การแข่งขันการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

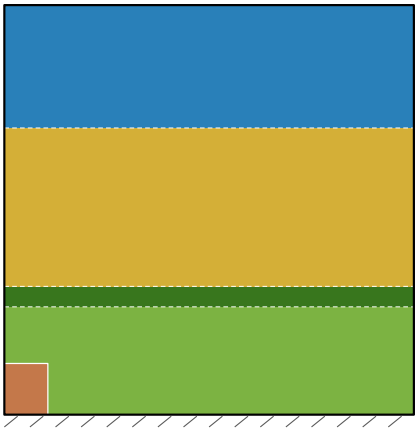
Mathematical Modeling Challenge (MMC 2026)

รอบชิงชนะเลิศ ปีการศึกษา 2569

การจัดสรรพื้นที่เกษตรยั่งยืน รับมือวิกฤตเอลนีโญ

A Dynamic “New Theory” Model for Drought-Resilient Farm Allocation

บนที่ดิน 4 ไร่ (6,400 ตร.ม.) ทุนตั้งต้น 200,000 บาท ระยะเวลา 5 ปี



ผังการแบ่งพื้นที่ 5 ส่วนบนแปลง 4 ไร่ ที่อยู่อาศัย พืชผัก ไม้ผล นาข้าว สระน้ำ

รหัสทีม: MMC085

รายงานฉบับเต็ม (Full Report)

สิงหาคม พ.ศ. 2569

บทคัดย่อ รายงานนี้สร้าง *แบบจำลองระบบพลวัตรายเดือน* (dynamic model) สำหรับจัดสรรที่ดิน 4 ไร่ ให้ครอบครัวเกษตรกร 4 คน อยู่รอดและพึ่งพาตนเองได้ตลอด 5 ปี ภายใต้ทุน 200,000 บาท และวิกฤตฝนทิ้งช่วงจากเอลนีโญ จุดต่างจากรอบคัดเลือกคือ ปัญหานี้ไม่ใช่การแบ่งแผนที่ครั้งเดียวจบ แต่เป็น *การตัดสินใจซ้ำ ๆ ทุกเดือนรวม 60 เดือน* เราจึงติดตามสถานะของฟาร์มด้วยตัวแปรสามตัวพร้อมกัน คือ **น้ำในสระ เงินสด** และ **ยุ้งข้าว** แล้วให้ "กฎการตัดสินใจ" เป็นตัวเชื่อมสถานะกับการลงมือทำ โดยสมดุลน้ำของเรารักษาหลักการอนุรักษ์มวลอย่างเคร่งครัด คือ *ฝนที่ตกบนแปลงถูกใช้เพียงครั้งเดียว* ให้พืชใช้ก่อนแล้วส่วนที่เหลือจึงไหลลงสระ ผลการค้นพบสำคัญมีสี่ข้อ (1) การจัดสรรพื้นที่ที่ดีเพียงอย่างเดียว *ไม่พอ* เพราะทุกสัดส่วนที่ทดสอบล้วนล่มเมื่อเจอแล้งสองปีติด (2) การเพิ่มกฎเดียวที่จำง่าย คือ **"ก่อนหว่าน ถ้าน้ำลึกไม่ถึง 1.35 เมตร ให้งดรอบนั้น"** ร่วมกับการทำ **นาเปียกสลับแห้ง** เป็นมาตรฐาน ทำให้ระบบรอดวิกฤตได้โดย *กำไรปีปกติไม่ลดลงแม้แต่บาทเดียว* (3) เมื่อบังคับให้แบบที่เลือกต้อง*ทนต่อความคลาดเคลื่อนของข้อสมมติทุกทาง* ไม่ใช่แค่รอดที่ค่ากลาง ตัวเลือกที่เหลือแคบลงมาก และ (4) ความหลากหลายของอาหารเป็นสิ่งที่ต้อง*ยืนยันเลือก* ไม่ใช่สิ่งที่กำไรจะให้มาเอง คำตอบสุดท้ายคือ **สระน้ำ:นาข้าว:ไม้ผล:พืชผัก:ที่อยู่อาศัย** $= 30.0 : 38.7 : 5.0 : 25.0 : 1.3$ พร้อมไก่ไข่ 10 ตัวและปลานิล 3,840 ตัวต่อรอบ ให้ความมั่งคั่งปลายปีที่ 5 เท่ากับ 2.25 ล้านบาทในปีปกติ และยังเหลือ 1.03 ล้านบาทแม้เจอแล้งซ้อนสองปี โดย *ไม่มีเดือนใดที่น้ำหมดหรือเงินติดลบ* และครัวเรือนไม่ต้องซื้อข้าวกินเลยในปีปกติ ที่น่าสนใจคือเมื่อรวมไม้ผลกับพืชผักเป็น "พืชผสมผสาน" ตามที่โจทย์แบ่ง จะได้ **สระ 30.0 : พืชผสมผสาน 30.0** ซึ่งตรงกับตัวเลขของทฤษฎีใหม่พอดีทั้งสองส่วน ทั้งที่เราไม่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้าเลย เมื่อขยายการคาดการณ์ถึง 15 ปี สัดส่วนนี้ไม่ต้องแก้ไข สิ่งที่เปลี่ยนตามกาลเวลาคือ *พฤติกรรม* ไม่ใช่ผังที่ดิน ซึ่งตรงกับหัวใจของ "เกษตรทฤษฎีใหม่" ที่เป็นหลักการยืดหยุ่น มิใช่สูตรตายตัว

1 ความเข้าใจปัญหา (Understanding the Problem)

1.1 โจทย์และสิ่งที่ต้องตอบ

ครอบครัวเกษตรกรมีที่ดิน 4 ไร่ (6,400 ตร.ม.) และเงินทุนตั้งต้น 200,000 บาท ต้องแบ่งที่ดินเป็น 4 ส่วนหลัก (สระเก็บน้ำ นาข้าว พืชผสมผสาน และที่อยู่อาศัย) โดยมีเงื่อนไขบังคับที่เข้มงวดคือ **ห้ามใช้น้ำจากภายนอกโดยเด็ดขาด** ต้องอาศัยน้ำฝนที่เก็บไว้ในสระของตัวเองเท่านั้น สระลึกได้ไม่เกิน 3 เมตรตามกฎหมาย และเริ่มต้นมีน้ำเพียงครึ่งสระ ที่สำคัญที่สุดคือแบบจำลองต้องถูกนำไปทดสอบกับ *ปีที่ฝนทิ้งช่วงยาว 6 เดือน* (พฤษภาคม–ตุลาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่ฝนน้อยที่สุดและน้ำระเหยมากที่สุดพร้อมกัน

1.2 ปัญหานี้ต่างจากรอบคัดเลือกอย่างไร

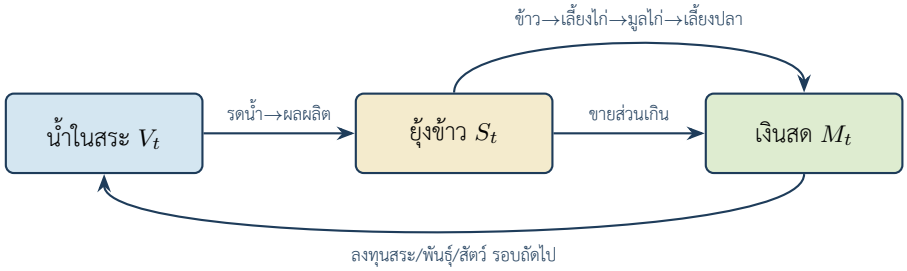
รอบคัดเลือกเป็นปัญหา *เชิงพื้นที่* คือหาว่าควรลากเส้นแบ่งที่ดินตรงไหน คำตอบเป็นภาพนิ่งภาพเดียว แต่รอบชิงชนะเลิศเป็นปัญหา*เชิงเวลา* ข้อมูลทุกตัวที่โจทย์ให้มาเป็นอัตรา "ต่อตารางเมตรต่อเดือน" และมีตารางฝนกับการระเหยรายเดือน โจทย์ไม่ได้ถามว่าที่ดินหน้าตาอย่างไร แต่ถามว่า **ระบบนี้จะรอดไปได้ตลอด 60 เดือนหรือไม่** เราจึงต้องเปลี่ยนวิธีคิดจาก "การแบ่งพื้นที่" เป็น "การเดินระบบไปข้างหน้าทีละเดือน"

ตารางที่ 1: เปรียบเทียบธรรมชาติของปัญหาสองรอบ

ประเด็น	รอบคัดเลือก	รอบชิงชนะเลิศ
มิติหลัก	พื้นที่ (รูปร่าง ตำแหน่ง ความลาดชัน)	เวลา (60 เดือน) และความไม่แน่นอนของฝน
คำตอบที่ส่ง	ผังแบ่งพื้นที่ + ตารางสัดส่วน	สัดส่วน *คู่กับ* กฎการตัดสินใจ + กราฟรายเดือน
เครื่องมือ	เรขาคณิตพิกัด + โปรแกรมเชิงเส้น	สมการเวียนเกิด (recurrence) + การจำลอง + การค้นหาคำตอบ
เงินทุน	ไม่เป็นข้อจำกัดหลัก	200,000 บาท เป็นเงื่อนไขที่ "ตึง" มาก
ตัวชี้วัดความสำเร็จ	กำไรต่อปี	รอดทุกเดือนทุกฉาก + พึ่งพาตนเองด้านอาหาร

1.3 กรอบการแก้ปัญหา: ระบบสามสถานะ

เรามองฟาร์มเป็น *ระบบพลวัต* ที่มีถังเก็บสามใบเดินไปพร้อมกันทุกเดือน ได้แก่ **น้ำในสระ** V_t (ลิตร) **เงินสด** M_t (บาท) และ **ยุ้งข้าว** S_t (กิโลกรัมข้าวเปลือก) ทั้งสามถังนี้เชื่อมกันเป็นวงจร กล่าวคือ น้ำทำให้ปลูกพืชได้ พืชกลายเป็นข้าวในยุ้งและรายได้เป็นเงินสด เงินใช้ซื้อพันธุ์และสัตว์รอบถัดไป ส่วนข้าวในยุ้งเลี้ยงทั้งคนและไก่ ดังนั้น **การตัดสินใจของเดือนนี้จะไปกำหนดทางเลือกของเดือนหน้า** ซึ่งเป็นเหตุผลที่ต้องใช้แบบจำลองพลวัต ไม่ใช่การคำนวณครั้งเดียวจบ



รูปที่ 1: วงจรของระบบสามสถานะ ลูกศรทุกเส้นคือสมการจริงในแบบจำลอง ไม่ใช่แผนภาพประกอบ

