

โครงการคณิตศาสตร์

การศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน
ระหว่างเกษตรเชิงเดี่ยวและเกษตรผสมผสานในพื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง
ด้วยตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดย

พงศกร กริชครบุรี

ญาณิน อโนทิพย์

ปวีณธิดา ไชติมุข

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา นครศรีธรรมราช

ครูที่ปรึกษา

นายบุญเสริม จันทรินทร์

นางสาวเสาวนีย์ บุญแก้ว

รายงานนี้เป็นส่วนประกอบของโครงการคณิตศาสตร์ ประเภทบูรณาการ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

เนื่องในงานงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติส่วนภูมิภาค ประจำปี พ.ศ.๒๕๖๙

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สำหรับเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน ระหว่างระบบเกษตรเชิงเดี่ยว(ยางพารา)และระบบเกษตรผสมผสานในพื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยคณะผู้จัดทำได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีวิเคราะห์กระแสเงินสดส่วนลด (Discounted Cash Flow Analysis) เพื่อคำนวณตัวชี้วัดทางการเงิน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ร่วมกับการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Sequestration) ตลอดอายุโครงการ 20 ปี

ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่า ตัวแบบจำลองเกษตรผสมผสานให้ผลตอบแทนสูงสุด โดยมีค่า NPV เท่ากับ 542,300 บาท/ไร่ คิดเป็น 2.9 เท่าของเกษตรเชิงเดี่ยว(ยางพารา) และมีค่า IRR สูงถึง ร้อยละ 22.8 โดยสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเพียง 5.8 ปี นอกจากนี้ ในมิติด้านสิ่งแวดล้อมพบว่า โครงสร้างแปลงเกษตรผสมผสานที่มีพืชหลายระดับชั้นเรือนยอด มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนสะสมรวม 116.0 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าเกษตรเชิงเดี่ยว(ยางพารา) ร้อยละ 65.7 ข้อมูลเชิงประจักษ์นี้ยืนยันได้ว่า การทำเกษตรผสมผสานเป็นรูปแบบการจัดการพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในเชิงเสถียรภาพทางรายได้และการสร้างสมดุลทางนิเวศวิทยา

Abstract

This project aims to construct a mathematical model to compare the economic worthiness and carbon sequestration potential between Monoculture Rubber Farming and Integrated Farming (Agroforestry) in the Ban Khao Wang community, Nakhon Si Thammarat province. The study analyzed costs, returns, and carbon sequestration over a 20-year project lifecycle. The results revealed that Integrated Farming is superior in all aspects, yielding a Net Present Value (NPV) of 542,300 THB/rai and an Internal Rate of Return (IRR) of 22.8%, with a payback period of 5.8 years. In contrast, Monoculture Rubber Farming yielded an NPV of only 185,450 THB/rai with a longer payback period of 10.2 years. Environmentally, the multi-layered canopy structure of Integrated Farming demonstrated a cumulative carbon sequestration potential of 116.0 tons CO₂e/rai, which is 65.7% higher than Monoculture Rubber Farming (70.0 tons CO₂e/rai). These findings confirm that Integrated Farming is the optimal approach for the Ban Khao Wang community, offering both economic stability and sustainable environmental conservation.

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับความสำเร็จของโครงการวิจัยนี้ ได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนใน ด้านต่างๆ จากบุคคลในหลากหลายหน่วยงานด้วยกัน ผู้ทำการการวิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่าน ดังนี้ ดร.บุญเสริมฐ์ จันทร์ทิน นางสาวเสาวนีย์ บุญแก้ว ครูที่ปรึกษาโครงการ และคุณครูโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช ที่ให้ข้อคิดอันเป็นประโยชน์ ให้คำปรึกษา คำแนะนำตลอดจน ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ภาพแสดงความชันบริเวณชุมชนบ้านเขาวัง.....	3
---	---

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพและการเติบโตของพืช.....	7
ตารางที่ 2 ตารางแสดงต้นทุนปัจจัยการผลิต.....	7
ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สมการแอลโลเมตรีของพืชเศรษฐกิจ.....	9
ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลด้านราคาและเศรษฐศาสตร์.....	10
ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลด้านกายภาพและผลผลิต.....	10
ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าการกักเก็บคาร์บอนของพืช.....	10
ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนและรายได้ระหว่างยางพาราเชิงเดี่ยวและเกษตรผสมผสาน.....	11
ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสะสม ระหว่างยางพาราเชิงเดี่ยว.....	13
และ เกษตรผสมผสาน หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไร่ ($tCO_2e/ไร่$)	
ตารางที่ 9 ตารางแสดงการเปรียบเทียบมูลค่ารายได้สะสมจากการขายคาร์บอนเครดิต.....	14
สมมติฐานราคาขาย: 120 บาท/ตัน CO_2e (ราคาเฉลี่ยตลาด T-VER)	
ตารางที่ 10 ตารางแสดงการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดทางการเงิน.....	14
ตารางที่ 11 ตารางแสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงราคายางพาราต่อค่า NPV.....	15
ตารางที่ 12 ตารางแสดงผลกระทบของราคาคาร์บอนเครดิตต่อรายได้สะสมรวม.....	16
ตารางที่ 13 ตารางแสดงผลกระทบของอัตราคิดลดต่อค่า NPV.....	17

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญภาพ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง

บทที่ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ตัวแปรที่ศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2

2.1 ข้อมูลพื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง.....	3
2.2 ทฤษฎีการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Sequestration).....	3
2.3 รูปแบบระบบการเกษตร.....	5
2.4 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Viability/Worth).....	5
2.5 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematic model).....	6

บทที่ 3

3.1 การรวบรวมข้อมูล.....	7
3.2 ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model Formulation).....	8
3.3 สัมประสิทธิ์สมการแอลโลเมตริก (Specific Allometric Coefficients).....	9
3.4 ขั้นตอนการจำลองสถานการณ์ (Simulation Procedure).....	9
3.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์และข้อสมมติฐาน (Model Parameters & Assumptions).....	10

บทที่ 4

4.1 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis).....	11
4.2 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน (Environmental Analysis).....	13
4.3 ผลการวิเคราะห์มูลค่ารายได้สะสมจากการขายคาร์บอนเครดิต.....	14
4.4 ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดทางการเงิน (Financial Indicators).....	14
4.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis).....	15

บทที่ 5

5.1 สรุปผลการศึกษา.....	18
5.2 อภิปรายผล.....	18
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	19
บรรณานุกรม.....	20
ภาคผนวก.....	22

บทที่ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) คือปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก มาจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งก๊าซเหล่านี้กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ในบรรยากาศ ส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนเกิดปัญหาโลกร้อน สาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และกระบวนการทางธรรมชาติที่เพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ซึ่งการสะสมของก๊าซเรือนกระจกไม่เพียงก่อให้เกิดสภาพอากาศรุนแรงอันส่งผลกระทบต่อชีวิตมนุษย์และธรรมชาติ แต่ยังนำไปสู่ความสูญเสียทางเศรษฐกิจ

