นที่หน้าตัดของถ่านมีรูพรุนจำนวนมาก กระจายตัวสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลจากการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะจำกัดออกซิเจน

ผลวิเคราะห์ FTIR และ SEM แสดงให้เห็นอย่างสอดคล้องกันว่าไบโอชาร์ที่ผลิตจากเตาตายักษ์มีระดับการคาร์บอนไนซ์และการพัฒนาโครงสร้างที่สมบูรณ์กว่าถ่านจากเตาแบบดั้งเดิม สะท้อนถึงการสลายตัวขององค์ประกอบชีวโมเลกุลอย่างสมบูรณ์และการเกิดโครงสร้างคาร์บอนเชิงอะโรมาติกที่มีความเสถียรสูง ขณะเดียวกันโครงสร้างที่มีความพรุนหลากหลายระดับ และช่องว่างเชื่อมต่อกันจำนวนมากในไบโอชาร์จากเตาตายักษ์ แตกต่างจากโครงสร้างทึบแน่นของถ่านจากเตาแบบดั้งเดิม การพัฒนาโครงสร้างดังกล่าวเป็นผลโดยตรงของสภาวะไพโรไลซิสที่มีประสิทธิภาพจากกลไกการไหลเวียนอากาศของเตาตายักษ์ ส่งผลให้ได้ไบโอชาร์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น และมีโครงสร้างคาร์บอนที่เสถียรต่อการสลายตัว คุณลักษณะเหล่านี้มีความสำคัญ

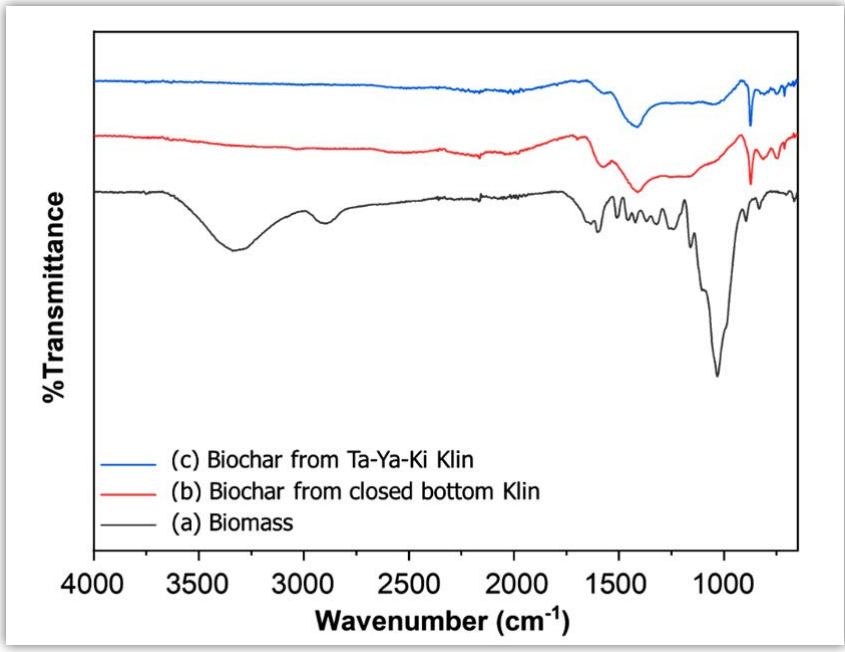


Figure 5 FTIR spectra of; (a) Biomass, (b) Biochar from closed bottom kiln, and (c) Biochar from Ta–Ya–Ki kiln

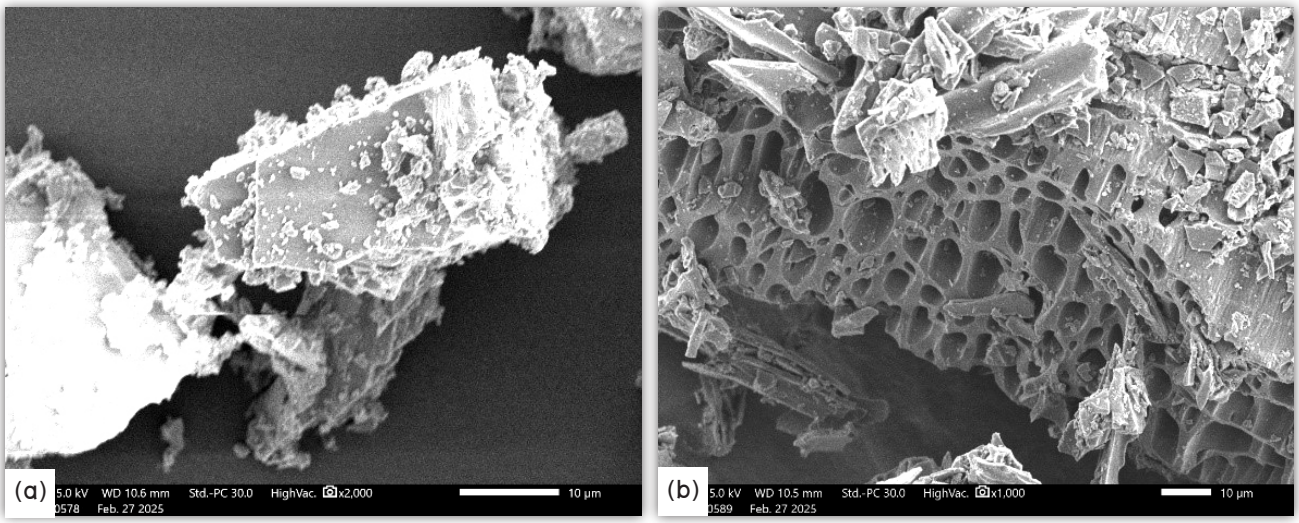


Figure 6 SEM morphology of; (a) Biochar from closed bottom kiln and (b) Biochar from Ta–Ya–Ki kiln