1.4 การค้นพบก่อนสร้างแบบจำลอง: ผังบ้าน 10% สร้างไม่ได้

ก่อนเขียนสมการใด ๆ เราลองคิดเลขง่าย ๆ ก่อน ตารางโจทย์ระบุว่าที่อยู่อาศัยมีต้นทุน 500 บาท/ตร.ม. ถ้าใช้สัดส่วนทฤษฎีใหม่ดั้งเดิมที่ให้ที่อยู่อาศัย 10% (640 ตร.ม.) ค่าใช้จ่ายส่วนนี้อย่างเดียวจะเป็น $640 \times 500 = 320{,}000$ บาท *ซึ่งมากกว่างบทั้งก้อนที่มีอยู่ 200,000 บาท* เมื่อรวมค่าขุดสระและค่าเพาะปลูกรอบแรกเข้าไปด้วยจะเป็น $468{,}800$ บาท หรือ **เกินงบถึง 2.3 เท่า**

ข้อสรุปที่ได้ก่อนสร้างแบบจำลอง: ผังทฤษฎีใหม่แบบดั้งเดิม *เป็นไปไม่ได้ทางการเงิน* ภายใต้ตารางต้นทุนของโจทย์นี้ เราจึงต้องให้โซนที่อยู่อาศัยเล็กที่สุดเท่าที่จำเป็นจริง ๆ คือเฉพาะ *สิ่งปลูกสร้าง* (บ้าน + เล้าไก่) ส่วน “ลานบ้าน สวนครัวรอบบ้าน ทางเดิน” ซึ่งในนิยามทฤษฎีใหม่รวมอยู่ใน 10% นั้น มีต้นทุนก่อสร้างจริงเป็นศูนย์ จึงถูกนับรวมไปกับพื้นที่เพาะปลูก *พื้นที่ใช้สอยจริงของครอบครัวไม่ได้ลดลง เปลี่ยนแค่วิธีลงบัญชีที่ดินเท่านั้น*

2 ข้อมูลและข้อสมมติ (Data & Assumptions)

2.1 ข้อมูลที่ใช้ตรงตามตารางโจทย์

เราใช้ต้นทุน รายได้ ความต้องการน้ำ และรอบการผลิตของนาข้าว ไม้ผล พืชผัก สระน้ำ และที่อยู่อาศัย ตรงตามตารางส่วนที่ 1 ของโจทย์ทุกค่า และใช้ตารางฝน–การระเหยรายเดือนของส่วนที่ 2 ทั้งคอลัมน์ปกติและคอลัมน์วิกฤต โดยปีแล้งหมายถึงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมใช้ค่า “ฝนต่ำสุด” และ “การระเหยสูงสุด” ส่วนเดือนที่เหลือใช้ค่าปกติ

2.2 กรอบการพึ่งพาตนเองที่ทีมยึดถือ

โจทย์วางหลักไว้ชัดเจนข้อหนึ่งคือ **ห้ามใช้แหล่งน้ำจากภายนอก** ต้องอาศัยน้ำในสระของตัวเองเท่านั้น ทีมมองว่านี่ไม่ใช่แค่ข้อจำกัดทางเทคนิค แต่เป็น *คำประกาศจุดยืน* ว่าระบบต้องเลี้ยงตัวเองได้จากทรัพยากรที่มีอยู่ในแปลง เราจึงขยายหลักการเดียวกันนี้ให้ครอบคลุมทรัพยากรอีกสองอย่างที่ครัวเรือนอาจถูกล่อลวงให้ไปพึ่งภายนอกเช่นกัน รวมเป็นกรอบสามข้อที่ใช้ตลอดทั้งรายงาน

1. **น้ำ** — ใช้เฉพาะน้ำฝนที่เก็บได้ในสระของตนเอง (ข้อบังคับของโจทย์)
2. **อาหาร** — ในปีปกติครัวเรือนต้องไม่ซื้อข้าวกิน และได้โปรตีนจากไข่กับปลาของตัวเองเพียงพอ
3. **แรงงาน** — ครัวเรือนทำงานในแปลงเองทั้งหมด *ไม่จ้างแรงงานภายนอก* ครอบครัว 4 คนมีแรงงานหลักจริง 2 คน จึงดูแลผักประณีตได้ประมาณ 1 ไร่

ข้อที่สามนี้ไม่ได้เกิดจากการคำนวณ แต่มาจากจุดยืนเดียวกับข้อแรก *ถ้ายอมจ้างแรงงาน ระบบก็ไม่ต่างจากการยอมซื้อน้ำจากภายนอก* คือแลกความเป็นอิสระกับผลผลิตที่มากขึ้น เราจึงถือเป็นขอบเขตของโจทย์ตั้งแต่ต้น มิใช่ข้อจำกัดที่เพิ่มเข้ามาภายหลัง (ทางเลือกที่ยอมจ้างแรงงานถูกวิเคราะห์ไว้ในหัวข้อ 6.6)

2.3 ค่าคงตัวที่เราต้องกำหนดเอง

โจทย์อนุญาตให้ปรับข้อมูลที่ไม่สมเหตุสมผลได้ถ้าระบุเหตุผลและแหล่งที่มา เราพบว่าตารางการระเหยของโจทย์ให้ค่าสูงกว่าปริมาณฝนแทบทุกเดือน ซึ่งจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อเป็น *ค่าที่วัดจากถาดวัดการระเหย* (pan evaporation) ค่าการระเหยจริงของผิวสระต้องคูณด้วยสัมประสิทธิ์ถาด k_p เสมอ เราใช้หลักการเดียวกันตลอดทั้งรายงานคือ **ค่าใดที่มีช่วงความไม่แน่นอน ให้เลือกขอบที่เป็นคุณต่อปริมาณน้ำ แล้วไปพิสูจน์ความทนทานในบทตรวจสอบ**

ตารางที่ 2: ค่าคงตัวที่ทีมกำหนดขึ้น พร้อมเหตุผล (รายละเอียดแหล่งที่มาดูภาคผนวก ก)

ค่าคงตัว	ค่า	เหตุผล
k_p สัมประสิทธิ์ถาดระเหย	0.70	ค่ามาตรฐานอยู่ในช่วง 0.70–0.80 เลือกขอบล่าง (FAO-56)
c สัมประสิทธิ์น้ำท่า	0.30	สัดส่วนของฝน *ส่วนที่เกินจากที่พืชใช้ได้* ซึ่งไหลลงสระเมื่อขุดร่องชักน้ำและจัดรูปแปลง
การรั่วซึมก้นสระ	0	บดอัดก้นสระด้วยดินเหนียว ซึ่งเป็นดินที่ให้น้ำท่าสูงด้วย ข้อสมมตินี้จึงสอดคล้องกับค่า c ข้างบน
ความลึกสระ d	3.00 ม.	การระเหยเกิดที่ *ผิวน้ำ* ไม่ขึ้นกับความลึก สระยิ่งลึกยิ่งเก็บน้ำได้คุ้มต่อการระเหย จึงขุดชนเพดานกฎหมาย
น้ำใช้ครัวเรือน	12,800 ล./เดือน	4 คน × ประมาณ 107 ลิตร/คน/วัน *คิดตามจำนวนคน ไม่ผูกกับขนาดโซนบ้าน*
w_{R} น้ำนาข้าว (M2 ขึ้นไป)	135 ล./ตร.ม./เดือน	ทำนาแบบ *เปียกสลับแห้ง* ประหยัดน้ำ 25% จาก 180 โดยผลผลิตไม่ลด

2.4 ตะกร้าบริโภคของครัวเรือน: กินก่อน เหลือจึงขาย

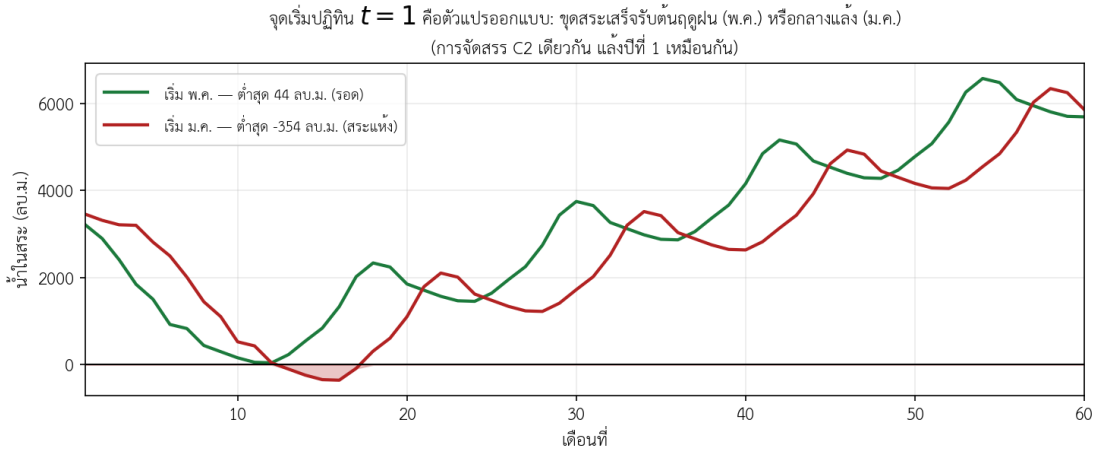
โจทย์ต้องการให้ครอบครัว “พึ่งพาตนเองได้” เราจึงไม่คิดว่าผลผลิตทุกอย่างถูกขายหมด แต่ให้ครัวเรือน **บริโภคก่อนเสมอ ส่วนที่เหลือจึงนำไปขาย** หลักการนี้ใช้เหมือนกันทั้งข้าว ไข่ และปลา ซึ่งทำให้ตัวเลขรายได้ในแบบจำลองสมจริงกว่าการนับผลผลิตทั้งหมดเป็นเงิน

ตารางที่ 3: พารามิเตอร์การบริโภคของครัวเรือน 4 คน

หมวด	ปริมาณบริโภค	หมายเหตุ
ข้าวเปลือก h	60 กก./เดือน	เทียบเท่าข้าวสารประมาณ 117 กก./คน/ปี ที่อัตราสี 0.65
ไข่ไก่ e_h	120 ฟอง/เดือน	4 คน × 1 ฟอง/วัน ส่วนเกินขายฟองละ 3.5 บาท
ปลา f_h	60 กก./รอบจับ	ประมาณ 30 กก./คน/ปี ส่วนเกินขายกิโลกรัมละ 60 บาท
ข้าวเลี้ยงไก่ g	1.0 กก./ตัว/เดือน	แทนอาหารสำเร็จรูปประมาณ 30% เบิกได้เมื่อยุ้งเหลือพอ