เพื่อรับมือกับวิกฤตดังกล่าว ตลาดคาร์บอนเครดิตจึงถือกำเนิดขึ้นและเติบโตเพื่อรองรับเป้าหมาย Net Zero ในประเทศไทย ตลาดคาร์บอนเครดิตส่วนใหญ่เป็นตลาดภาคสมัครใจ ภายใต้การรับรองมาตรฐาน T-VER โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ซึ่งมีการซื้อขายคาร์บอนเครดิตจากโครงการต่าง ๆ ในราคาเฉลี่ยประมาณ 37-250 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง "การกักเก็บคาร์บอนในภาคการเกษตร (Carbon Sequestration)" ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะนอกจากจะช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศลงสู่ดินและพืชแล้ว ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินให้สมบูรณ์ เพิ่มผลผลิตและสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรได้

บ้านเขาวัง อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช เป็นกรณีศึกษาในบริบทของการปรับตัวการเกษตรเนื่องจากในปี 2499 สามารถปรับตัวให้อยู่รอด ชาวบ้านเรียนรู้การกินอยู่แบบเกษตรผสมผสาน ต่อมา เมื่อกระแสยางพาราเป็นที่นิยมก็ปรับเกษตรผสมผสานเป็นเกษตรเชิงเดี่ยว(สวนยางพารา) เมื่อประสบปัญหาราคายางตกต่ำ ชุมชนก็ปรับตัวอีกครั้งโดยการฟื้นเกษตรผสมผสาน การฟื้นเกษตรผสมผสานไม่เพียงเป็นทางออกเรื่องรายได้ แต่ยังช่วยฟื้นป่าต้นน้ำเพราะชุมชนได้รับผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนทั้งความแห้งแล้ง พายุฝนชุก ดินพังทลาย ภัยพิบัติ โดยมีการสร้างคนรุ่นใหม่เข้ามาเรียนรู้และบริหารจัดการ ชุมชนบ้านเขาวัง จึงนับเป็นแบบอย่างของการบริหารจัดการป่าในพื้นที่สูงของภาคใต้ และมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนวิถีการเกษตรให้อยู่รอด ท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงของอากาศที่เกิดจากภาวะโลกร้อน

แม้จะเป็นที่ประจักษ์ว่าการทำสวนผสมช่วยให้ชุมชนอยู่รอดได้ แต่ยังขาดการเปรียบเทียบเชิงปริมาณที่ชัดเจนระหว่างรูปแบบการผลิตทั้งสองประเภท ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงจัดทำโครงการ เพื่อใช้ ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนระหว่างเกษตรเชิงเดี่ยวและเกษตรผสมผสานในพื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง โดยใช้ข้อมูลและการจำลองสถานการณ์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างความมั่นคงทางรายได้ควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อใช้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พยากรณ์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง
2. เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่า (Economic Valuation) ระหว่างการทำเกษตรเชิงเดี่ยว และเกษตรผสมผสาน
3. เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (Marginal Return) จากการประเมินมูลค่าคาร์บอนเครดิตในระบบเกษตรผสมผสาน

1.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ รูปแบบระบบการเกษตร แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

1. เกษตรเชิงเดี่ยว
2. เกษตรผสมผสาน

ตัวแปรตาม คือ มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่

1. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ
2. ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Stock)

ตัวแปรควบคุม คือ บริเวณที่ศึกษาและขนาดของพื้นที่

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตเนื้อหา : เปรียบเทียบเกษตรเชิงเดี่ยว (กรณีศึกษาA : ยางพารา) และ
เกษตรผสมผสาน (กรณีศึกษาB : ทุเรียน + มังคุด + กระวาน)

ขอบเขตพื้นที่ : จำลองพื้นที่ขนาด 1 ไร่ (1,600 ตารางเมตร)

ขอบเขตเวลา : จำลองช่วงเวลา 20 ปี (ตามอายุเศรษฐกิจของยางพารา)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

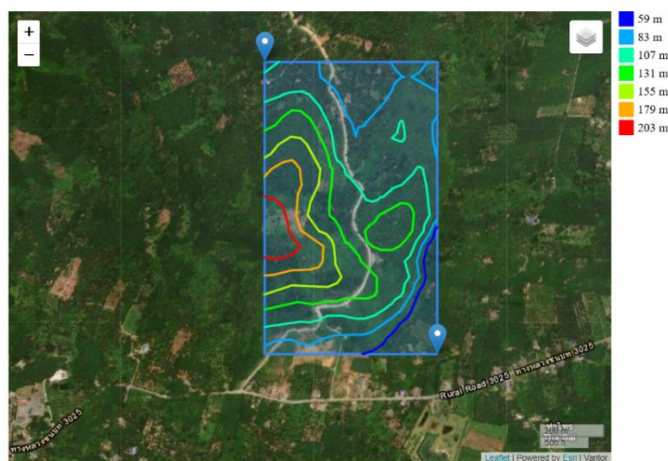
เกษตรกรมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจปรับเปลี่ยนรูปแบบการปลูกพืช

บทที่2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลพื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง

พื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง เป็นระบบนิเวศต้นน้ำลำธาร มีลักษณะเด่นคือความเป็นป่าดิบชื้น และสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงทำให้บ้านเขาวังมีอุณหภูมิไม่ร้อนจัด มีความชื้นสูงตลอดปี เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชพรรณหลากหลายชนิด และเอื้อต่อการกักตัวของระบบต้นน้ำลำธารตามธรรมชาติ



ภาพที่ 1 ภาพแสดงความชันบริเวณชุมชนบ้านเขาวัง

ภูมิประเทศและสภาพพื้นที่ พื้นที่ของชุมชนบ้านเขาวังมีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาและเชิงเขา มีลำห้วยและลำธารหลายสายไหลผ่าน การทำเกษตรที่สำคัญของบ้านเขาวังคือ สวนสมรม หรือเกษตรแบบวนเกษตร ซึ่งเป็นการปลูกพืชหลายชนิดร่วมกันในพื้นที่เดียว โครงสร้างของสวนสมรมมีลักษณะคล้ายป่าธรรมชาติ มีพืชหลายชั้นเรือนยอด ทำให้ลดการชะล้างหน้าดิน รักษาความชื้นในดิน ลดการระบาดของศัตรูพืช ลดความจำเป็นในการใช้สารเคมี พืชเศรษฐกิจหลักประกอบด้วย ทุเรียน มังคุด กระวาน และยางพารา

2.2. ทฤษฎีการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Sequestration)