อย่างยิ่งต่อการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ป่าชุมชน เพราะช่วยรักษาความชุ่มชื้นในดิน ลดอุณหภูมิผิวดิน และลดโอกาสการปะทุของไฟป่าซ้ำในบริเวณเดิม

การวางแผนและถ่ายทอดขั้นตอนการใช้งานให้แก่ชุมชน มีดังนี้ 1) ลักษณะของชีวมวลที่เหมาะสมควรใช้ไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 15 เซนติเมตร และควรมีการคละขนาดของไม้ในแต่ละรอบการเผา เนื่องจากหากใช้ไม้ขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียวจะมีเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ไม่เพียงพอ ทำให้อุณหภูมิภายในเตาไม่สูงพอและไม่มีความร้อนเพียงพอสำหรับกระบวนการอบแห้ง ดังนั้น การคละขนาดของไม้ให้เต็มเตาจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเผาที่มีประสิทธิภาพ 2) วิธีการเผา เติมชีวมวลคละขนาดลงในเตาจนเต็ม โดยเว้นช่องว่างเล็กน้อยเพื่อให้สามารถจุดไฟได้ หลังจากจุดไฟ จะเกิดควันสีขาวในช่วงแรกเนื่องจากไอน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อไม้ เมื่อไฟติดและเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั่วทั้งเตา ให้รอจนเปลวไฟดับลงและมีขี้เถ้าสีขาวปกคลุมผิวถ่านทั่วทั้งเตา โดยไม่ควรเห็นเปลวไฟเหลืออยู่ 3) การดับไฟโดยการใช้น้ำเป็นวิธีดับไฟที่ง่ายและรวดเร็วที่สุดสำหรับการใช้งานภาคสนามในป่าชุมชน และเหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงานจริง 4) ข้อควรระวังในการใช้งาน แม้เตาตายักษ์จะสามารถใช้งานง่าย และผู้ใช้หนึ่งคนสามารถปฏิบัติงานได้ แต่เพื่อความปลอดภัยควรมีผู้ปฏิบัติงานอย่างน้อย 2 คน เพื่อช่วยสังเกตการณ์และป้องกันอุบัติเหตุ โดยเฉพาะในขั้นตอนการใช้น้ำดับไฟ เนื่องจากเป็นการดับในขณะที่เตามีอุณหภูมิสูงมาก ทำให้เกิดไอน้ำจำนวนมาก ผู้ใช้งานจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการถูกไอน้ำลวกหรือเกิดอันตรายอื่น ๆ

4. การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงประสิทธิภาพ

ผลการเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้เตาตายักษ์เพื่อผลิตไบโอชาร์สำหรับบำรุงดินร่วมกับการวางแผนแบบมีส่วนร่วมของชุมชน ดังตารางที่ 3 (Table 3) พบว่าตัวชี้วัดหลักด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และการจัดการไฟป่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะด้านความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้นจากระดับร้อยละ 15–25 ไปอยู่ที่ร้อยละ 30–40 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมสำหรับการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าเต็งรัง และสามารถยืนยันได้จากค่า Normalized Difference Moisture Index (NDMI) ที่วัดซ้ำรายฤดูกาล ด้านเศรษฐกิจพบว่ารายได้เฉลี่ยของครัวเรือนจากการเก็บทรัพยากรป่า เช่น เห็ด ผักหวาน หน่อไม้ เพิ่มขึ้นกว่าเท่าตัวในช่วงเดือนมิถุนายน–กรกฎาคม พ.ศ. 2568 สะท้อนถึงประสิทธิภาพของการจัดการความชื้นที่ช่วยยืดระยะเวลาผลผลิตจากป่า ในมิติการจัดการไฟป่า จุดความร้อนไม่พึงประสงค์ที่เคยมีค่าเฉลี่ย 12 จุดต่อปี ลดลงเหลือ 0 จุด ในปี พ.ศ. 2568 และไม่มีรายงานการเกิดไฟลุกลามข้ามเขตตลอดฤดูไฟป่า แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของระบบแนวกันไฟและการวางแผนล่วงหน้าจากระบบ UD–FIRE และการเฝ้าระวังร่วมกับ อปท. ในพื้นที่ ในขณะเดียวกัน ปริมาณชีวมวลคงเหลือในพื้นที่ดำเนินการลดลงไม่น้อยกว่า 5 ตัน จากการจัดการร่วมกับการเผาชีวมวลในเตาตายักษ์ นำไปสู่ทั้งการลดความเสี่ยงของการลุกลามของไฟและการแปรสภาพชีวมวลเป็นถ่านบำรุงดิน สะท้อนถึงความยั่งยืนทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม และเป็นข้อมูลสนับสนุนการขยายผลในระดับยุทธศาสตร์ของจังหวัดต่อไป