2.5 ปฏิทินการเพาะปลูกและจุดเริ่มต้นโครงการ

เราวางให้ **เดือนที่ 1 ของแบบจำลองคือเดือนพฤษภาคม** ซึ่งเป็นต้นฤดูฝน โดยขุดสระในช่วงหน้าแล้ง (มกราคม–เมษายน) ที่ดินแห้งทำงานง่าย ให้เสร็จพอดีรับฝนแรก จุดเริ่มนี้ไม่ใช่การเลือกตามอำเภอใจ แต่เราทดสอบเปรียบเทียบแล้วดังนี้ ถ้าเริ่มเดือนพฤษภาคมและเจอแล้งปีแรก น้ำในสระจะเหลือต่ำสุด $+44$ ลบ.ม. คือรอด แต่ถ้าเริ่มเดือนมกราคม น้ำจะติดลบ -354 ลบ.ม. คือ **สระแห้ง** เพราะต้องลากน้ำเพียงครึ่งสระผ่านหน้าแล้งทั้งฤดูก่อนจะได้ฝนแรก *จุดเริ่มโครงการจึงเป็นตัวแปรออกแบบที่ชี้เป็นชี้ตาย*



รูปที่ 2: ผลของการเลือกเดือนเริ่มโครงการ ทั้งสองเส้นใช้การจัดสรรพื้นที่เดียวกันและเจอภัยแล้งในปีที่ 1 เหมือนกัน ต่างกันเพียงเดือนที่เริ่มลงมือ เส้นสีเขียว (เริ่มพฤษภาคม) ลงต่ำสุดในราวเดือนที่ 11 แล้วเด้งกลับได้ทันเพราะฝนมาถึงก่อน ส่วนเส้นสีแดง (เริ่มมกราคม) จมลงใต้เส้นศูนย์ในเดือนที่ 14–17 ซึ่งหมายถึงสระแห้งจริง

ช่วงที่เส้นในรูปที่ 2 อยู่ใต้เส้นศูนย์ หมายถึงเดือนที่น้ำซึ่งต้องใช้มีมากกว่าน้ำที่มี ซึ่งในความเป็นจริงคือพืชตายและครอบครัวไม่มีน้ำใช้ อีกอย่างที่ปรากฏในรูปคือทั้งสองเส้นมาบรรจบกันเกือบสนิทตั้งแต่ปีที่ 3 เป็นต้นไป แปลว่า *การเลือกเดือนเริ่มมีผลเฉพาะช่วงตั้งตัวปีแรกเท่านั้น แต่ช่วงตั้งตัวนี่เองที่เป็นช่วงเป็นช่วงตาย*

ตารางที่ 4: ปฏิทินกิจกรรมประจำปี (เดือนใช้น้ำ เดือนจ่ายเงิน และเดือนได้ผลผลิต)

กิจกรรม	**เดือนที่ใช้น้ำ**	**จ่ายต้นทุน**	**ได้ผลผลิต**
นาข้าว	ก.ค.–ต.ค. (4 เดือน)	ก.ค.	ต.ค. (เข้ายุ้ง)
ไม้ผล	ทุกเดือน	พ.ค.	เม.ย.
พืชผัก 4 รอบ	พ.ค.–ธ.ค.	พ.ค. ก.ค. ก.ย. พ.ย.	มิ.ย. ส.ค. ต.ค. ธ.ค.
ปลานิล 2 รอบ	—	พ.ค. พ.ย.	ต.ค. เม.ย.
ไก่ไข่	ทุกเดือน	ทุกเดือน	ทุกเดือน

เหตุผลที่นาข้าวอยู่เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม เพราะเรากวาดหาหน้าต่างเพาะปลูกทุกความเป็นไปได้แล้วพบว่าช่วงนี้ทำให้ *ปีปกติแทบไม่ต้องรดน้ำเลย* (ฝนเดือนเหล่านี้มากกว่า 180 มม./เดือนอยู่แล้ว) และตรงกับปฏิทินนาปีของจริงพอดี

3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model Formulation)

3.1 ตัวแปรตัดสินใจและตัวแปรสถานะ

ตัวแปรออกแบบ (ตัดสินใจครั้งเดียวก่อนเริ่มโครงการ) คือขนาดพื้นที่แต่ละส่วน

$$A_{\mathrm{W}}\ (\text{สระ}),\qquad A_{\mathrm{R}}\ (\text{นา}),\qquad A_{\mathrm{F}}\ (\text{ไม้ผล}),\qquad A_{\mathrm{G}}\ (\text{ผัก}),\qquad A_{\mathrm{H}}\ (\text{ที่อยู่อาศัย})$$

พร้อมจำนวนไก่ n ตัว และความหนาแน่นปลา ρ ตัว/ตร.ม. ของสระ โดยขนาดโซนที่อยู่อาศัยไม่ได้ตั้งขึ้นลอย ๆ แต่คำนวณจากความจำเป็นจริง

$$A_{\mathrm{H}} = \underbrace{80}_{\text{บ้าน 4 คน}} + \underbrace{0.5\,n}_{\text{เล้าไก่}} \quad [\text{ตร.ม.}] \tag{1}$$

ตัวแปรสถานะ เดินไปทุกเดือน $t = 1, 2, \ldots, 60$ ได้แก่ V_t (น้ำ, ลิตร) M_t (เงินสด, บาท) และ S_t (ยุ้งข้าว, กก.) ค่าตั้งต้นคือ

$$V_{\max} = 1{,}000\, A_{\mathrm{W}} d, \qquad V_0 = \tfrac{1}{2} V_{\max}, \qquad M_0 = 200{,}000 - 30 A_{\mathrm{W}} - 40{,}000, \qquad S_0 = 360 \tag{2}$$

โดย S_0 คือข้าวเปลือกที่ครอบครัวขนมาด้วยตอนย้ายเข้า 6 เดือน ซึ่งจะหมดพอดีวันเก็บเกี่ยวครั้งแรก

3.2 สมการที่ 1: สมดุลน้ำในสระ

กำหนดให้ R_t คือปริมาณฝนและ E_t คือค่าการระเหยของเดือนที่ t (หน่วยมิลลิเมตร ตามตารางส่วนที่ 2 ของโจทย์ โดยเลือกใช้คอลัมน์ปกติหรือคอลัมน์วิกฤตตามฉากที่ทดสอบ) และ A_j คือพื้นที่ของกิจกรรม j เนื่องจากฝน 1 มิลลิเมตรบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรเท่ากับน้ำ 1 ลิตร จึงคูณกันได้โดยตรง น้ำเข้าสระมีสองทาง คือฝนที่ตกลงผิวสระโดยตรง และน้ำฝนส่วนที่ตกบนแปลงเพาะปลูกแล้วไหลลงมา (เรียกว่า *น้ำท่า*) ส่วนน้ำออกมีสามทาง คือระเหยจากผิวสระ รดพืช และใช้ในครัวเรือนกับสัตว์

$$V_t = \min\Big\{V_{\max},\ V_{t-1} + \underbrace{R_t A_{\mathrm{W}}}_{\text{ฝนลงสระ}} + \underbrace{c \textstyle\sum_j s_{j,t} A_j}_{\text{น้ำท่าจากแปลง}} - \underbrace{k_p E_t A_{\mathrm{W}}}_{\text{ระเหย}} - \underbrace{\textstyle\sum_j q_{j,t}}_{\text{รดพืช}} - \underbrace{12{,}800 + 7.5n}_{\text{คน+ไก่}}\Big\} \tag{3}$$

ตัว $\min$ ด้านนอกคือน้ำที่ล้นสระซึ่งเก็บไว้ไม่ได้ ส่วน $s_{j,t}$ คือ *ฝนส่วนที่เกินจากที่พืชในแปลง j ใช้ได้ในเดือนนั้น*

ทำไมต้องแยกฝนส่วนเกินออกมา ฝนหนึ่งมิลลิเมตรที่ตกบนแปลงจะถูกใช้ได้เพียงครั้งเดียว ถ้าเรานับว่ามันช่วยลดน้ำรดพืช *และ* นับซ้ำว่ามันไหลลงสระด้วย เท่ากับใช้น้ำฝนเกินกว่าที่ธรรมชาติให้มาจริง แบบจำลองจึงให้ฝนไปเข้ารากพืชก่อนจนเต็มความต้องการ แล้วเฉพาะ *ส่วนที่เหลือ* จึงไหลลงสระตามสัมประสิทธิ์ c

$$s_{j,t} = \begin{cases} \max\big(0,\ R_t - w_j\big) & \text{เดือนที่แปลง } j \text{ กำลังเพาะปลูก} \\ R_t & \text{เดือนที่แปลงว่าง (ฝนทั้งหมดเป็นส่วนเกิน)} \end{cases}$$

กติกานี้ทำให้บัญชีน้ำของเรา *รักษาการอนุรักษ์มวล* คือผลรวมของน้ำที่พืชได้กับน้ำที่ไหลลงสระไม่มีทางเกินปริมาณฝนที่ตกลงมาจริง

ส่วนน้ำที่ต้องรดพืชคิดแบบ *เติมเฉพาะส่วนที่ขาด* คือถ้าฝนตกมากพอแล้วก็ไม่ต้องรดเลย

$$q_{j,t} = \delta_{j,t}\, \max\big(0,\ w_j - R_t\big) A_j, \qquad j \in \{\text{นา}, \text{ไม้ผล}, \text{ผัก}\} \tag{4}$$

เมื่อ w_j คือความต้องการน้ำของกิจกรรม j (หน่วยลิตร/ตร.ม./เดือน) โดยไม้ผลใช้ 90 และพืชผักใช้ 120 ตามตารางโจทย์ทั้งคู่ ส่วนนาข้าวขึ้นกับวิธีปลูก คือ **M1 ใช้ $w_{\mathrm{R}} = 180$ ตามตารางโจทย์ ส่วน M2 และ M3 ซึ่งทำนาเปียกสลับแห้งเป็นมาตรฐานใช้ $w_{\mathrm{R}} = 135$** (ค่าฐานที่ใช้ในผลทุกตารางของรายงานนี้คือ 135) และ $\delta_{j,t} \in \{0, 1\}$ เป็นตัวบอกว่าเดือนที่ t แปลง j กำลังเพาะปลูกอยู่หรือไม่

ทำไมกฎ "เติมเฉพาะส่วนที่ขาด" จึงดีที่สุด เราพิสูจน์ได้ด้วยการอุปนัย นโยบายรดน้ำใด ๆ ที่ทำให้พืชได้ผลผลิตเต็มต้องรดอย่างน้อยเท่ากับส่วนที่ขาด ดังนั้นจึงรดมากกว่าหรือเท่ากับกฎนี้เสมอ และเพราะสมการ (3) เป็นฟังก์ชัน *ไม่ลด* ตาม V_{t-1} และ *ไม่เพิ่ม* ตามปริมาณน้ำที่จ่ายออก ถ้าเดือนก่อนเรามีน้ำมากกว่าหรือเท่า เดือนนี้ก็จะมากกว่าหรือเท่าเสมอ **สรุปคือถ้ามีนโยบายใดรอด กฎนี้ก็ต้องรอดด้วย** เราจึงไม่ต้องค้นหาวิธีรดน้ำอีก มีสูตรสำเร็จอยู่แล้ว