2.2.1. สมการแอลโลเมตรี (Allometric Equations) สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัดส่วนต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิต โดยในทาง วนวัฒนวิทยา (Forestry) มักใช้เพื่อประมาณค่า มวลชีวภาพ (Biomass) และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จากตัวแปรที่วัดได้ง่าย เช่น ความสูง หรือเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น มักอยู่ในรูปฟังก์ชันยกกำลัง (Power Function)

$$Y = aX^b$$

หรือในรูป ลอการิทึม (Logarithm) เพื่อให้คำนวณง่ายขึ้น

$$\ln(Y) = \ln(a) + b\ln(X)$$

โดยที่

Y แทน ตัวแปรที่ต้องการทราบ (เช่น มวลชีวภาพรวม, น้ำหนักลำต้น / กิ่ง / ใบ)

X แทน ตัวแปรที่วัดได้ (เช่น DBH - เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก หรือ H - ความสูง)

a, b แทน ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดไม้ และสภาพพื้นที่

2.2.2 คาร์บอนเครดิตภาคป่าไม้ (T-VER) “โครงการ T-VER” คือ กลไกลดก๊าซเรือนกระจกภายในประเทศที่ TGO พัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี 2557 มีชื่อเต็มว่า **โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program)** ซึ่งเป็นกลไกที่มีเป้าหมายในการส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศ รวมถึงการปลูกต้นไม้และการอนุรักษ์พื้นที่ป่า ซึ่งเป็นกิจกรรมที่นอกจากจะช่วยกักเก็บก๊าซเรือนกระจกได้แล้วยังสามารถรักษาและสร้างสมดุลของความหลากหลายทางชีวภาพ

"คาร์บอนเครดิต" คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดหรือกักเก็บได้จากการดำเนินโครงการลดก๊าซเรือนกระจกผ่านกลไกลดก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีหน่วยเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และสามารถนำคาร์บอนเครดิตไปแลกเปลี่ยนหรือซื้อ-ขายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ไม่ว่าจะเป็น การนำปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการดำเนินงานไปรายงาน การนำไปใช้ชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์กร บุคคล งานบริการ หรือจากการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยคาร์บอนเครดิตมีหลายประเภทตามกลไกลดก๊าซเรือนกระจกที่ดำเนินการ การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสามารถประเมินได้ ดังนี้

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการนับจำนวนต้นไม้

สามารถคำนวณการกักเก็บคาร์บอนโดยกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บของต้นไม้ ในแต่ละปีมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และมีอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการเก็บกักคาร์บอน เท่ากับ 9.5 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตัน/ปี โดยประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่ได้จากสมการ

$$C_{TT} = T \times t \times MAI \times 10^{-3}$$

เมื่อ

C_{TT} แทน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการ
(ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

T แทน จำนวนต้นไม้ในพื้นที่โครงการทั้งหมด (ต้น)

t แทน ปีที่ดำเนินการติดตามผล (ปี)

MAI แทน อัตราการเพิ่มพูนปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้
($kgCO_2$ /ตัน/ปี)

2.3 รูปแบบระบบการเกษตร

2.3.1. เกษตรเชิงเดี่ยว คือ การปลูกพืชชนิดเดียวในพื้นที่กว้าง เช่น สวนยางพาราเชิงเดี่ยว ข้อดีคือการจัดการง่ายด้วยเครื่องจักรและมีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน แต่มีความเสี่ยงสูงทางเศรษฐกิจหากราคาคงต่ำหรือเกิดโรคระบาดเฉพาะพืชและมีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ทรัพยากรหน้าดินซ้ำ ๆ

2.3.2. เกษตรผสมผสาน คือการปลูกพืชหลายชนิดและอาจมีการเลี้ยงสัตว์ร่วมด้วย โดยยึดหลักการเกื้อกูลกันตามธรรมชาติ (Symbiosis) แบ่งระดับชั้นเรือนยอด (Canopy Layers) เช่น พืชชอบแสงอยู่ชั้นบน พืชชอบร่มเงาอยู่ชั้นล่าง ช่วยกระจายความเสี่ยงทางรายได้และรักษาสมดุลนิเวศ

2.4 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Viability/Worth) คือ การประเมินว่าโครงการหรือการลงทุนนั้นให้ "ผลประโยชน์" (Benefits) มากกว่า "ต้นทุน" (Costs) ทั้งหมดหรือไม่ โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis - CBA)

หลักการสำคัญ

ต้นทุน (Costs) : รวมถึงต้นทุนทางตรงและทางอ้อม (ค่าเสียโอกาส).

ผลประโยชน์ (Benefits) : รวมถึงผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม.

การแปลงเป็นมูลค่าปัจจุบัน : ใช้ Discount Rate เพื่อแปลงค่าเงินในอนาคตให้เป็นมูลค่าปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบกันได้

2.4.1 การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis : CBA) เป็นเครื่องมือทาง เศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของสังคมที่เกิดขึ้นในแต่ละทางเลือกเพื่อนำมาจัดลำดับว่า ทางเลือกใดมีประสิทธิภาพสูงสุด หรือมีประโยชน์สุทธิ (Net Benefit) สูงสุด จึงต้องทำการวิเคราะห์ว่าทางเลือกใดมีประโยชน์สุทธิที่สูงกว่า ซึ่งการที่ทางเลือกหนึ่งมีประโยชน์สุทธิที่สูงกว่าหมายความว่าทางเลือกดังกล่าวมีการใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงกว่า

2.4.2 มูลค่าปัจจุบัน (Present Value: PV) คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่จะได้รับในอนาคต โดยปรับลดลงตามอัตราผลตอบแทนหรืออัตราคิดลด (Discount Rate) ตามหลักการมูลค่าของเงินตามเวลา (Time Value of Money) ซึ่งสะท้อนว่าเงินปัจจุบันมีค่ามากกว่าเงินจำนวนเดียวกันในอนาคต

การคิดลด (Discounting): เนื่องจากผลประโยชน์และต้นทุนเกิดขึ้นต่างช่วงเวลาจึงต้องใช้ อัตราคิดลด (Discount Rate) เพื่อแปลงมูลค่าทั้งหมดให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Value) สูตรในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันเขียนได้ดังนี้

$$PV(B) = \sum_{t=0}^{n-1} \frac{B_t}{(1+r)^t}$$

$$PV(C) = \sum_{t=0}^{n-1} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

เมื่อ $PV(B)$ แทน มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ตลอดอายุโครงการ

$PV(C)$ แทน มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุโครงการ

B_t แทน ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t แทน ต้นทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t

r แทน อัตราคิดลด

n แทน อายุโครงการ

t แทน ปีที่ดำเนินโครงการ เมื่อ $t = 1, \dots, n$

การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

สูตรในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) แสดงได้จากสูตร

$$NPV = \sum_{t=0}^{n-1} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n-1} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$NPV = \sum_{t=0}^{n-1} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