5. การถ่ายทอดองค์ความรู้และขยายผลสู่ชุมชน

การถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนผ่านกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการและการสาธิตในหลายพื้นที่ เช่น จังหวัดอุตรดิตถ์ ปทุมธานี และสระแก้ว เพื่อให้เกษตรกรและผู้นำชุมชนเข้าใจหลักการเผาชีวมวลอย่างถูกวิธีและเห็นคุณค่าของการใช้ไบโอชาร์ในการฟื้นฟูดิน การถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านกิจกรรมสาธิตและอบรมให้แก่กลุ่มเกษตรกร ผู้นำชุมชน และนักเรียนในพื้นที่ รวมถึงการ

Table 3 Comparison of results before and after project implementation

Indicator	Before project implementation	After project implementation	Note
Soil moisture	15% – 25%	30% – 40%	Using seasonal NDMI values
Average income from forest resources (June – July)	200–300 Baht per day	600 – 1,000 Baht per day	Village Health Volunteer (VHV) household basket program
Hotspot	An average of 12 points per year per area	An average of 0 points per year per area	Statistical analysis of satellite imagery over the past 5 years
Frequency of cross–boundary fire incidents	Occurred 3–5 times per fire season	No statistical data on fire spread incidents are available	Report prepared by the DDPM officer in the Local Administrative Organization
Amount of remaining biomass in the area	Absence of management	A reduction of not less than 5 tons per operational area	Integrated biomass management and black firebreak development

ขยายผลไปยังจังหวัดใกล้เคียง โดยการประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ข้อมูลผ่านเครือข่ายเกษตรกรและหน่วยงานท้องถิ่น ทำให้เตาตายักษ์ได้รับความสนใจจากหลายพื้นที่ที่ประสบปัญหาการจัดการเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรและการเผาในที่โล่ง

การขยายผลการใช้งานเตาเผาถ่านต้นแบบในจังหวัดอุตรดิตถ์ ผ่านโครงการนำร่องการใช้เตาตายักษ์ในพื้นที่ป้องกันไฟป่าของจังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาไฟป่าซ้ำซากจากการสะสมของชีวมวลในป่าชุมชน เพื่อลดการเผาป่าโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจของชุมชน รวมทั้งเพื่อลดปริมาณเชื้อเพลิงธรรมชาติที่เป็นสาเหตุสำคัญของไฟป่าในทุกปี การถ่ายทอดความรู้และการใช้งานในพื้นที่จริง ดังภาพที่ 7 (Figure 7) การใช้เตาตายักษ์เพื่อจัดการชีวมวลในพื้นที่ป่าชุมชนอย่างยั่งยืน ใช้หลักการเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เป็นทรัพยากร แทนการปล่อยให้เศษกิ่งไม้ ใบไม้ หรือวัสดุแห้งสะสมจนเกิดการติดไฟ เตาตายักษ์ถูกนำมาใช้ในการเผาชีวมวลเหล่านี้ให้กลายเป็นไบโอชาร์ ซึ่งเป็นคาร์บอน ที่ไม่ติดไฟง่ายและมีประโยชน์ต่อระบบนิเวศ

ข้อดีของการใช้เตาตายักษ์ในพื้นที่ป่า มีดังนี้ 1) ขนาดเล็กน้ำหนักเบา และเคลื่อนย้ายสะดวก สามารถใช้งานในพื้นที่เป้าหมายได้โดยไม่ต้องขนย้ายชีวมวลออกจากป่า ลดภาระด้านแรงงานและเวลา 2) ใช้เวลาการเผาสั้น ประมาณ 2–3 ชั่วโมงต่อรอบ จึงสามารถเคลื่อนย้ายเตาไปยังพื้นที่อื่นได้ 3) ไม่เกิดควันขณะเผาไหม้ เพราะเตาตายักษ์มีการเผาไหม้สมบูรณ์ในสภาวะจำกัดอากาศ จึงลดการปล่อยฝุ่นละอองและก๊าซพิษ รวมถึงไม่ก่อให้เกิดฝุ่น PM 2.5 4) การคืนคาร์บอนกลับสู่ดินดำเนินการโดยการขุดหลุมหลังการเผาและดับไฟสนิท โดยหลุมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 เซนติเมตร ลึก 30 เซนติเมตร และเติมไบโอชาร์ประมาณ 1 กิโลกรัมต่อหลุม แต่ละหลุมเว้นระยะห่าง 1–2 เมตร ตามลักษณะภูมิประเทศ วิธีนี้ช่วยเสริมการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าชุมชน ดังภาพที่ 8 (Figure 8) และ 5) ส่งเสริมระบบนิเวศดิน เนื่องจากถ่านมีรูพรุนสูง ทำให้เป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์และสามารถดูดซับความชื้นได้ดี ส่งผลให้ดินบริเวณนั้นมีความชุ่มชื้นมากขึ้นและช่วยลดโอกาสการเกิดไฟป่าในอนาคต