3.3 สมการที่ 2: ยุ้งข้าว

ข้าวในแบบจำลองนี้ *ไม่ใช่แค่ตัวเลขรายได้* แต่เป็นมวลจริงที่ไหลเข้าออกยุ้ง เก็บเกี่ยวแล้วเข้ายุ้ง คนกินก่อน ไก่เบิกได้เฉพาะส่วนเกิน ส่วนที่เหลือจากการกันสำรองไว้หนึ่งปีจึงนำไป **ขายครึ่งหนึ่ง เก็บไว้ครึ่งหนึ่ง**

$$S_t = S_{t-1} + \underbrace{y_{\mathrm{R}} A_{\mathrm{R}}\,[\text{เดือนเก็บเกี่ยว}]}_{\text{เข้ายุ้ง}} - \underbrace{\phi \max(0,\ S^{+} - \sigma)}_{\text{ขายครึ่งของส่วนเกิน}} - \underbrace{h}_{\text{คนกิน}} - \underbrace{g\, n\,[\text{ถ้ายุ้งเหลือพอ}]}_{\text{ไก่เบิก}} \tag{5}$$

โดย $y_{\mathrm{R}} = 0.46$ กก./ตร.ม. คือผลผลิตข้าวเปลือก $\phi = 0.5$ คือกติกาขายครึ่งเก็บครึ่ง $\sigma = 12(h + gn)$ คือสำรองบริโภคหนึ่งปีของคนบวกไก่ และ $S^{+} = S_{t-1} + y_{\mathrm{R}} A_{\mathrm{R}}$ คือปริมาณข้าวในยุ้ง *ทันทีหลังนำผลผลิตเข้ายุ้งแล้ว* ซึ่งใช้เป็นฐานคำนวณส่วนเกิน การขายเกิดขึ้น *ปีละครั้งเดียว ณ เดือนเก็บเกี่ยว* เท่านั้น เดือนอื่นยุ้งลดลงจากการกินอย่างเดียว

เงื่อนไขความมั่นคงทางอาหาร: $S_t \geq 0$ ทุกเดือน โดยโครงสร้างของแบบจำลอง ยุ้งข้าวจะติดลบไม่ได้ ถ้าข้าวไม่พอกิน ครัวเรือน*ต้องซื้อ* และเราบันทึกทั้งจำนวนกิโลกรัมและจำนวนเดือนที่ต้องซื้อไว้เป็นตัวชี้วัด เกณฑ์ที่เราตั้งไว้คือ **หลังหมดฤดูนาแรกแล้ว ในปีปกติครัวเรือนต้องไม่ซื้อข้าวเลยแม้แต่เดือนเดียว**

3.4 สมการที่ 3: เงินสด และวงจรเกษตรหมุนเวียน

เงินสดเปลี่ยนตามเหตุการณ์ในปฏิทิน (ตารางที่ 4) คือจ่ายค่าเพาะปลูกต้นรอบ รับเงินปลายรอบ โดยรายได้จากข้าวไม่ได้เข้าตรง ๆ แต่ผ่านยุ้งตามสมการ (5) ส่วนสัตว์เพิ่มอีกสี่พจน์ โดย $f_{ck} = 55.2$ บาท/ตัว/เดือน คือค่าอาหารไก่เต็มราคา และไก่หนึ่งตัวให้ไข่เฉลี่ย 22.5 ฟอง/เดือน

$$M_t \mathrel{+}= \underbrace{-(1-\alpha_C) f_{ck}\, n}_{\text{อาหารไก่}} \underbrace{-(1-\alpha_F)\tfrac{9\rho}{6} A_{\mathrm{W}}}_{\text{อาหารปลา}} \underbrace{+\max(0,\, 22.5n - e_h) \times 3.5}_{\text{ขายไข่ส่วนเกิน}} \underbrace{+\max(0,\, 0.3\rho A_{\mathrm{W}} - f_h) \times 60}_{\text{ขายปลาส่วนเกิน}} \tag{6}$$

สัมประสิทธิ์ α_C และ α_F คือ **วงจรเกษตรหมุนเวียนที่เขียนเป็นสมการจริง**

$$\alpha_C = \begin{cases} 0.30 & \text{ถ้ายุ้งข้าวเหลือพอให้ไก่เบิก} \\ 0.10 & \text{ถ้าไม่พอ} \end{cases} \qquad \alpha_F = 0.15 + 0.35 \min\left(1, \tfrac{n}{100}\right) \tag{7}$$

อธิบายสมการนี้อย่างเข้าใจง่ายได้ว่า *ปีไหนได้ข้าว ไก่ก็มีรำและปลายข้าวกิน ค่าอาหารไก่ถูกลง 30% แต่ปีไหนงดทำนา ยุ้งไม่พอ ไก่ต้องกินอาหารสำเร็จ ค่าอาหารแพงขึ้นเอง* และ *ยิ่งเลี้ยงไก่มาก มูลไก่ยิ่งทำให้เกิดแพลงก์ตอนในบ่อ ค่าอาหารปลาก็ยิ่งถูกลง* วงจรนี้จึงไม่ใช่เพียงลูกศรในแผนภาพประกอบ แต่เป็นตัวแปรที่ผูกกันจริงในสมการ

ที่มาของ α_C และ α_F และเหตุที่เรายังใช้ต่อ สองค่านี้เป็นจุดที่อ่อนที่สุดในเรื่องแหล่งอ้างอิงของแบบจำลอง เพราะเราตั้งขึ้นจากหลักการของเกษตรหมุนเวียนและตัวเลขอย่างหยาบว่ารำและปลายข้าวทดแทนอาหารสำเร็จได้ราวหนึ่งในสาม และมูลไก่ช่วยลดค่าอาหารปลาลงตามจำนวนไก่ *มิได้มาจากการทดลองหรือเอกสารที่ระบุตัวเลขไว้ตรง ๆ* **แม้ α_C และ α_F จะเป็นพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนสูงและไม่ได้มีค่าที่อ้างอิงได้แม่นยำ แต่ผลการวิเคราะห์ความไวเชิงโลกแสดงว่า ภายในช่วงค่าที่ทดสอบ ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ทั้งสองแทบไม่ส่งผลต่อข้อสรุปหลักของแบบจำลอง** (ดัชนีรวมไม่ถึง 0.005 ในทุกผลลัพธ์ ดูหัวข้อ 6.4) เราจึงคงสมการนี้ไว้เพื่อให้วงจรหมุนเวียนปรากฏเป็นความสัมพันธ์จริงในแบบจำลอง โดยรู้ชัดว่าคำตอบที่เสนอไม่ได้แขวนอยู่กับความแม่นยำของสองค่านี้

3.5 กฎการตัดสินใจ: หัวใจของคำว่า “พลวัต”

เกษตรกรมองอนาคตไม่ออกว่าปีนี้ฝนจะทิ้งช่วงหรือไม่ กฎที่สมจริงจึงห้ามใช้ข้อมูลอนาคต ใช้ได้เพียงสิ่งที่ *มองเห็นได้ตอนนี้* เราสังเกตว่าเมื่อภัยแล้งเริ่มเดือนพฤษภาคม พอสิ้นเดือนมิถุนายนระดับน้ำจะบ่งชี้ได้ชัดเจนแล้ว (ปีแล้งเหลือประมาณ 2,355 ลบ.ม. เทียบกับปีปกติ 3,401 ลบ.ม.) และจังหวะนี้มาก่อนเวลาดำนาพอดี เราจึงตั้ง “เกณฑ์ระดับน้ำ” ไว้หน้าการตัดสินใจปลูกทุกครั้ง

$$\delta_j = \mathbf{1}\big[V_{t-1} \geq \theta_j V_{\max}\big] \cdot \mathbf{1}\big[M_{t-1} \geq \text{ค่าเพาะปลูก}\big] \tag{8}$$

โดย $\theta_j \in [0, 1]$ คือ **ค่าเกณฑ์ระดับน้ำของกิจกรรม** j ซึ่งบอกว่าน้ำในสระต้องเหลืออย่างน้อยกี่ส่วนของความจุเต็มจึงจะลงมือปลูกได้ ส่วน $\mathbf{1}[\cdot]$ คือฟังก์ชันบ่งชี้ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อข้อความในวงเล็บเป็นจริง และเท่ากับ 0 เมื่อเป็นเท็จ ดังนั้น $\delta_j = 1$ ก็ต่อเมื่อผ่านทั้งเกณฑ์น้ำและเกณฑ์เงินพร้อมกัน

ข้อดีของการเขียนเกณฑ์ในรูปสัดส่วนคือแปลงกลับเป็นความลึกที่วัดได้จริงทันที เพราะสระมีหน้าตัดสม่ำเสมอ สัดส่วน $V/V_{\max}$ จึงเท่ากับสัดส่วนความลึกน้ำต่อความลึกเต็ม 3 เมตรพอดี ค่า $\theta_j = 0.45$ ที่เราสอบเทียบได้จึงหมายถึง *น้ำลึก 1.35 เมตร* นั่นคือ **"ดูไม้วัดระดับน้ำก่อนหว่าน"** นอกจากนี้ยังมีเกณฑ์อีกสองชุดที่ใช้หลักการเดียวกัน คือ *เกณฑ์ปล่อยปลา* (ปล่อยปลาเมื่อน้ำลึกอย่างน้อย 1.2 ม. และมีเงินพอ) กับ *กฎทบทวนประจำปีสำหรับซื้อไก่*

$$\text{ซื้อไก่ } n \text{ ตัว} \iff M_{t-1} - 450n \;\geq\; \underbrace{\text{ค่าเพาะปลูกทั้งปีข้างหน้า}}_{25A_{\mathrm{G}}+40A_{\mathrm{F}}+15A_{\mathrm{R}}} + \underbrace{20{,}000}_{\text{เงินกันชน}} \tag{9}$$

กฎข้อนี้จำเป็นเพราะทุน 200,000 บาทถูกใช้ไปกับสระ บ้าน และเพาะปลูกรอบแรกจนเกือบหมดแล้ว *การซื้อสัตว์ตั้งแต่วันแรกจะทำให้เงินสดไม่พอหมุนเวียน* เราจึงให้ระบบ "รอจนพร้อม" แทน

3.6 สรุปแบบจำลองเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด

หา $A_{\mathrm{W}}, A_{\mathrm{R}}, A_{\mathrm{F}}, A_{\mathrm{G}}, n, \rho$ ที่ทำให้ความมั่งคั่งปลายปีที่ 5 มากที่สุด

$$\text{มากที่สุด} \quad W_{60} = M_{60} + p_S\, S_{60} \qquad (p_S = 97.83 \text{ บาท/กก. คือราคาข้าวเปลือกโดยนัยของตารางโจทย์})$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ

$A_{\mathrm{W}} + A_{\mathrm{R}} + A_{\mathrm{F}} + A_{\mathrm{G}} + A_{\mathrm{H}} = 6{,}400$	(C_1 : พื้นที่รวม 4 ไร่)
$A_{\mathrm{H}} = 80 + 0.5n; \quad A_i \geq 0; \quad 0 < d \leq 3$	($\mathrm{C}_2, \mathrm{C}_3$: ที่อยู่อาศัยและกฎหมาย)
$I_0 = 30A_{\mathrm{W}} + 40{,}000 + 15A_{\mathrm{R}} + 40A_{\mathrm{F}} + 25A_{\mathrm{G}} \leq 200{,}000$	(C_4 : เงินลงทุนเริ่มต้นไม่เกินงบ)
$V_t^{(s)} \geq 0, \quad M_t^{(s)} \geq 0 \qquad \forall t,\ \forall s$	($\mathrm{C}_5, \mathrm{C}_6$: รอดทุกเดือนทุกฉาก)
$A_{\mathrm{R}} \geq 1{,}600$	(C_7 : ข้าวพอกิน)
โปรตีนจากไข่ + ปลา ≥ 80 กก./ปี	(C_8 : ความมั่นคงโปรตีน)
$A_{\mathrm{G}} \leq 1{,}600$	(C_9 : แรงงานครัวเรือนทำเองได้)
$S_t \geq 0\ \forall t$ และปีปกติไม่ซื้อข้าว	(C_{10} : ยุ้งข้าวไม่ขาด)
$A_{\mathrm{F}} \geq 320$	(C_{11} : ความหลากหลายของอาหาร)
$y_{\mathrm{R}} A_{\mathrm{R}} \;\geq\; 12\,(h + g\,n)$	(C_{12} : ยุ้งข้าวเลี้ยงไก่ได้เองทั้งปี)
$22.5\,n \;\geq\; e_h$	(C_{13} : ไข่พอกินทั้งครัวเรือน)

เซตฉากทดสอบ s มีทั้งหมด **10 ฉาก** ได้แก่ ปีปกติล้วน 1 ฉาก ปีแล้งเดี่ยวที่เกิดในปีที่ 1–5 อีก 5 ฉาก และปีแล้งซ้อนสองปีติดกันอีก 4 ฉาก เพราะโจทย์บอกเพียงว่า "บางปี" จะแล้ง ไม่ได้บอกว่าปีไหนและไม่ได้รับประกันว่าแล้งครั้งเดียว

C_{14} ความทนทานต่อความคลาดเคลื่อน — เงื่อนไขบังคับข้อสุดท้าย

เงื่อนไข C_1 ถึง C_{13} ตรวจว่าแบบหนึ่ง ๆ รอดหรือไม่ *เมื่อค่าคงตัวเป็นไปตามที่เราตั้งไว้* แต่ k_p กับ c เราเลือกไว้ที่ขอบที่เป็นคุณต่อน้ำ ถ้าความจริงคลาดไปทางร้ายเพียงขั้นเดียวแล้วระบบล่ม แปลว่าคำตอบนั้นสวยเฉพาะบนกระดาษ เราจึงบังคับเพิ่มว่าแบบที่ยอมรับได้ต้องรอดครบทั้ง 10 ฉาก *ในทุกกรณีต่อไปนี้พร้อมกัน* ได้แก่ ค่าฐาน, $k_p = 0.75$, $k_p = 0.80$, $c = 0.25$, $c = 0.20$ และฝนทุกเดือนน้อยลง 10%

ข้อนี้ไม่ใช่การวิเคราะห์ความไวที่ทำตอนท้ายเพื่อรายงานผล แต่เป็น **เงื่อนไขที่ใช้คัดแบบตั้งแต่ต้น** แบบที่ล่มเมื่อข้อสมมติคลาดไปหนึ่งขั้นจะถูกตัดออกทันที ไม่ว่ากำไรจะสูงเพียงใด

4 การวิเคราะห์แบบจำลองและการคำนวณ (Model Analysis)

เราไม่ได้สร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้นมาทีเดียว แต่ไต่ขึ้นทีละขั้น *ขั้นละหนึ่งความคิด* เพื่อจะได้วัดได้ว่าความคิดแต่ละอย่างมีค่าเท่าไรเป็นตัวเลข วิธีนี้ยังทำให้เห็นชัดว่าทำไมจึงต้องเพิ่มแต่ละอย่างเข้ามา

ตารางที่ 5: บันไดการพัฒนาแบบจำลอง สามแถวบนวัดบน *การจัดสรรพื้นที่เดียวกัน* (แบบ C2) เพื่อแยกผลของแต่ละความคิดออกมาให้เห็นชัด ส่วนแถวสุดท้ายคือการจัดสรรที่เลือกใหม่ภายใต้เงื่อนไขครบทุกข้อ (ความมั่งคั่งปลายปีที่ 5, บาท)

ขั้น	สิ่งที่เพิ่ม	ปีปกติ	แล้งซ้อน	กันชนน้ำ
M1	จัดสรรพื้นที่ดี แต่ทำแบบเดิมทุกปี	2,563,043	ล่ม	—
M2	+ นาเปียกสลับแห้ง + กฎระดับน้ำ 1.35 ม.	2,563,043	1,015,443	957
M3	+ ไก่ไข่ 10 ตัว ปลานิล และเกษตรหมุนเวียน	2,976,490*	1,263,442*	956
แนะนำ	+ เงื่อนไขคุณค่าครบ + ความทนทาน แล้วเลือกการจัดสรรใหม่	**2,245,867**	**1,031,700**	**773**

*แถว M3 ยังอยู่บนการจัดสรรแบบ C2 ซึ่งมีพืชผัก 1.45 ไร่ *เกินกำลังแรงงานของครอบครัว* และไม่มีไม้ผลเลย จึงยังผิดเงื่อนไข C_9 และ C_{11} แสดงไว้เพื่อวัดผลของสัตว์อย่างเดียว แถวสุดท้ายคือแถวเดียวที่เงื่อนไขครบทุกข้อ

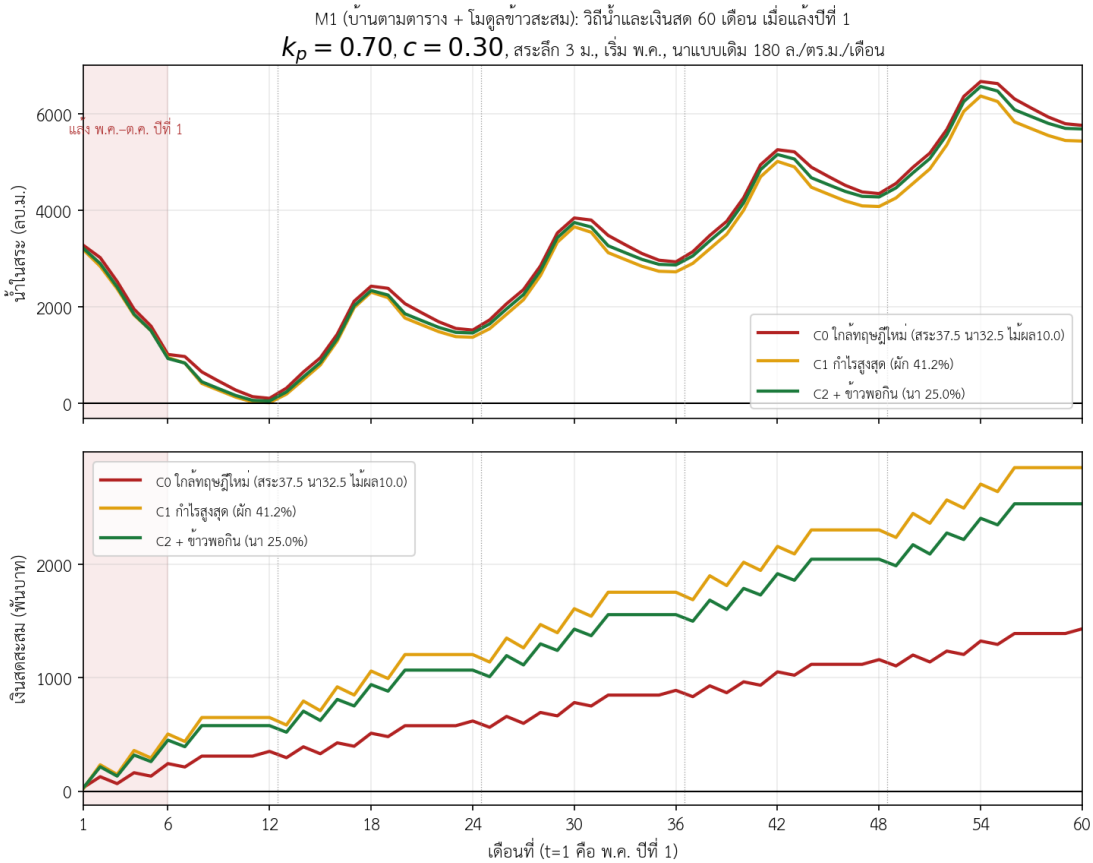
ตารางนี้อ่านได้สองทาง ทางแรกคือ *แต่ละความคิดมีค่าเท่าไร* กฎระดับน้ำเปลี่ยนจากล่มเป็นรอดโดยกำไรปีปกติไม่ลดเลย ส่วนสัตว์เพิ่มความมั่งคั่งอีก $413{,}447$ บาทในปีปกติ ทางที่สองคือ *เงื่อนไขเชิงคุณค่ามีราคาเท่าไร* แถวสุดท้ายต่ำกว่าแถว M3 อยู่ $730{,}623$ บาท เพราะเราจำกัดพืชผักไว้ที่ 1 ไร่ตามกำลังแรงงาน บังคับให้มีไม้ผล และตัดแบบที่ไม่ทนความคลาดเคลื่อนออก **ราคานี้เราจ่ายด้วยความเต็มใจ และรายงานไว้ให้เห็นชัดแทนที่จะซ่อน**

4.1 ขั้น M1: การจัดสรรที่ดีอย่างเดียวไม่พอ

ขั้นแรกเราแจกแจงสัดส่วนพื้นที่ทุกความเป็นไปได้บนตะแกรงละเอียด 160 ตร.ม. (รวม 9,880 แบบ ในจำนวนนี้ผ่านเพดานงบประมาณ 2,787 แบบ) จำลองแบบละ 6 ฉาก แล้วคัดออกทันทีที่ผิดเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่ง เหลือแบบที่รอด 387 แบบ

ตารางที่ 6: ผลของ M1 สามกรณีเปรียบเทียบ (จัดอันดับด้วยความมั่งคั่ง)

	C0 ใกล้ทฤษฎีใหม่	C1 มั่งคั่งสูงสุด	C2 มั่งคั่ง+ข้าวพอกิน
สระ:นา:ไม้ผล:ผัก:บ้าน (%)	37.5:32.5:10.0:18.8:1.2	37.5:20:0:41.2:1.2	37.5:25:0:36.2:1.2
ความมั่งคั่งปีที่ 5 (บาท)	1,483,043	**2,867,043**	2,563,043
ข้าว: ขาย / ซื้อ (กก. ใน 5 ปี)	1,013 / 0	0 / 465	123 / 0
น้ำต่ำสุด แล้งปีที่ 1 (ลบ.ม.)	100	10	44
เจอแล้งซ้อน 2 ปีติด	ล่ม	ล่ม	ล่ม