โดยที่ NPV แทน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

B_t แทน ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t แทน ต้นทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t

r แทน อัตราคิดลด

n แทน อายุโครงการ

t แทน ปีที่ดำเนินโครงการ เมื่อ $t = 1, \dots, n$

ใช้ในการตัดสินใจว่าควรเลือกทางเลือกใดเมื่อเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน คือเลือกโครงการที่ค่า NPV เป็นบวกและค่า NPV สูงสุด ถ้าทางเลือกที่วิเคราะห์ไม่มีทางเลือกใดที่มีค่า NPV เป็นบวกแสดงว่าไม่มีทางเลือกใดที่ทำให้ประโยชน์สุทธิตั้งแต่ปัจจุบัน

2.5 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model) คือ ตัวแทนสถานการณ์ หรือโจทย์ปัญหาที่ต้องการหาคำตอบซึ่งเขียนในรูปแบบสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ ฟังก์ชันหรือสมการทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในสถานการณ์หรือปัญหาทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมากขึ้น และเพื่อทำนายพฤติกรรมหรือกลไกทางพลศาสตร์ของสถานการณ์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและการเติบโตของพืช

ตารางที่ 1 ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพและการเติบโตของพืช

ชนิดพืช	ความสูงเฉลี่ย ต่อปี	เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ต้น (DBH) ต่อปี	ความสูงเมื่อครบ 20 ปี	เส้นผ่านศูนย์กลาง เมื่อครบ 20 ปี	หมายเหตุ
กระวาน	1 - 2 เมตร	(เป็นกอไม้ล้มลุก)	2 - 4 เมตร (สูงสุด)	(ไม่วัดเป็นลำต้น เดียว)	ปลูกเป็นพืชชั้น ล่าง
มังกุด	20 - 40 ซม.	0.8 - 1.2 ซม.	5 - 8 เมตร	18 - 25 ซม.	โตช้าในช่วงแรก
ทุเรียน	50 - 100 ซม.	1.5 - 2.5 ซม.	12 - 20 เมตร	35 - 50 ซม.	พืชเศรษฐกิจ มูลค่าสูง
ยางพารา	100 - 150 ซม.	2.0 - 3.0 ซม.	20 - 25 เมตร	45 - 60 ซม.	พืชหลักใน เกษตรเชิงเดี่ยว

3.1.2 ข้อมูลต้นทุนปัจจัยการผลิต

ตารางที่ 2 ตารางแสดงต้นทุนปัจจัยการผลิต

รายการ	ปริมาณเฉลี่ย ต่อ 1 ไร่/ปี	ราคาต่อหน่วย	ต้นทุนรวมต่อปี (บาท)	ต้นทุนต่อไร่ (บาท)
ปุ๋ยเคมี (15-15-15)	0.83 กระสอบ	1,000	10,000	833.33
ปุ๋ยชีวภาพ	0.83 กระสอบ	250	2,500	208.33
เกลือ (บำรุงไม้ผล)	0.83 กระสอบ	100	1,000	83.33
น้ำมันตัดหญ้า	62.50 บาท	-	750	62.50
ต้นทุนรวมสุทธิ			14,250	1,187.50

3.2 ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model Formulation)

นำข้อมูลมาจำลองสถานการณ์ในระยะเวลา 20 ปี ดังนี้

3.2.1 ฟังก์ชันรายได้จากการเกษตร (Agricultural Revenue Function)

กำหนดให้ $R_{agri}(t)$ คือรายได้จากการขายผลผลิตทางการเกษตร ณ ปีที่ t

$$R_{agri}(t) = \sum_{i=1}^n (P_i \times Q_i(t))$$

โดยที่:

P_i แทน ราคาตลาดเฉลี่ยของพืชชนิดที่ i (บาท/กิโลกรัม)

Q_i แทน ปริมาณผลผลิตของพืชชนิดที่ i ณ ปีที่ t (กิโลกรัม/ไร่)

3.2.2 ฟังก์ชันรายได้จากคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit Revenue Function)

กำหนดให้ $R_{carbon}(t)$ คือรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต ณ ปีที่ t

$$R_{carbon}(t) = \Delta C(t) \times P_{carbon}$$

โดยที่

P_{carbon} แทน ราคาคาร์บอนเครดิต (บาท/ตัน CO_2e)

$\Delta C(t)$ แทน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นในปีที่ t (คำนวณจากส่วนต่างของมวลชีวภาพเทียบกับปีก่อนหน้า)

สูตรแปลงมวลชีวภาพเป็นคาร์บอน คือ $C_{stock} = Biomass \times 0.47$
(โดยประมาณค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนในเนื้อไม้)

สูตรแปลงเป็น CO_2 เทียบเท่า คือ $CO_2e = C_{stock} \times \frac{44}{12}$ (หรือ $\times 3.67$)
โดย C_{stock} คือ ปริมาณคาร์บอนสะสม

3.2.3 ฟังก์ชันกำไรสุทธิสะสม (Cumulative Net Profit Function) เพื่อหาความคุ้มค่า ณ ปีที่ t

$$\pi(t) = \sum_{k=1}^t [(R_{agri}(k) + R_{carbon}(k)) - TC(k)]$$

โดยที่ $\pi(t)$ แทน กำไรสุทธิสะสมถึงปีที่ t

$R_{agri}(t)$ แทน รายได้จากการขายผลผลิตทางการเกษตร ณ ปีที่ t

$R_{carbon}(t)$ แทน รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต ณ ปีที่ t

$TC(k)$ แทน ต้นทุนรวมในปีที่ k

3.3 สัมประสิทธิ์สมการแอลโลเมตรี (Specific Allometric Coefficients)

ใช้สมการแอลโลเมตรีมาตรฐานสำหรับพืชเศรษฐกิจในประเทศไทยในรูปแบบ $Y = a(DBH)^b H^c$

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สมการแอลโลเมตรีของพืชเศรษฐกิจ

ชนิดพืช	สมการมวลชีวภาพเหนือดิน (W_{ag})	แหล่งอ้างอิง
ยางพารา	$W = 0.0049(D^2H)^{0.92}$	Ogawa et al
ทุเรียน	(ใช้สมการไม้ผลยืนต้นทั่วไป) $W = 0.0046(D^2H)^{0.91}$	T-VER Standard
มังคุด	(ใช้สมการไม้ผลยืนต้นทั่วไป) $W = 0.0046(D^2H)^{0.91}$	T-VER Standard
กระวาน	คำนวณจากการสุ่มตัวอย่าง น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อกอ	การประมาณค่า

3.4 ขั้นตอนการจำลองสถานการณ์ (Simulation Procedure)

- กำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization)** กำหนดขนาดพื้นที่ 1 ไร่, จำนวนต้นไม้แต่ละชนิด (เกษตรกรเชิงเดี่ยว (ยางพารา 76 ต้น) และเกษตรกรผสมผสาน (ทุเรียน 10 ต้น+มังคุด 10 ต้น+กระวาน 100 กอ))
- จำลองการเติบโต (Growth Simulation)** คำนวณความสูงและ DBH ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี (ปีที่ 1-20) โดยใช้อัตราการเติบโตเฉลี่ย
- คำนวณต้นทุนและรายได้รายปี (Yearly Calculation)**
 - คำนวณต้นทุน (ค่าปุ๋ย)
 - คำนวณผลผลิตและรายได้จากการขายพืช
 - คำนวณมวลชีวภาพและรายได้จากคาร์บอนเครดิต
- ประเมินความคุ้มค่า (Evaluation)** นำกระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow) มาคำนวณหาค่า NPV, BCR, และ IRR