การดำเนินโครงการในพื้นที่ที่นำเตาตายักษ์ไปใช้มีแนวโน้มการเกิดไฟป่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งยังช่วยฟื้นฟูสภาพป่าให้มีความชุ่มชื้นและความหลากหลายทางชีวภาพมากขึ้น การใช้งาน

Figure 7 Biochar burning with Ta–Ya–ki kiln at Uttaradit Province

Figure 8 Biochar from Ta-Ya-Ki kiln moisture capture in moisture trap

เตาตายักษ์ในโครงการนี้จึงถือเป็น นวัตกรรมชุมชนเพื่อการจัดการไฟป่าอย่างยั่งยืน ที่ผสมผสานองค์ความรู้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้ากับแนวทางทางวิทยาศาสตร์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม

การจัดการชีวมวลขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ในพื้นที่เสี่ยงของการเกิดไฟป่าในป่าชุมชนอำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ 5 แห่ง ที่ประยุกต์ใช้เตาตายักษ์แบบเปิดบนสำหรับการเผาชีวมวลแบบควบคุม เพื่อแปรสภาพชีวมวลที่เสี่ยงต่อการติดไฟให้เป็นถ่านบำรุงดิน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคการใช้ไฟอย่างรู้คุณค่า ซึ่งช่วยลดเชื้อเพลิงสะสมภายในพื้นที่ป่าและป้องกันการลุกลามของไฟป่าที่มีความรุนแรงสูง จากการรวบรวมข้อมูลการใช้เตาตายักษ์จากนวัตกรชุมชนจำนวน 10 คน (ผู้ใช้งานเตา) เพื่อจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่ 160 ไร่ (ร้อยละ 10 จากพื้นที่ทั้งหมด 1,600 ไร่) รวมปริมาณชีวมวลที่จัดการกว่า 5,013 กิโลกรัม ทั้งนี้การดำเนินงานได้สอดแทรกการมีส่วนร่วมของชุมชนในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การสำรวจชีวมวล การออกแบบจุดเผา การเรียนรู้กระบวนการเผาอย่างปลอดภัย การเก็บถ่านเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงดินในหลุมดักความชื้น กระบวนการนี้ไม่เพียงแต่ลดความเสี่ยงจากไฟป่าเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ทั้งในเชิงสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ เป็นการยกระดับขีดความสามารถของชุมชนในการบริหารจัดการป่าผลัดใบอย่างยั่งยืนผ่านเทคโนโลยีที่เข้าถึงได้และต้นทุนต่ำ

การพัฒนาเตาตายักษ์กลายเป็นตัวเปลี่ยนเกมด้านการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลของชุมชนอย่างแท้จริง ดังภาพที่ 9 (Figure 9) โดยชุมชนสามารถใช้เตาตายักษ์ในการเผาวัสดุชีวมวล เช่น กิ่งไม้ ใบไม้แห้ง เศษจากแนวกันไฟ หรือขอบไร่ขอบนา ให้กลายเป็นไบโอชาร์ ได้อย่างปลอดภัย ลดควัน ลดเวลา ลดแรงงาน และสามารถใช้งานได้แม้ในช่วงฤดูห้ามเผา ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำคัญเมื่อเทียบกับเตาแบบดั้งเดิม ชุมชนสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง ลดความเสี่ยงการเกิดไฟป่าโดยไม่ต้องใช้การชิงเผา ถ่านที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะกับการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน จึงเหมาะสำหรับใช้ในหลุมดักความชื้นที่วางตำแหน่งไว้ล่วงหน้าด้วยระบบ UD-FIRE ซึ่งจะช่วยฟื้นฟูดินและระบบนิเวศให้สามารถเก็บความชื้นได้นานยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในฤดูแล้ง นอกจากนี้ การนำน้ำเชื้อเห็ด เช่น เห็ดถอบหรือเห็ดลม มาฝังในหลุมดักความชื้นร่วมกับถ่านบำรุงดิน ยังเป็นแนวทางสร้างแรงจูงใจให้ชุมชนเข้าไปมีส่วนร่วมในการฟื้นฟูป่า โดยเฉพาะการใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านด้านหลุมเชื้อเห็ด ทำให้การขุดหลุมไม่ใช่เพียงภาระหรือหน้าที่ตามโครงการ แต่เป็นโอกาสทางเศรษฐกิจที่เห็นผลได้จริง ในฤดูฝนเมื่อมีเห็ดในป่าชุมชนสามารถเก็บขายได้ สามารถสร้างรายได้กลายเป็นแรงกระตุ้นให้เกิดการดูแลหลุมอย่างต่อเนื่อง ผลลัพธ์จึงไม่ใช่เพียงการลดไฟป่า แต่ยังเป็นการสร้างชุมชนนวัตกรรมแห่งการเรียนรู้ที่ใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างชาญฉลาด สร้างประโยชน์ทางเศรษฐกิจควบคู่กับการฟื้นฟูระบบนิเวศอย่างยั่งยืน