รูปที่ 3: วิถีน้ำ (แผงบน) และเงินสด (แผงล่าง) ของแบบจำลอง M1 ทั้งสามกรณี เมื่อเจอภัยแล้งในปีที่ 1 แถบสีชมพูคือช่วงฝนทิ้งช่วง 6 เดือน เส้นน้ำของทั้งสามกรณีดิ่งลงเกือบแตะเส้นศูนย์ ก่อนจะฟื้นกลับ ส่วนเส้นเงินสดเป็นขั้นบันไดเพราะรายได้เข้าเป็นงวดตามรอบเก็บเกี่ยว

รูปที่ 3 ให้ภาพที่ตารางบอกไม่ได้ คือ *ระยะห่างจากหายนะ* เส้นน้ำของทั้งสามกรณีลงไปเฉียดเส้นศูนย์แล้วเด้งกลับแบบหวุดหวิด กรณีที่ดีที่สุดยังเหลือน้ำเพียง 100 ลบ.ม. จากความจุ 7,200 ลบ.ม. หรือไม่ถึงหนึ่งเปอร์เซ็นต์ครึ่ง ซึ่งหมายความว่าถ้าปีนั้นฝนน้อยกว่าตารางเพียงเล็กน้อย หรือถ้าปีถัดไปแล้งซ้ำอีก ระบบจะพังทันที นี่คือเหตุผลที่เราไม่หยุดอยู่แค่ M1 แม้ตัวเลขในตารางจะดูดี

บทเรียนสี่ข้อจาก M1 ข้อแรก **สระต้องใหญ่ถึง 37.5%** มากกว่า 30% ของทฤษฎีใหม่ เพราะเมื่อคิดบัญชีน้ำอย่างเคร่งครัดแล้ว น้ำท่ามีน้อยกว่าที่ประเมินอย่างหลวม ๆ สระจึงต้องอาศัยฝนที่ตกลงผิวตัวเองเป็นหลัก ข้อสอง **ความจำเป็นของนาข้าวปรากฏขึ้นจากสมการเอง** แบบ C1 ที่ไม่บังคับปลูกข้าวเลือกทำนาแค่ 20% แล้วต้อง *ซื้อข้าว 465 กก.* เงื่อนไข C_7 จึงเป็นข้อสรุปที่แบบจำลองยืนยันเอง ไม่ใช่ข้อจำกัดที่เรายกมา ข้อสาม **ไม้ผลถูกตัดทิ้งหมด** ในแบบที่เน้นกำไร เพราะกินน้ำทุกเดือนรวมหน้าแล้งแต่ให้กำไรเพียง 25 บาท/ตร.ม./ปี และข้อสี่ที่สำคัญที่สุด **ทุกแบบล่มเมื่อเจอแล้งสองปีติด** ไม่มีข้อยกเว้น

ข้อสรุปสำคัญของ M1: ความทนทานระดับ “แล้งซ้อนสองปี” *ซื้อด้วยพื้นที่ไม่ได้* ไม่ว่าจะขุดสระใหญ่แค่ไหนก็ตาม ต้องซื้อด้วย *พฤติกรรม* คือการยอมปรับเปลี่ยนสิ่งที่ทำในปีนั้น

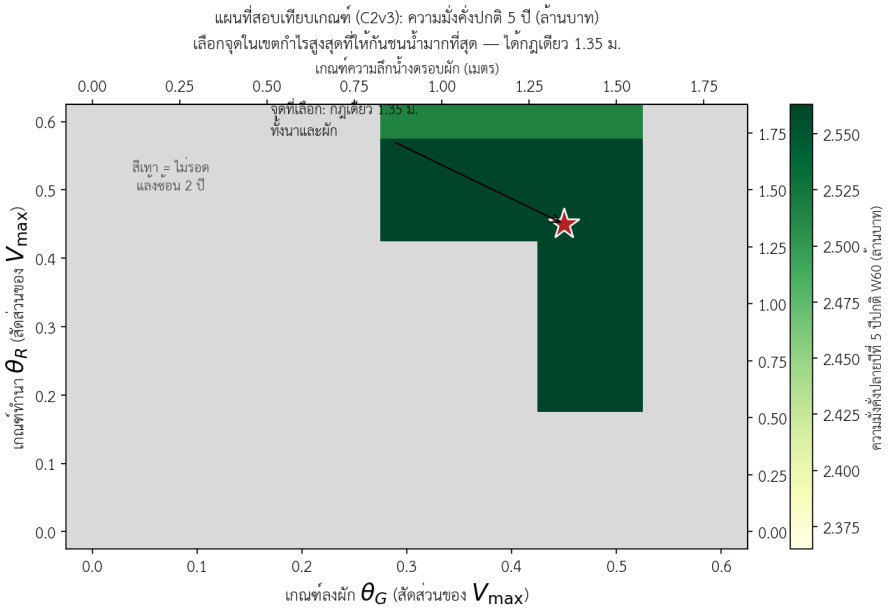
4.2 ขั้น M2: นาเปียกสลับแห้งและกฎระดับน้ำ

ขั้นนี้เพิ่มสองอย่างพร้อมกัน อย่างแรกคือ **การทำนาแบบเปียกสลับแห้ง** (ปล่อยให้หน้าดินแห้งสลับกับขังน้ำตื้น โดยใช้ท่อสังเกตระดับน้ำ) ซึ่งเรากำหนดให้เป็น *มาตรฐานของนาทุกรอบที่ปลูก* ไม่ใช่ทางเลือก เพราะต้นทุนเพิ่มแค่ท่อพีวีซีหลักร้อยบาทต่อไร่ ประหยัดน้ำได้ 25% และไม่มีข้อเสียเชิงระบบ อย่างที่สองคือ **กฎระดับน้ำ** ตามสมการ (8)

เราสอบเทียบค่า θ ด้วยการกวาดทุกค่าตั้งแต่ 0 ถึง 0.60 (169 จุด × 10 ฉาก × 60 เดือน) โดยเลือกแบบสองชั้น คือเอากำไรปีปกติสูงสุดก่อน แล้วในบรรดาจุดที่กำไรเท่ากัน เลือกจุดที่ให้ *กันชนน้ำ* มากที่สุด ผลที่ได้เป็นดังนี้

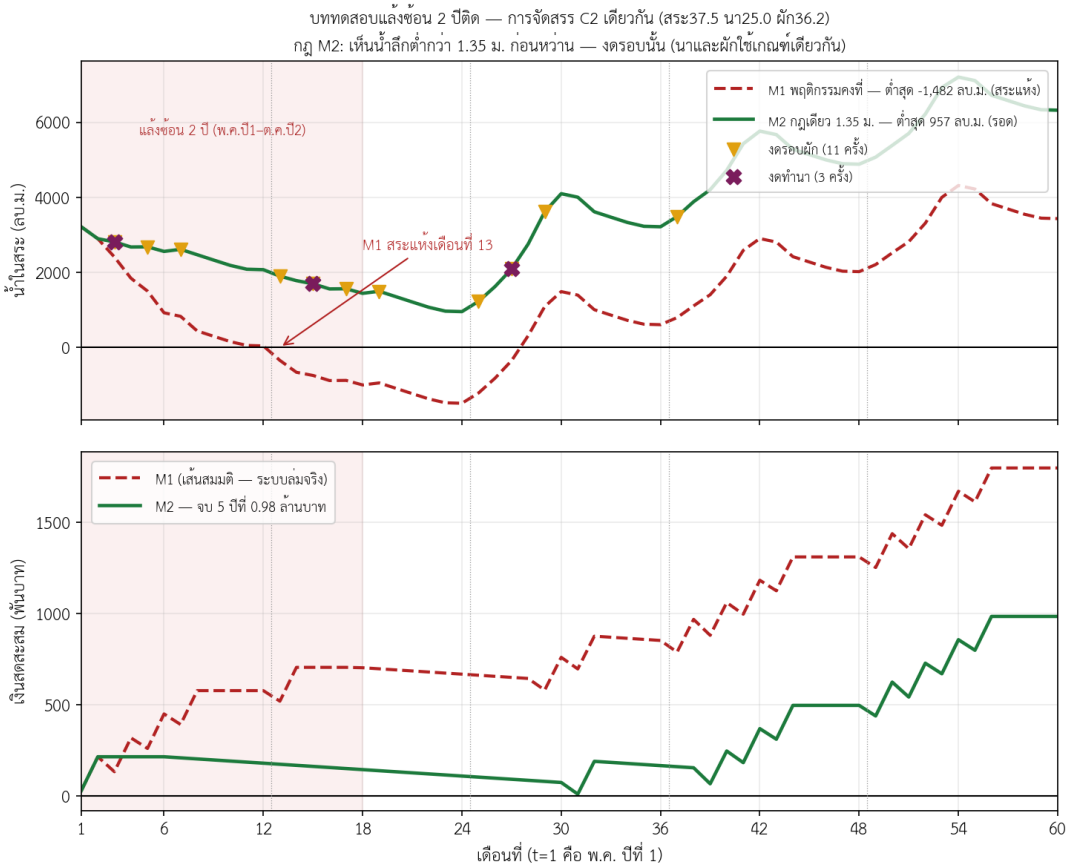
กฎเดียวที่ใช้ได้กับทั้งนาและผัก: "ก่อนหว่าน ถ้าน้ำลึกไม่ถึง 1.35 เมตร ให้งดรอบนั้น"

ที่จุดสอบเทียบนี้ เกณฑ์ระดับน้ำไม่เคยสั่งงดปลูกในปีปกติเลยแม้แต่ครั้งเดียว *กำไรปีปกติจึงเท่ากับ M1 ทุกบาท* แต่ความสามารถใหม่คือรอดแล้งซ้อนที่ M1 ล่มแน่นอน และกันชนน้ำเพิ่มจาก 44 เป็น **957 ลบ.ม.** หรือมากกว่าเดิม 21 เท่า เราจึงเรียกกฎนี้ว่า **"ประกันที่ไม่ต้องจ่ายเบี้ย"** คือจ่ายเฉพาะปีที่ภัยมาจริงเท่านั้น



รูปที่ 4: แผนที่การสอบเทียบเกณฑ์ระดับน้ำ แกนนอนคือเกณฑ์ลงผัก แกนตั้งคือเกณฑ์ทำนา (แกนบนและแกนขวาแปลงเป็นความลึกหน่วยเมตรให้แล้ว) พื้นที่สีเทาคือคู่ค่าที่ระบบไม่รอดแล้งซ้อน พื้นที่สีเขียวเข้มคือคู่ค่าที่รอดโดยความมั่งคั่งปีปกติไม่ลดลง ดาวสีแดงคือจุดที่เราเลือกใช้