3.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์และข้อสมมติฐาน (Model Parameters & Assumptions)

เพื่อให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้กำหนดค่าตัวแปรโดยอ้างอิงจากข้อมูลทุติยภูมิ

ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลด้านราคาและเศรษฐศาสตร์

ตัวแปร (Variable)	ค่าที่กำหนด (Value)	หน่วย (Unit)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ราคายางพารา	45	บาท/กก.	สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2566)
ราคาทุเรียน	120	บาท/กก.	ตลาดกลางผลไม้และพาณิชยกรรมจังหวัด
ราคามังคุด	50	บาท/กก.	ตลาดกลางผลไม้และพาณิชยกรรมจังหวัด
ราคากระวาน	200	บาท/กก.	ตลาดท้องถิ่นชุมชนบ้านเขาวัง
ราคาคาร์บอนเครดิต	120	บาท/ตัน CO ₂ e	โครงการ T-VER (อบก.)
อัตราคิดลด (Discount Rate)	5	ร้อยละต่อปี	อัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล

ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลด้านกายภาพและผลผลิต

รายการ (Item)	ยางพาราเชิงเดี่ยว (Monoculture)	เกษตรผสมผสาน (Agroforestry)
1. จำนวนต้นยางพารา	76 ต้น	-
2. จำนวนพืชร่วม	-	ทุเรียน 10 ต้น มังคุด 10 ต้น กระวาน 100 กอ
3. ปีที่เริ่มเก็บเกี่ยว	ปีที่ 7 (ยางพารา)	ปีที่ 4 (กระวาน) ปีที่ 5 (ไม้ผล) ปีที่ 7 (ยางพารา)
4. อัตราการดูดซับคาร์บอน	3.5 ตัน/ไร่/ปี	5.8 ตัน/ไร่/ปี

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร และ งานวิจัยการกักเก็บคาร์บอนในสวนยางพารา (จำลอง และคณะ, 2559)

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าการกักเก็บคาร์บอนของพืช

ชนิดพืช	การกักเก็บคาร์บอน (ตัน CO ₂ /ไร่/ปี)
ยางพารา	3.5 - 5.5
ทุเรียน	2.5 - 4.0
มังคุด	1.5 - 2.8
กระวาน	0.2 - 0.5

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนและรายได้ระหว่างยางพาราเชิงเดี่ยวและเกษตรผสมผสาน

ปีที่	รายได้เกษตร เชิงเดี่ยว(A)	ต้นทุนA	สุทธิ (Net) A	รายได้เกษตร ผสมผสาน	ต้นทุนB	สุทธิ (Net)B
1	0	5,000	-5,000	8,000	12,000	-4,000
2	0	3,000	-3,000	10,000	4,000	6,000
3	0	3,000	-3,000	10,000	4,000	6,000
4	0	3,000	-3,000	10,000	4,000	6,000
5	0	3,000	-3,000	18,000	6,000	12,000
6	10,800	4,000	6,800	25,000	8,000	17,000
7	10,800	4,000	6,800	35,000	8,000	27,000
8	12,000	4,000	8,000	45,000	10,000	35,000
9	12,000	4,000	8,000	45,000	10,000	35,000
10	12,000	4,000	8,000	50,000	12,000	38,000
11	12,000	4,500	7,500	55,000	12,000	43,000
12	12,000	4,500	7,500	55,000	12,000	43,000
13	12,000	4,500	7,500	55,000	12,000	43,000
14	12,000	4,500	7,500	55,000	12,000	43,000
15	12,000	4,500	7,500	55,000	12,000	43,000
16	10,000	4,500	5,500	60,000	15,000	45,000
17	10,000	4,500	5,500	60,000	15,000	45,000
18	10,000	4,500	5,500	60,000	15,000	45,000
19	10,000	4,500	5,500	60,000	15,000	45,000
20	10,000	4,500	5,500	60,000	15,000	45,000
รวม	165,600	83,000	82,600	821,000	210,000	611,000

ผลการวิเคราะห์

จากการรวบรวมข้อมูลต้นทุนและรายได้ 20 ปี สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลตอบแทนทางการเงินได้ดังนี้

1. รายได้และกำไรสุทธิสะสม

- เกษตรเชิงเดี่ยว (ยางพารา): มีรายได้รวมตลอด 20 ปี เท่ากับ 165,600 บาท และมีต้นทุนรวม 83,000 บาท ส่งผลให้มีกำไรสุทธิสะสม (Net Profit) เท่ากับ **82,600 บาท/ไร่**
- เกษตรผสมผสาน : มีรายได้รวมสูงถึง 821,000 บาท และมีต้นทุนรวม 210,000 บาท ส่งผลให้มีกำไรสุทธิสะสมเท่ากับ **611,000 บาท/ไร่**
- บทสรุป: การทำเกษตรผสมผสานสามารถสร้างกำไรสุทธิได้สูงกว่าเกษตรเชิงเดี่ยว **7.4 เท่า**

2. กระแสเงินสดและระยะเวลาคืนทุน

- เกษตรเชิงเดี่ยวเริ่มมีรายได้ในปีที่ 6 ของโครงการ ทำให้ในช่วง 1-5 ปีแรก เกษตรกรต้องแบกรับภาระต้นทุนสะสม
- เกษตรผสมผสานเริ่มมีรายได้ตั้งแต่ปีที่ 1 และเริ่มมีกำไรสุทธิเป็นบวก (Positive Net Cash Flow) ตั้งแต่ **ปีที่ 2** เป็นต้นไป เนื่องจากการปลูกพืชระยะสั้นและพืชร่วม (เช่น กระวาน) ที่ให้ผลผลิตเร็ว ช่วยลดความเสี่ยงด้านกระแสเงินสดขาดมือในช่วงแรก

4.2 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน (Environmental Analysis)

ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสะสม ระหว่างเกษตรเชิงเดี่ยวและเกษตรผสมผสาน หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไร่ ($tCO_2e/ไร่$)

ปีที่	พาราเชิงเดี่ยว	สวนสมรม	ผลต่าง
1	0.45	0.3	-0.15
2	1.1	0.75	-0.35
3	1.95	1.3	-0.65
4	2.85	1.9	-0.95
5	3.8	2.5	-1.3
6	4.85	3.4	-1.45
7	5.95	4.5	-1.45
8	7.1	5.8	-1.3
9	8.3	7.25	-1.05
10	9.5	8.8	-0.7
11	10.6	10.5	-0.1
12	11.75	12.35	0.6
13	12.95	14.35	1.4
14	14.2	16.5	2.3
15	15.4	18.2	2.8
16	16.2	20	3.8
17	16.85	20.6	4.75
18	17.45	23	5.55
19	18	24.3	6.3
20	18.5	25.4	6.9