จากความสำเร็จของการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการเผาถ่านระดับชุมชน โครงการได้นำถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้ทดลองฝังในพื้นที่ป่าที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า โดยออกแบบจุดทดลองร่วมกับชุมชนในพื้นที่ เพื่อประเมินผลกระทบของโครงการต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินของพื้นที่ศึกษา ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลความชื้นในดินอย่างเป็นระบบในช่วงก่อนการดำเนินโครงการ (มกราคม พ.ศ. 2567 – พฤษภาคม พ.ศ. 2567) และเปรียบเทียบกับข้อมูลในช่วงหลังการดำเนินโครงการ (มกราคม พ.ศ. 2568 – พฤษภาคม พ.ศ. 2568) โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเวลาเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการดำเนินการของโครงการในพื้นที่เป้าหมาย โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นภาคพื้นดินเปรียบเทียบกับพื้นที่โดยรอบ ดังภาพที่ 10 (Figure 10) พบว่า พื้นที่ก่อนการฝังถ่านชีวภาพมีค่าความชื้นต่ำ บ่งชี้ถึงความแห้งแล้งสูง ขณะที่พื้นที่ที่มีการฝังถ่านชีวภาพ แสดงค่าสีที่เข้มขึ้นอย่างชัดเจน สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของความชื้นบนผิวดิน ซึ่งยืนยันประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพในการ

Figure 9 The integration of technology with the Ta–Ya–Ki kiln as a game–changing innovation

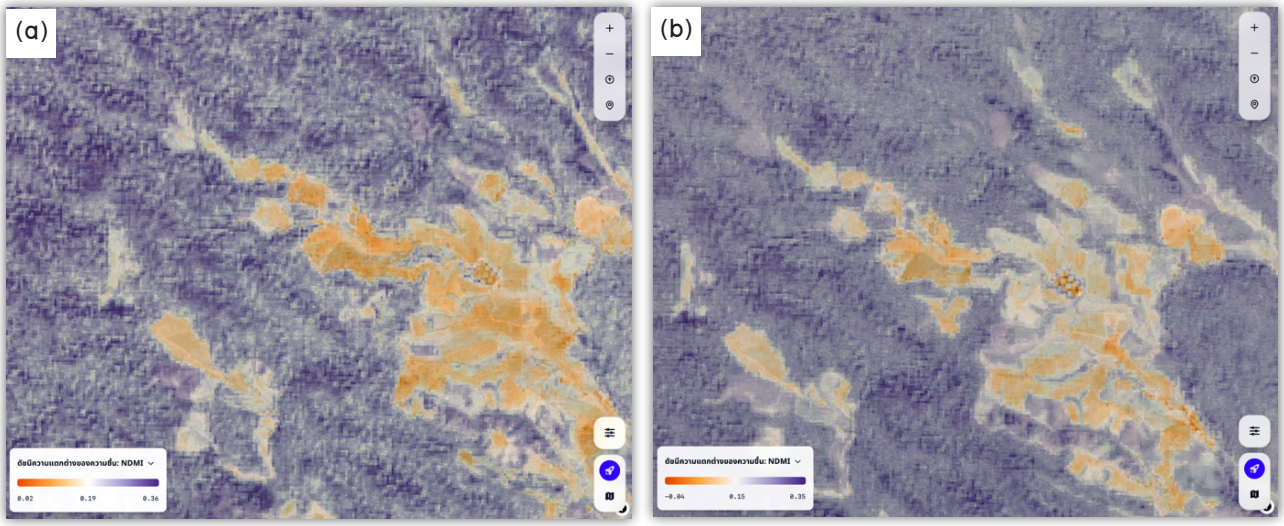


Figure 10 Satellite imagery analysis of surface moisture index (NDMI) comparing (a) the average moisture index in 2024 and (b) the average moisture index in 2025

อุ้มน้ำและรักษาความชื้นของระบบนิเวศป่าไม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนให้เห็นว่าไบโอชาร์ มีศักยภาพสามารถเป็นกลไกทางธรรมชาติที่ช่วยกักเก็บน้ำในดิน และส่งผลทางบวกต่อความสามารถของระบบนิเวศในการต้านทานไฟป่าได้มากยิ่งขึ้น

ความรู้หรือความเชี่ยวชาญที่ใช้
Relevant Knowledge and Expertise

การกำจัดชีวมวลเพื่อลดการเกิดไฟป่า (Biomass Fuel Management)

การจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลถูกนำมาใช้ในการออกแบบเตาให้สามารถเผาทำลายเศษวัสดุจากป่า เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ หรือซากพืช โดยไม่ปล่อยควันและฝุ่นละออง ซึ่งช่วยลดโอกาสการสะสมของเชื้อเพลิงในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดไฟป่าซ้ำซากในพื้นที่ป่าชุมชน การใช้เตาตายักษ์ยังช่วยให้สามารถเคลื่อนย้ายเตาเข้าสู่พื้นที่เสี่ยงได้โดยตรง ลดความจำเป็นในการขนย้ายชีวมวลออกจากพื้นที่ป่า ทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางการชิงเผาอย่างปลอดภัย ที่ดำเนินการโดยกรมป่าไม้ (Royal Forest Department, 2022)

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process)