สิ่งที่รูปที่ 4 บอกและสำคัญมากในทางปฏิบัติคือ **เขตสีเขียวกว้าง** ไม่ใช่จุดเล็ก ๆ ที่ต้องตั้งให้เป๊ะ นั่นแปลว่าถ้าเกษตรกรตั้งเกณฑ์คลาดไปบ้าง เช่น ใช้ 1.20 เมตรหรือ 1.50 เมตรแทน 1.35 เมตร ระบบก็ยังรอดอยู่ดี *กฎที่ดีต้องทนต่อการใช้งานจริงที่ไม่แม่นยำ* ไม่เช่นนั้นก็เป็นเพียงคำตอบที่สวยบนกระดาษ



รูปที่ 5: บททดสอบแล้งซ้อนสองปีติดกันบนการจัดสรรพื้นที่เดียวกัน เส้นประสีแดงคือ M1 ที่ทำแบบเดิมทุกปี น้ำติดลบตั้งแต่ระหว่างปีที่ 1 คือสระแห้ง ส่วนเส้นทึบสีเขียวคือ M2 ที่มีเกณฑ์ระดับน้ำ สัญลักษณ์สามเหลี่ยมและกากบาทคือเดือนที่ระบบสั่งงดปลูกผักและงดทำนา

รูปที่ 5 แสดงผลของกฎเพียงข้อเดียวต่อชะตาของระบบ ข้อสังเกตอีกข้อคือ *จุดที่สั่งงดปลูกกระจุกตัวอยู่เฉพาะช่วงวิกฤตและช่วงหางของมัน* ไม่ได้กระจายทั่วทั้ง 5 ปี ซึ่งยืนยันว่ากฎนี้ไม่ได้ขี้ระแวงเกินไป และหลังพ้นวิกฤตแล้วระบบฟื้นกลับจนสระเต็มอีกครั้ง

เรายังทดสอบแยกด้วยว่า *ถ้าใช้นาเปียกสลับแห้งอย่างเดียวโดยไม่มีเกณฑ์ระดับน้ำ* จะพอไหม คำตอบคือไม่พอ ระบบล่มทั้งสี่คู่ปีที่ทดสอบแล้งซ้อน การประหยัดน้ำ 25% ช่วยได้จริงแต่ไม่พอชดเชยภัยแล้งสองปีติด *ต้องมีทั้งวิธีปลูกที่ประหยัดและกฎที่ยอมหยุดเป็น*

โมดูลยุ้งข้าวทำให้เราเห็นราคาที่แท้จริงของการงดทำนา คือปีที่งดนาต้องซื้อข้าวกิน เราจึงเทียบสองนโยบายที่อยู่บนมาตรฐานเปียกสลับแห้งเหมือนกัน ต่างกันแค่ระดับเกณฑ์ทำนา

ตารางที่ 7: สองนโยบายเรื่องนาในปีแล้ง (ทั้งสองแบบทำนาเปียกสลับแห้งเสมอเมื่อปลูก)

นโยบาย	มั่งคั่งเมื่อแล้งซ้อน	ต้องซื้อข้าว	กันชนน้ำ
ก. เกณฑ์ทำนา 1.35 ม. (งดง่ายกว่า) — **เลือก**	1,015,443	2,100 กก.	**957**
ข. เกณฑ์ทำนา 1.20 ม. (ยอมเสี่ยงปลูกมากกว่า)	**1,063,443**	**1,402** กก.	351

ตารางนี้แสดงการแลกเปลี่ยนที่ตรงไปตรงมา นโยบาย ข. ให้ทั้งความมั่งคั่งมากกว่าและซื้อข้าวน้อยกว่า แต่ *กันชนน้ำเหลือเพียงหนึ่งในสาม* เราเลือกนโยบาย ก. เพราะเมื่อนำไปทดสอบกับข้อสมมติที่คลาดเคลื่อนตามเงื่อนไข C_{14} นโยบาย ข. ไม่ผ่าน ครอบครัวที่มั่นใจในข้อมูลฝนของพื้นที่ตนเองมากกว่าเราสามารถเลือกนโยบาย ข. ได้บนมาตรฐานเดียวกัน

4.3 ขั้น M3: ไก่ไข่ ปลานิล และขนาดฝูงที่มาจากหลักพึ่งพาตนเอง

โจทย์ไม่ได้ห้ามเลี้ยงสัตว์ และตารางโจทย์เองก็ให้ “สระน้ำมีรายได้ 10 บาท/ตร.ม./รอบ” ซึ่งสระเปล่า ๆ ย่อมไม่มีรายได้ ตัวเลขนี้จะสมเหตุสมผลก็ต่อเมื่อมีการเลี้ยงปลา เรา *ไม่ได้เพิ่มของใหม่ แต่กำลังอธิบายตัวเลขที่โจทย์ให้มา* ยิ่งกว่านั้น นิยามทางการของเกษตรทฤษฎีใหม่ระบุว่าส่วน 10% คือ “ที่อยู่อาศัย *เลี้ยงสัตว์* และโรงเรือนอื่น ๆ” การไม่เลี้ยงสัตว์ต่างหากที่เบี่ยงเบนจากทฤษฎีใหม่

เมื่อปล่อยให้แบบจำลองเลือกจำนวนไก่เองโดยดูกำไรอย่างเดียว จะพบผลที่ต้องระวัง คือ *ยิ่งเลี้ยงมากยิ่งกำไรมาก* เพราะไก่หนึ่งตัวให้ไข่คิดเป็นรายได้ราว 79 บาท/เดือน ขณะที่ค่าอาหารราว 50 บาท/เดือน ส่วนต่างเป็นบวกคงที่ แบบจำลองจึงอยากเพิ่มไก่ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะติดเพดานที่ดินหรือเงินทุน **นี่คือข้อจำกัดของแบบจำลอง ไม่ใช่ข้อค้นพบ** เพราะในความจริงตลาดไข่ในหมู่บ้านมีขนาดจำกัด และแรงงานดูแลไก่ก็มีขีดจำกัด

เราจึงไม่ปล่อยให้กำไรเป็นผู้ตัดสิน แต่ใช้หลักพึ่งพาตนเองสองข้อคุมขนาดฝูงจากทั้งสองด้าน

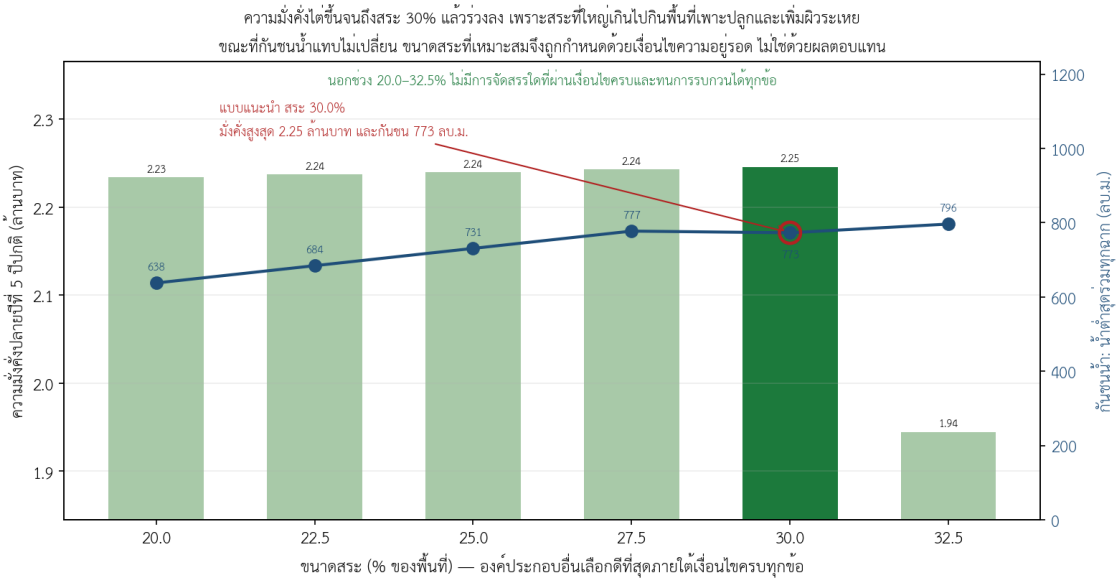
ตารางที่ 8: ขอบเขตของขนาดฝูงไก่จากเงื่อนไขเชิงคุณค่าสองข้อ

เงื่อนไข	สมการ	ความหมายอย่างเข้าใจง่าย
C_{13} ไข่พอกิน (ขอบล่าง)	$22.5n \geq 120$	ต้องมีไก่อย่างน้อย 6 ตัวจึงจะได้ไข่วันละฟองต่อคนครบทั้งบ้าน
C_{12} เลี้ยงเองได้ (ขอบบน)	$y_{\mathrm{R}} A_{\mathrm{R}} \geq 12(h + gn)$	ข้าวที่เกี่ยวได้หนึ่งปีต้องพอทั้งคนกินและไก่เบิก ไก่จึงไม่ต้องพึ่งอาหารสำเร็จเป็นหลัก

ที่นาขนาด 2,475 ตร.ม. ข้าวที่เกี่ยวได้ปีละ $0.46 \times 2{,}475 = 1{,}139$ กก. ขณะที่คนกินปีละ 720 กก. เหลือให้ไก่ 419 กก. หรือเลี้ยงได้ราว 34 ตัว เงื่อนไขทั้งสองจึงบีบขนาดฝูงไว้ในช่วง 6 ถึง 34 ตัว และในช่วงนี้แบบจำลองเลือก **10 ตัว** ซึ่งให้ไข่ 225 ฟองต่อเดือน ครัวเรือนกินเอง 120 ฟอง เหลือขาย 105 ฟอง *เป็นฝูงขนาด “พอกินแล้วเหลือขาย” อย่างแท้จริง* ไม่ใช่ฟาร์มไก่

4.4 การเลือกแบบเมื่อความทนทานเป็นเงื่อนไขบังคับ

ภายใต้กรอบพึ่งพาตนเอง พื้นที่ผักถูกจำกัดอยู่ที่ 1 ไร่ตามกำลังแรงงานของครอบครัว คำถามที่เหลือคือควรแบ่งพื้นที่ส่วนที่เหลือให้สระนา และไม้ผลอย่างไร เราจึงกวาดหาคำตอบทุกขนาดสระแล้วนำมาเทียบกัน



รูปที่ 6: ความมั่งคั่งและกันชนน้ำที่ขนาดสระต่าง ๆ เมื่อบังคับให้ผ่านเงื่อนไขครบทุกข้อและทนความคลาดเคลื่อนได้ทุกกรณี แท่งสีเขียวคือความมั่งคั่งปลายปีที่ 5 เส้นสีน้ำเงินคือกันชนน้ำ นอกช่วง 20–32.5% ไม่มีการจัดสรรใดผ่านเลย