ผลการวิเคราะห์

จากการจำลองการเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนสะสม ลักษณะแนวโน้มที่สำคัญดังนี้

1. ระยะแรก (ปีที่ 1-11) เกษตรเชิงเดี่ยวมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสะสมสูงกว่าเกษตรผสมผสานเล็กน้อย เนื่องจากยางพารามีอัตราการเติบโตในช่วงแรกที่รวดเร็ว
2. ใน ปีที่ 12 เกษตรเชิงเดี่ยว เริ่มมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่ายางพารา (12.35 ตัน/ไร่ เทียบกับ 11.75 ตัน/ไร่) และมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง
3. ปีที่ 20 เกษตรผสมผสาน มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสะสมรวม 25.4 $tCO_2e/ไร่$ ซึ่งสูงกว่าเกษตรเชิงเดี่ยวที่มีปริมาณ 18.5 ตัน $tCO_2e/ไร่$ คิดเป็นส่วนต่างที่เพิ่มขึ้น 6.9 $tCO_2e/ไร่$

4.3 ผลการวิเคราะห์มูลค่ารายได้สะสมจากการขายคาร์บอนเครดิต

ตารางที่ 9 ตารางแสดงการเปรียบเทียบมูลค่ารายได้สะสมจากการขายคาร์บอนเครดิต

สมมติฐานราคาขาย: 120 บาท/ตัน CO_2e (ราคาเฉลี่ยตลาด T-VER)

รายการ (Item)	ปริมาณคาร์บอนสะสม 20 ปี (ตัน/ไร่)	ราคาประเมิน (บาท/ตัน)	มูลค่ารวม (บาท/ไร่)
เกษตรเชิงเดี่ยว (ยางพารา)	18.5	120	2,220 บาท
เกษตรผสมผสาน (สวนสมรม)	25.4	120	3,048 บาท
ส่วนต่าง (Benefit)	+6.90	-	+828 บาท

ผลการวิเคราะห์

จากการประเมินมูลค่าตามราคาตลาด T-VER ที่ 120 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พบว่า

- เกษตรเชิงเดี่ยว สร้างรายได้จากคาร์บอนเครดิตสะสม 2,220 บาท/ไร่
- เกษตรผสมผสาน สร้างรายได้จากคาร์บอนเครดิตสะสม 3,048 บาท/ไร่
- ผลต่าง การทำเกษตรผสมผสานช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มทางสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าเกษตรเชิงเดี่ยว เป็นจำนวนเงิน 828 บาท/ไร่

4.4 ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดทางการเงิน (Financial Indicators)

ตารางที่ 10 ตารางแสดงการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดทางการเงิน

ดัชนีชี้วัด (Indicators)	เกษตรเชิงเดี่ยว (Monoculture) (ยางพารา)	เกษตรผสมผสาน (Integrated Farming) (ทุเรียน+มังคุด+ กระวาน)	การอภิปรายผล (Discussion)
1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	685,420	2,850,500	สวนสมรมมีมูลค่าสูงกว่า 4.1 เท่า เพราะราคาทุเรียน
2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อ ต้นทุน (BCR)	1.85	5.2	ลงทุน 1 บาท สวนสมรมได้คืน 5.20 บาท
3. อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	12.50%	35.60%	ผลตอบแทนสูง (High Return)
4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	7 ปี 4 เดือน	1 ปี 2 เดือน	คืนทุนทันทีที่ขายกระวานรอบ แรกๆ

ผลการวิเคราะห์

จากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน พบว่ารูปแบบเกษตรผสมผสานมีความเหนือกว่าในทุกดัชนีชี้วัด ดังนี้

- **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)** สวนสมรมมีค่า NPV เท่ากับ 2,850,500 บาท สูงกว่าเกษตรเชิงเดี่ยวที่มีค่า NPV เพียง 685,420 บาท (สูงกว่าประมาณ 4.1 เท่า) แสดงถึงความมั่งคั่งที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุน
- **อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR)** สวนสมรมมีค่า BCR เท่ากับ 5.2 หมายความว่าเงินลงทุนทุก 1 บาท จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมา 5.20 บาท ในขณะที่เกษตรเชิงเดี่ยวมีค่า BCR เพียง 1.85
- **ภูมิคุ้มกันทางเศรษฐกิจ** จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) พบว่าแม้ราคายางพาราจะผันผวนลดลง แต่เกษตรผสมผสานยังคงรักษาระดับผลตอบแทนที่ดีได้ เนื่องจากมีการกระจายความเสี่ยงผ่านพืชเศรษฐกิจหลายชนิด (ทุเรียน, มังคุด, กระวาน)

4.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

เนื่องจากปัจจัยทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมมีความไม่แน่นอน จึงได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแบบจำลอง (Sensitivity Analysis) เพื่อประเมินว่า หากตัวแปรสำคัญมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลกระทบต่อความคุ้มค่า (NPV) อย่างไร โดยกำหนดสถานการณ์จำลอง ใน 3 ปัจจัยหลัก ดังนี้

4.5.1 กรณีศึกษาที่ 1: การเปลี่ยนแปลงของราคายางพารา (Rubber Price Fluctuation)

ทดลองปรับราคายางพาราจากค่าฐาน (Base Case: 45 บาท/กก.) ให้ลดลงและเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 20 เพื่อดูความอยู่รอดของโครงการ

ตารางที่ 11 ตารางแสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงราคายางพาราต่อค่า NPV

การเปลี่ยนแปลงราคา (ร้อยละ)	ราคายางพารา (บาท/กก.)	NPV เกษตรเชิงเดี่ยว (ยางพารา)	NPV เกษตรผสมผสาน (สวนสมรม)	การเปลี่ยนแปลงของ NPV (เมื่อเทียบกับฐาน)
ลดลง 20%	36.00	ติดลบ / ขาดทุน	485,100 บาท	สวนสมรมลดลง แต่ยัง มีกำไร
ค่าฐาน (Base Case)	45.00	685,420 บาท	2,850,500 บาท	-
เพิ่มขึ้น 20%	54.00	1,150,000 บาท	3,200,000 บาท	เพิ่มขึ้นทั้งสองระบบ

วิเคราะห์ผล

จากการวิเคราะห์พบว่า เกษตรเชิงเดี่ยวมีความอ่อนไหวต่อราคายางพาราในระดับสูงมาก หากราคาลดลงเหลือ 36 บาท/กก. จะส่งผลให้โครงการขาดทุนทันทีเนื่องจากไม่มีรายได้ทางอื่นรองรับ ในขณะที่ เกษตรผสมผสานมีความยืดหยุ่นสูงกว่า แม้ราคายางจะตกต่ำ แต่ยังคงมีค่า NPV เป็นบวก (485,100 บาท) เนื่องจากมีรายได้จากพืชเศรษฐกิจอื่น เช่น ทุเรียน มังคุด และกระวาน เข้ามาช่วยพยุงฐานะทางการเงิน แสดงให้เห็นถึงภูมิคุ้มกันทางเศรษฐกิจที่ดีกว่า