เตาตายักษ์ทำงานบนหลักการของกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นการย่อยสลายทางความร้อนของชีวมวลในสภาวะจำกัดออกซิเจน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลักคือไบโอชาร์ ก๊าซเชื้อเพลิง และของเหลวชีวภาพ (Reza et al., 2020) การออกแบบเตาให้มีก้นเปิดและผนังเอียง ช่วยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 400–600 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (Homsri et al., 2023) ทำให้ได้ถ่านคุณภาพสูงโดยไม่เกิดการเผาไหม้จนกลายเป็นขี้เถ้า ระยะเกิดควันหรือระยะเผาไหม้เริ่มต้น ช่วงการอบแห้ง (Drying stage) เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส เป็นการอบเพื่อไล่ความชื้นในชีวมวล เป็นระยะที่ความชื้นในไม้ระเหยออกในรูปของไอน้ำ (H_2O) น้ำหนักของตัวอย่างลดลงเล็กน้อย แต่ยังไม่เกิดการสลายตัวของเนื้อไม้

ระยะการเผาไหม้อย่างรุนแรง ช่วงการสลายตัวของสารระเหย (Volatile burning stage) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 300–400 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นอสัญฐานและสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำในไม้ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Yang et al., 2007) และยังเป็นช่วงที่เกิดก๊าซระเหยต่าง ๆ ได้แก่ CO_2, CO, H_2, CH_4 และไอระเหยของน้ำ (Tayibi et al., 2019) ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดเปลวไฟและควันมากที่สุด

ระยะการเปลี่ยนไม้เป็นถ่าน ช่วงการเกิดถ่าน (Char formation stage) ที่อุณหภูมิระหว่าง 400–600 องศาเซลเซียส การสลายตัวของสารระเหยสิ้นสุดลง เหลือแต่โครงสร้างคาร์บอนของไม้ สังเกตได้จากน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ แสดงว่าเกิดการคงสภาพของถ่าน (Char stabilization) ถ่านที่ได้มีคาร์บอนสูงและมีรูพรุน (Porous structure) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ ไบโอชาร์ ที่เหมาะสำหรับใช้ปรับปรุงดิน ช่วงการเผาถ่านจนหมด (Char combustion stage) หากปล่อยให้ไฟไหม้ต่อเนื่องจนมีออกซิเจนเพียงพอ ถ่านจะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน กลายเป็น CO_2 และขี้เถ้า

การใช้ถ่านบำรุงดิน

ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ดินและเกษตรอินทรีย์ถูกนำมาใช้เพื่อส่งเสริมการนำไบโอชาร์กลับคืนสู่ดิน ซึ่งช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และลดความเป็นกรดของดิน (Ruchuwararak & Tatong, 2014) การใช้ถ่านบำรุงดินยังช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและการสร้างสารอาหารให้พืช (Zhang et al., 2007)

การตรึงคาร์บอนในดิน (Soil Carbon Sequestration)

กระบวนการนี้เป็นกลไกสำคัญในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ไบโอชาร์ที่ได้จากเตาตายักษ์มีความเสถียรสูง สามารถกักเก็บคาร์บอนในรูปของโครงสร้างคาร์บอนอะโรเมติกในดินได้นานกว่า 500–1,000 ปี (Woolf et al., 2010) การฝังถ่านในพื้นที่ป่าหลังการเผาชีวมวล จึงเป็นการคืนคาร์บอนกลับสู่ระบบนิเวศธรรมชาติ ช่วยชะลอภาวะโลกร้อนและลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาในที่โล่ง (Sittiworanon et al., 2020)

การเพิ่มความชื้นในป่า

คุณสมบัติรูพรุนสูงของไบโอชาร์ ทำให้สามารถดูดซับและกักเก็บน้ำไว้ในดินได้นานขึ้น เมื่อฝังถ่านในพื้นที่ป่าชุมชน จึงช่วยเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในดินและอากาศรอบข้าง ส่งผลให้ระบบนิเวศโดยรวมมีความสมดุลมากขึ้น ลดความแห้งแล้งและความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในฤดูแล้ง (Aleksandrov et al., 2023) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดป่าเปียกของกรมป่าไม้ที่เพิ่มศักยภาพการกักเก็บน้ำในดินเพื่อป้องกันไฟป่า (Royal Forest Department, 2022)

สถานการณ์ใหม่ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม
New Situation After Change

การใช้เตาตายักษ์ในการจัดการชีวมวลในพื้นที่ตำบลผาเลือด อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ พบการเปลี่ยนแปลงในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในมิติสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของความชุ่มชื้นในป่าชุมชน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าก่อนดำเนินโครงการถึง 1.2 เท่า ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและเห็ดพื้นถิ่นที่หายไปกลับมาฟื้นตัวอีกครั้ง ถือเป็นตัวชี้วัดทาง

ชีวภาพที่สะท้อนถึงความสมบูรณ์ของระบบนิเวศที่เพิ่มขึ้น ด้านการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าชีวมวลขนาดกลางและขนาดใหญ่ในพื้นที่ป่าชุมชนลดลงอย่างชัดเจน ทำให้การจัดการชีวมวลขนาดเล็ก เช่น ใบไม้แห้ง ทำได้ง่ายขึ้นและลดโอกาสการเกิดไฟป่าหรือการลุกลามในวงกว้าง ในกรณีที่เกิดไฟป่าโดยไม่ตั้งใจ นอกจากนี้การปรับปรุงโดยใช้การทำแนวกันไฟเดิมมาเป็นกระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับป่าโดยใช้ไบโอชาร์ร่วมในพื้นที่ ช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานจาก 15 บาทต่อเมตร เหลือเพียง 3 บาทต่อเมตร คิดเป็นการประหยัดต้นทุนรวมกว่า 130,428 บาทต่อปี

ในเชิงเศรษฐกิจและสังคม รายได้เฉลี่ยของครัวเรือนในชุมชนที่เข้าร่วมโครงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 20–28 จากการจำหน่ายไบโอชาร์และการใช้ถ่านบำรุงดินในแปลงเกษตรอินทรีย์ ขณะเดียวกันชุมชนยังสามารถลดภาระการระดมคนเฝ้าระวังไฟได้กว่า 10 วันต่อปี คิดเป็นมูลค่าการประหยัดแรงงานและค่าใช้จ่ายราว 367,000 บาท เมื่อรวมผลกระทบทั้งสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม การประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน (Social Return on Investment: SROI) พบว่ามีค่า 1.22 บาทต่อเงินลงทุน 1 บาท แสดงว่าโครงการนี้ไม่เพียงช่วยลดปัญหาไฟป่า แต่ยังสร้างผลลัพธ์เชิงบวกอย่างยั่งยืนต่อชุมชนและระบบนิเวศโดยรวม

ผลกระทบและความยั่งยืนของการเปลี่ยนแปลง
Effects and Long Term Sustainability of Change

การขยายผลสู่พื้นที่อื่น ๆ เช่น จังหวัดปทุมธานีและสระแก้ว โดยประยุกต์ใช้เตาตายักษ์ในการจัดการเศษวัสดุทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย และเศษไม้จากสวนผลไม้ เพื่อลดการเผาในที่โล่ง และสร้างรายได้เสริมจากการผลิตไบโอชาร์คุณภาพสูงจำหน่ายให้กับกลุ่มเกษตรอินทรีย์ในท้องถิ่น เป็นการเผยแพร่นวัตกรรมทางเทคนิค แต่ยังเป็นกระบวนการสร้างการเรียนรู้ร่วมกันของชุมชน เพื่อการจัดการทรัพยากรชีวมวลและป่าชุมชนอย่างยั่งยืน ทั้งยังเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับนโยบายเศรษฐกิจหมุนเวียนสีเขียว (Bio–Circular–Green Economy: BCG) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและคืนสมดุลให้กับสิ่งแวดล้อม

การทดลองและถ่ายทอดความรู้ผ่านการอบรม ทำให้ชาวบ้านในพื้นที่เห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจนจากการใช้ไบโอชาร์ ทั้งในด้านการปรับปรุงดินให้ร่วนซุย การลดการใช้ปุ๋ยเคมี และการเพิ่มผลผลิต เกษตรกรบางรายสามารถผลิตไบโอชาร์ใช้เองในครัวเรือน และต่อยอดจำหน่ายเป็นรายได้เสริม การยอมรับนี้เกิดจากผลลัพธ์ที่จับต้องได้และกระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน ซึ่งทำให้ชาวบ้านรู้สึกเป็นเจ้าของนวัตกรรมและเข้าใจหลักการเผาไหม้อย่างถูกต้อง เมื่อเห็นว่าไบโอชาร์ช่วยปรับปรุงดิน ลดควัน และสร้างรายได้ จึงเกิดการขยายการใช้งานสู่ครัวเรือนและกลุ่มเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่ใกล้เคียง

การประยุกต์ใช้เตาตายักษ์สามารถขยายผลสู่การดำเนินงานในระดับพื้นที่ เพื่อเป็นกลไกหลักในการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลของจังหวัดอุตรดิตถ์ได้อย่างเป็นระบบ ทั้งยังสอดคล้องกับแนวทาง BCG และยุทธศาสตร์การป้องกันไฟป่าระดับจังหวัด การพัฒนาเตาตายักษ์จึงมีศักยภาพในการนำไปปรับใช้ในระดับตำบล อปท. และระดับจังหวัด เพื่อเสริมสร้างความชุ่มชื้นในระบบนิเวศ ลดความเสี่ยงไฟป่า และยกระดับรายได้ชุมชนอย่างยั่งยืน

นอกจากนี้ การใช้งานจริงในพื้นที่ยังส่งผลให้เกิดเครือข่ายเกษตรกรผู้ใช้เตาตายักษ์ขยายตัวไปยังหลายจังหวัด ได้แก่ อุตรดิตถ์ ปทุมธานี และสระแก้ว และต่อยอดสู่การจัดตั้งสถาบันถ่านไม้ไผ่ ณ สวนลุงโชค จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านไบโอชาร์และการจัดการชีวมวลอย่างยั่งยืน ส่งผลให้ชุมชนมีความเข้มแข็งทั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม พร้อมพัฒนาศักยภาพในการพึ่งพาตนเองได้ในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ
Acknowledgments