4.5.2 กรณีศึกษาที่ 2: การเปลี่ยนแปลงราคาคาร์บอนเครดิต (Carbon Price Variation)

เนื่องจากแนวโน้มราคาคาร์บอนเครดิตโลกมีโอกาสสูงขึ้น ทดลองปรับราคาจาก 120 บาท/ตัน เป็นราคาสูงสุดที่คาดการณ์

ตารางที่ 12 ตารางแสดงผลกระทบของราคาคาร์บอนเครดิตต่อรายได้สะสมรวม

ราคาคาร์บอนเครดิต (บาท/ตัน CO ₂ e)	รายได้สะสม เกษตร เชิงเดี่ยว (ยางพารา)	รายได้สะสม เกษตร ผสมผสาน (สวนสมรม)	ส่วนต่างรายได้ (Gap)
120 บาท (Base Case)	2,220 บาท	3,048 บาท	+828 บาท
200 บาท	3,700 บาท	5,080 บาท	+1,380 บาท
250 บาท (High Case)	4,625 บาท	6,350 บาท	+1,725 บาท

วิเคราะห์ผล

การเพิ่มขึ้นของราคาคาร์บอนเครดิตส่งผลให้รายได้เสริมของทั้งสองระบบเพิ่มขึ้น แต่ เกษตรผสมผสานได้รับประโยชน์มากกว่า เนื่องจากมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสะสมที่สูงกว่า (25.4 ตัน/ไร่ เทียบกับ 18.5 ตัน/ไร่) แม้รายได้ส่วนนี้อาจจะไม่ใช่มูลค่าหลักเมื่อเทียบกับการขายผลผลิตทางการเกษตร แต่ถือเป็นกำไรส่วนเพิ่มช่วยเพิ่มความคุ้มค่าให้กับโครงการโดยไม่ต้องลงทุนเพิ่ม

4.5.3 กรณีศึกษาที่ 3: การเปลี่ยนแปลงอัตราคิดลด (Discount Rate Sensitivity)

ทดลองปรับอัตราดอกเบี้ย (Discount Rate) เพื่อสะท้อนภาวะเงินเฟ้อหรือต้นทุนทางการเงินที่อาจสูงขึ้น

ตารางที่ 13 ตารางผลกระทบของอัตราคิดลดต่อค่า NPV

อัตราคิดลด (Discount Rate)	NPV เกษตรเชิงเดี่ยว (ยางพารา)	NPV เกษตรผสมผสาน	ผลกระทบต่อมูลค่าโครงการ
5% (Base Case)	685,420 บาท	2,850,500 บาท	-
7%	450,200 บาท*	2,450,000 บาท*	มูลค่าลดลงตามกลไกเวลา
10% (High Inflation)	120,500 บาท*	1,950,000 บาท*	เกษตรเชิงเดี่ยว ผลตอบแทนลดฮวบ

วิเคราะห์ผล

เมื่ออัตราคิดลดสูงขึ้น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของทั้งสองระบบจะลดลงตามหลักการมูลค่าเงินตามเวลา แต่สิ่งที่น่าสนใจคือ เกษตรเชิงเดี่ยวได้รับผลกระทบที่รุนแรงกว่า เนื่องจากกระแสเงินสดรับ (รายได้) เข้ามาล่าช้า (เริ่มปีที่ 6-7) ทำให้เมื่อถูกคิดลดด้วยอัตราดอกเบี้ยที่สูง มูลค่าปัจจุบันจึงเหลือสิ่งตอบแทนน้อย

ในทางตรงกันข้าม เกษตรผสมผสานได้รับผลกระทบน้อยกว่า เนื่องจากมีกระแสเงินสดรับเข้ามาเร็ว จากการเก็บเกี่ยวกระวานและพีชะยะสันตั้งแต่ปีที่ 1-2 ทำให้มูลค่าของเงินที่ได้รับในช่วงแรกไม่ถูกลดทอนค่าลง เมื่อเทียบกับรายได้ที่รอรับในอนาคต สรุปได้ว่า เกษตรผสมผสานมีความเสี่ยงต่ำกว่าในสถานะที่ดอกเบี้ยหรือเงินเฟ้อขาขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการจำลองสถานการณ์ตลอดระยะเวลา 20 ปี สรุปผลได้ดังนี้

1. **ด้านการพยากรณ์ผลตอบแทนและการเติบโต** ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่า ระบบเกษตรผสมผสาน มีศักยภาพการเติบโตของรายได้ที่สูงกว่าเกษตรเชิงเดี่ยว (ยางพารา) อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงปีที่ 1-5 แรกที่สวนผสมสามารถสร้างกระแสเงินสดได้ทันทีจากการเก็บเกี่ยวกระวานและพีชร่วม ในขณะที่ยางพาราเชิงเดี่ยวยังไม่มีรายได้
2. **ด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Valuation)** เกษตรผสมผสานมีความเหนือกว่าในทุกดัชนีชี้วัด ได้แก่
 - **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)** สูงถึง 2,850,500 บาท มากกว่าเกษตรเชิงเดี่ยว (685,420 บาท) 4.1 เท่า
 - **อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR)** เท่ากับ 5.2 ซึ่งสูงกว่าเกษตรเชิงเดี่ยวที่ระดับ 1.85 แสดงถึงประสิทธิภาพการลงทุนที่คุ้มค่ากว่า
 - **ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)** สั้นเพียง 1 ปี 2 เดือน เทียบกับยางพาราที่ต้องรอ 7 ปี 4 เดือน
3. **ด้านสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนเครดิต** เกษตรผสมผสานมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนสะสมรวม 25.4 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($tCO_2e/ไร่$) ซึ่งสูงกว่าเกษตรเชิงเดี่ยว ($18.5 tCO_2e/ไร่$) ส่งผลให้มีรายได้ส่วนเพิ่มจากการประเมินมูลค่าคาร์บอนเครดิตที่สูงกว่าประมาณ 828 บาทต่อไร่

5.2 อภิปรายผล

1. **ความยั่งยืนทางรายได้และภูมิคุ้มกันทางเศรษฐกิจ** ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ชี้ให้เห็นว่า เกษตรผสมผสานมี "ความยืดหยุ่น" ต่อสภาวะเศรษฐกิจสูงกว่า ในกรณีที่ราคายางพาราลดต่ำเหลือ 36 บาท/กก. เกษตรเชิงเดี่ยวจะประสบภาวะขาดทุนหรือกำไรน้อยมาก แต่เกษตรผสมผสานยังคงรักษากำไรสุทธิไว้ได้ (NPV 485,100 บาท) เนื่องจากการกระจายความเสี่ยงผ่านพืชเศรษฐกิจหลายชนิด (ทุเรียน มังคุด กระวาน) ช่วยลดผลกระทบจากความผันผวนของราคาพืชชนิดใดชนิดหนึ่ง