ขอขอบคุณ หน่วยบริหารจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) สัญญาทุนเลขที่ A11F670112–02 ที่ให้ทุนสนับสนุนและมีส่วนร่วมจนงานสำเร็จลุล่วง

Author Contributions

Pruttipong Pantamanatsopa: Investigation, Methodology, Writing – Original draft. **Kullawadee Sungsanit:** Formal analysis, Project administration, Funding acquisition. **Waroonsiri Jakarbutr:** Validation. **Phornwalan Nanthananon:** Visualization, Writing – Review & Editing. **Wichain Chailad:** Visualization. **Sirichon Buaboon:** Supervision. **Parinwat Thanasiratheirachai:** Methodology, Software, Funding acquisition. **Kitti Mueangtoom:** Validation. **Kitti Leartlum:** Resources. **Warunee Ariyawiriyanan:** Conceptualization, Supervision.

ORCID ID

Pruttipong Pantamanatsopa: 0009-0009-4188-8441
Kullawadee Sungsanit: 0009-0008-6697-3469
Phornwalan Nanthananon: 0000-0002-5494-5697
Wichain Chailad: 0000-0001-6460-5357
Parinwat Thanasiratheirachai: 0009-0007-2362-5942
Kitti Mueangtoom: 0009-0005-4216-6070
Warunee Ariyawiriyanan: 0000-0002-2790-9228

Conflicts of Interest

The authors have no conflicts of interest.

References

Aleksandrov, A. A., Ksenofontov, B. S., Kozodaev, A. S., Taranov, R. A., Vyazova, V. D., & Ivanov, M. V. (2023). Development of an algorithm for calculating the moisture content and time of forest fire maturation of forest combustible materials for determining forest fire hazards. *Electronics, 12*(8), 1937. https://doi.org/10.3390/electronics12081937.

Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management & Research, 26*(1), 47–60.

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. (2019). *Fuel management manual.* Bangkok: Bureau of Forest Fire Prevention and Suppression.

Homsri, P., Jitjack, K., & Sitranon, J. (2023). A development of biomass charcoal kiln system control by Internet of Things. *Kasem Bundit Engineering Journal, 13*(2), 42–62. (in Thai).

Kamching, R., & Homhuan, S. (2020). Information system for supporting surveillance and warning of natural disasters, Uttaradit Province. *Area Based Development Research Journal, 12*(4), 272–288. (in Thai).

Lertlum, K. (2023). *Charcoal kiln. (Utility Model No. 21403).* Bangkok: Department of Intellectual Property. (in Thai).

Pornleesangsuwan, A., Wattanasuksakul, S., & Nongnuang, S. (2016). Nitrogen storage in a dry dipterocarp forest ecosystem with and without fire at Intakin Silvicultural Research Station, Chiang Mai Province. In: The 10th Silvicultural Seminar: Plantation towards Thailand's Eco-economy, 1-4 May 2016, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai).

Rakbumrung, V., Pantamanatsopa, P., Buaboon, S., Sungsanit, K., & Ariyawiriyanan, W. (2023). Bamboo waste management model to strengthen the Ban Pho Ngam Community, Prachinburi Province. *Area Based Development Research Journal, 15*(1), 1–14. (in Thai).

Reza, M. S., Afroze, S., Bakar, M. S., Saidur, R., Aslfattahi, N., Taweekun, J., & Azad, A. K. (2020). Biochar characterization of invasive Pennisetum purpureum grass: Effect of pyrolysis temperature. *Biochar, 2*(2), 239–251.

Royal Forest Department. (2022). Community forest information: Ban Pak Thap, Pha Lueat Subdistrict, Uttaradit Province. Retrieved November 2, 2025, from: https://forestinfo.forest.go.th/fCom_detail.aspx?id=11370. (in Thai).

Ruchuwararak, P., & Tatong, P. (2014). Traditional charcoal burning of local communities toward alternative energy technology. *Buriram Rajabhat University Academic Journal, 6*(2), 52–71. (in Thai).

Rytwinski, A., & Crowe, K. A. (2010). A simulation-optimization model for selecting the location of fuel-breaks to minimize expected losses from forest fires. *Forest Ecology and Management, 260*(1), 1–11.

Sahunalu, P. (2001). *Quantitative ecology.* Bangkok: Department of Silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University.

Sittiworanon, N., Santasup, C., & Chaiwan, F. (2020). Effects of biochar amendment on soil properties and carbon sequestration in highland areas of Pang Mapha District, Mae Hong Son Province. *Journal of Agricultural Research and Communications, 36*(1), 69–78. (in Thai).

Tayibi, S., Monlau, F., Fayoud, N. E., Oukarroum, A., Zeroual, Y., Hannache, H., & Barakat, A. (2019). One-pot activation and pyrolysis of Moroccan Gelidium sesquipedale red macroalgae residue: Production of an efficient adsorbent biochar. *Biochar, 1*(4), 401–412.

Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications, 1*(1), 56.

Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel, 86*(12-13), 1781-1788.

Zhang, Q., Chang, J., Wang, T., & Xu, Y. (2007). Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management, 48*(1), 87-92.