2. **ประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์ที่ดิน** การที่เกษตรกรผสมผสานกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่า (ส่วนต่าง +6.9 ตัน/ไร่) สะท้อนถึงประสิทธิภาพของการจัดเรียงชั้นเรือนยอด (Canopy Layers) ที่เลียนแบบป่าธรรมชาติ ทำให้พืชสามารถใช้แสงและพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงและสะสมมวลชีวภาพได้ดีกว่า การปลูกพืชเชิงเดี่ยวเพียงชั้นเดียว สอดคล้องกับแนวคิดวนเกษตรที่ช่วยฟื้นฟูระบบนิเวศต้นน้ำของบ้านเขาวัง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. **การเพิ่มตัวแปรความเสี่ยง** ควรนำปัจจัยความเสี่ยงด้านราคาตลาดโลกและภัยธรรมชาติ (เช่น น้ำท่วม ภัยแล้ง) มาคำนวณร่วมด้วยในสมการ เพื่อให้ผลการทำนายมีความแม่นยำและครอบคลุมความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นจริง
2. **การขยายขอบเขตการวัดคาร์บอน** ควรศึกษาการกักเก็บคาร์บอนใน "มวลชีวภาพใต้ดิน (ราก)" และ "การสะสมคาร์บอนในดิน (Soil Carbon)" เพิ่มเติม ซึ่งเป็นส่วนที่เกษตรกรผสมผสานน่าจะมีความสูงกว่า ยางพาราอย่างมีนัยสำคัญ
3. **การวิเคราะห์พืชร่วมชนิดอื่น** ควรทดลองจำลองสถานการณ์กับพืชร่วมเศรษฐกิจชนิดอื่นที่เหมาะสมกับพื้นที่ภาคใต้ เช่น กาแฟ หรือ โกโก้ เพื่อเป็นทางเลือกที่หลากหลายให้แก่เกษตรกร

บรรณานุกรม

กรมป่าไม้. (2557). *ตำราการประมาณมูลชีวภาพ*. สืบค้นจาก

https://forprod.forest.go.th/forprod/forprod2017/Knowledgebase/file/e-book/องค์ความรู้/การปรับปรุงพันธุ์และการปลูกสร้างสวนป่า/เพิ่มเติม2/ตำรา_การประมาณมูลชีวภาพ2557.pdf

กรมวิชาการเกษตร. (2562). *เทคโนโลยีการผลิตกระวานและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว*. จันทบุรี: ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). *การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน*. สืบค้นจาก

<https://eatecon.com/wp-content/uploads/2019/02/CRA-กรมส่งเสริมการเกษตร.pdf>

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (ม.ป.ป.). *อุทยานแห่งชาติเขาลง*. สืบค้นจาก

<https://thai.tourismthailand.org/Attraction/อุทยานแห่งชาติเขาลง>

การยางแห่งประเทศไทย. (2565). *ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตยางพารา ปี 2564*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (ม.ป.ป.). *ทรัพยากรความรู้ด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม*. สืบค้นจาก

<https://stang.sc.mahidol.ac.th/newresources/?p=7930>

จังหวัดนครศรีธรรมราช สำนักงานพาณิชย์จังหวัด. (ม.ป.ป.). *เว็บไซต์สำนักงานพาณิชย์จังหวัด*

นครศรีธรรมราช. สืบค้นจาก <https://nakhonsi.moc.go.th/>

จำลอง อรุณสวัสดิ์, สุนทร คำยวง และลดาวัลย์ พวงจิตร. (2559). การกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในระบบวนเกษตรสวนยางพารา จังหวัดสงขลา. *วารสารวนศาสตร์ไทย*, 35(2), 112-125.

ตลาดกลางยางพาราจังหวัดนครศรีธรรมราช. (2566). *สรุปสถานการณ์ราคายางพาราท้องถิ่นประจำปี 2566*.

นครศรีธรรมราช: การยางแห่งประเทศไทย สาขานครศรีธรรมราช.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (RMUTL). (ม.ป.ป.). *การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและ*

สังคม. สืบค้นจาก <https://precast.rmutl.ac.th/การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์>

มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2550). *วิทยานิพนธ์ เรื่องการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลบทที่ 3*. สืบค้นจาก

http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/thesis/2550/somchai_nongnuang/chapter3.pdf

วิภา จงรักษ์ศุภา, รัตติกาล คันธะพงศ์ และอัยยดา คาราวัดนาพิชญ์. (2566). *การคำนวณต้นทุนการปลูกพืช*

ล้มลุกในทางปฏิบัติ. สืบค้นจาก https://doi.nrct.go.th/admin/doc/doc_638809.pdf

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2567). *ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดโลกร้อน ด้วยการปรับระบบเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม*. สืบค้นจาก

<https://hkm.hrd.or.th/Knowledge/detail/698>

สถาบันลูกโลกสีเขียว. (2566). *ผลงานรางวัลลูกโลกสีเขียว ครั้งที่ 21 ประเภทสืบค้นหาความรู้: ชุมชนบ้านเขาวัง จังหวัดนครศรีธรรมราช*. สืบค้นจาก <https://greenglobeinstitute.com/Frontend/Content.aspx>

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2565*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2557). *โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER)*. กรุงเทพฯ: อบก.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2566). *ราคาคาร์บอนเครดิตจากโครงการ T-VER ประจำปี 2566*. สืบค้นจาก <http://carbonmarket.tgo.or.th>

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (ม.ป.ป.). *เว็บไซต์องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก*. สืบค้นจาก <http://ghgreduction.tgo.or.th/>

Asana. (2025). *Understanding the Pareto principle (The 80/20 rule)*. Retrieved from <https://asana.com/resources/pareto-principle-80-20-rule>

Contour Map Creator. (n.d.). *Contour Map Creator Online Tool*. Retrieved from <https://contourmapcreator.ugr8.ch/>

Time Consulting. (2567). *Opportunities and trends for businesses in Thailand's carbon credit market*. Retrieved from <https://timeconsulting.co.th/opportunities-and-trends-for-businesses-in-thailands-carbon-credit-market>

Tumtook. (2567). *แนะนำสูตรคำนวณต้นทุนง่าย ๆ สำหรับนักธุรกิจมือใหม่*. สืบค้นจาก <https://tumtook.com/content/sme/แนะนำ-สูตรคำนวณ-ธุรกิจใหม่->

Wongnai for Business. (ม.ป.ป.). *เปิดสูตรคิดจุดคุ้มทุน คำนวณดี กำไรพุ่ง*. สืบค้นจาก <https://lmwmerchantcenter.com/tips-tricks-coke/coke-break-even-point>

ภาคผนวก



ภาพ ลงพื้นที่ชุมชนบ้านเขาวัง