รูปที่ 6 บอกสามอย่าง อย่างแรก **เงื่อนไขความทนทานตัดตัวเลือกออกไปเกือบหมด** เหลือขนาดสระที่ใช้ได้เพียงช่วง 20 ถึง 32.5% เท่านั้น สระเล็กกว่านี้เก็บน้ำไม่พอผ่านแล้งซ้อน ส่วนสระใหญ่กว่านี้กินพื้นที่เพาะปลูกจนรายได้ไม่พอและเพิ่มผิวระเหยไปพร้อมกัน อย่างที่สอง **ในช่วงที่เหลือ ความมั่งคั่งค่อย ๆ ไต่ขึ้นจนถึง 30% แล้วร่วงลงทันที** จุดสูงสุดจึงชัดเจน อย่างที่สาม *กันชนน้ำแทบไม่เปลี่ยนตลอดช่วงนี้* (638 ถึง 796 ลบ.ม.) แปลว่าเมื่อผ่านด่านความทนทานมาแล้ว ทุกตัวเลือกที่เหลือปลอดภัยพอ ๆ กัน การเลือกจุดสูงสุดของความมั่งคั่งจึงไม่ได้แลกมาด้วยความเสี่ยง

ตารางที่ 9: หกอันดับแรกด้วยความมั่งคั่ง เมื่อผ่านเงื่อนไข C_1–C_{13} ที่ค่าฐานแล้ว

อันดับ	สระ:นา:ไม้ผล (%)	ไก่/ปลา	มั่งคั่งปีที่ 5	กันชน	ผ่าน C_{14}
1	40.0 : 28.7 : 5.0	10 / 2	2,264,355	620	ไม่ผ่าน
2	37.5 : 31.2 : 5.0	10 / 2	2,254,526	660	ไม่ผ่าน
3	35.0 : 33.7 : 5.0	10 / 2	2,251,639	700	ไม่ผ่าน
4	32.5 : 36.2 : 5.0	10 / 2	2,248,753	740	ไม่ผ่าน
5 (เลือก)	**30.0 : 38.7 : 5.0**	**10 / 2**	**2,245,867**	**773**	**ผ่าน**
6	27.5 : 41.2 : 5.0	10 / 2	2,242,980	777	ผ่าน

ตารางที่ 9 คือเหตุผลที่เราตั้งความทนทานเป็นเงื่อนไขบังคับแทนที่จะเป็นเกณฑ์รอง สี่อันดับแรกมีความมั่งคั่งสูงกว่าแบบที่เราเลือกเพียง 0.1 ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความต่างที่แทบไม่มีความหมายในทางปฏิบัติ แต่ทั้งสี่แบบนั้น *ล่มทันทีที่ข้อสมมติคลาดไปหนึ่งขั้น* ถ้าเราจัดอันดับด้วยกำไรอย่างเดียวแล้วรายงานความไวทีหลัง เราจะเสนอคำตอบที่เปราะบางโดยไม่รู้ตัว

4.5 ราคาของความหลากหลาย

เงื่อนไข C_{11} ที่บังคับให้มีไม้ผลอย่างน้อย 5% เป็นข้อจำกัดเชิงคุณค่า ไม่ใช่สิ่งที่กำไรเรียกร้อง เราจึงต้องตอบให้ได้ว่ามันมีราคาเท่าไร โดยหาแบบที่ดีที่สุดของแต่ละระดับไม้ผลภายใต้เงื่อนไขความทนทานเดียวกัน

ตารางที่ 10: แบบที่ดีที่สุดในแต่ละระดับไม้ผล เมื่อบังคับให้ทนความคลาดเคลื่อนครบทุกกรณี

ไม้ผล	สระ:นา:ผัก (%)	มั่งคั่งปีที่ 5	กันชน	ราคาที่จ่าย
0%	40.0 : 33.7 : 25.0	2,265,412	1,042	—
5% (เลือก)	**30.0 : 38.7 : 25.0**	**2,245,867**	**773**	**−19,546**
10%	ไม่มีการจัดสรรใดที่ทนความคลาดเคลื่อนได้ครบทุกกรณี			
15%	ไม่มีการจัดสรรใดที่ทนความคลาดเคลื่อนได้ครบทุกกรณี			

ตารางนี้ตอบคำถามได้ตรงมาก **การยืนยันเก็บไม้ผลไว้ 5% มีราคา 19,546 บาทใน 5 ปี หรือไม่ถึงหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของความมั่งคั่ง** เป็นราคาที่ครัวเรือนจ่ายไหวเพื่อให้ตะกร้าอาหารครบเป็นข้าว ผัก ไข่ ปลา และผลไม้ แต่ในทางกลับกัน **ไม้ผลตั้งแต่ 10% ขึ้นไปไม่ใช่เรื่องของราคาอีกต่อไป เพราะไม่มีการจัดสรรใดทนความคลาดเคลื่อนได้เลย** ไม้ผลกินน้ำทุกเดือนตลอดปีรวมทั้งหน้าแล้ง ต่างจากนาและผักที่กินน้ำเฉพาะฤดู เมื่อคิดบัญชีน้ำอย่างเคร่งครัดแล้วภาระน้ำหน้าแล้งนี้จึงกลายเป็นข้อจำกัดที่แท้จริง *นี่คือเส้นแบ่งระหว่างความหลากหลายที่จ่ายไหวกับความหลากหลายที่เกินตัว*

เมื่อไล่ทดสอบการรบกวนทั้งห้าแบบ ทั้งสองแบบผ่านหมด แต่แบบที่ไม่มีไม้ผลมีระยะถอยกว้างกว่าเสมอ คือกันชนน้ำอยู่ระหว่าง 95 ถึง 1,042 ลบ.ม. ขณะที่แบบแนะนำอยู่ระหว่าง 53 ถึง 773 ลบ.ม. ราคาของความหลากหลายจึงไม่ได้จ่ายเป็นเงินอย่างเดียว แต่

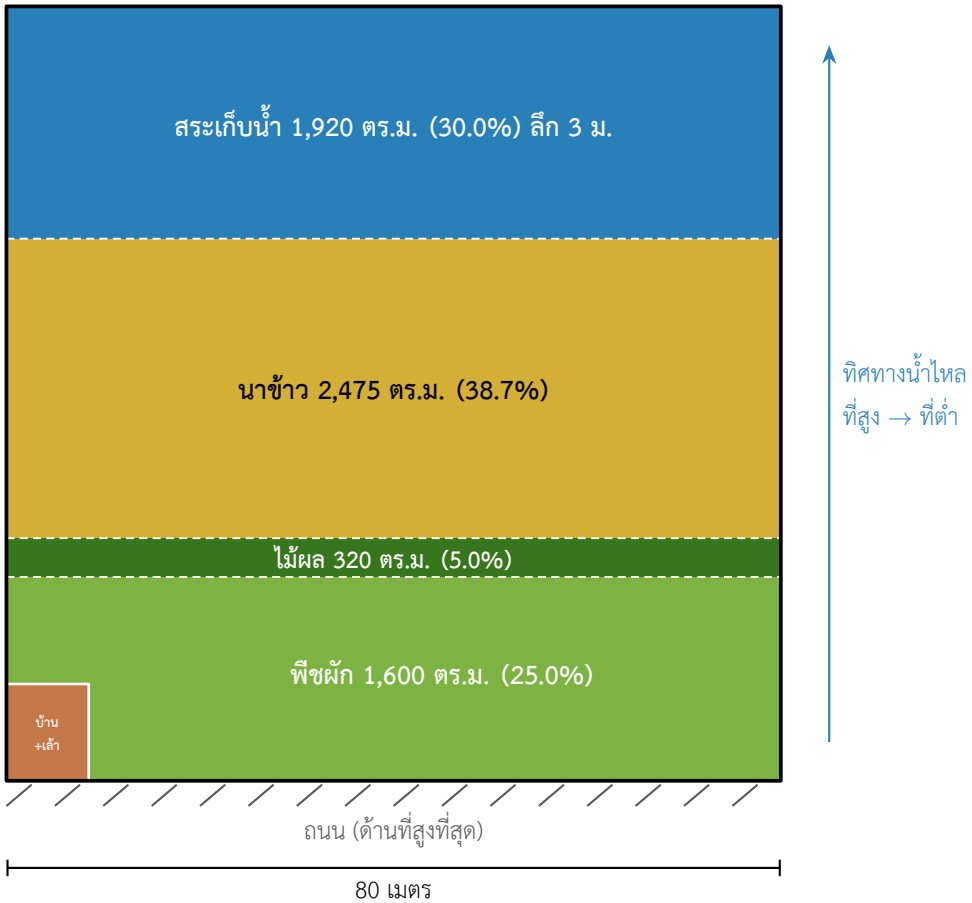
จ่ายเป็น *ความหนาของกันซน* ด้วย ซึ่งเราถือว่ายังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เพราะแม้ในกรณีที่โหดที่สุดคือฝนน้อยลง 10% ระบบก็ยังเหลือน้ำ 80 ลบ.ม. และไม่มีเดือนใดที่สระแห้ง

5 ผลการออกแบบ (ตอบข้อกำหนดของโจทย์)

ข้อ 3.2 การจัดสรรพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 11: สัดส่วนและขนาดจริงของแต่ละส่วน (พื้นที่รวม 6,400 ตร.ม.)

ส่วน	ตร.ม.	ไร่	%	บทบาทในระบบ
สระเก็บน้ำ	1,920	1.20	30.0	หัวใจของระบบ ลึก 3 ม. จุ 5,760 ลบ.ม. เลี้ยงปลานิล 3,840 ตัว/รอบ
นาข้าว	2,475	1.55	38.7	ข้าวกินเองทั้งปี + รำเลี้ยงไก่ + เหลือขาย ทำแบบเปียกสลับแห้ง
ไม้ผล	320	0.20	5.0	ผลไม้สำหรับครัวเรือน และรายได้ที่โตขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะยาว
พืชผัก	1,600	1.00	25.0	รายได้หลักรายเดือน เท่ากับกำลังแรงงานของครอบครัวพอดี
ที่อยู่อาศัย	85	0.05	1.3	บ้าน 80 ตร.ม. + เล้าไก่ 5 ตร.ม. (สร้างปีที่ 2)
รวม	**6,400**	**4.00**	**100**	เงินลงทุนเริ่มต้น $I_0 = 187{,}525$ บาท ($\leq 200{,}000$)



รูปที่ 7: ผังการจัดสรรพื้นที่ 4 ไร่ วางเรียงตามระดับความสูงจากถนน (ที่สูง) ลงไปหาสระ (ที่ต่ำ) เพื่อให้แรงโน้มถ่วงพาน้ำฝนส่วนเกินที่ไหลบนผิวดินมารวมกันที่สระเอง บ้านอยู่มุมติดถนนบนที่สูงและอยู่ติดแปลงผักซึ่งต้องดูแลทุกวัน นาข้าวอยู่ติดสระเพราะใช้น้ำมากที่สุด

ข้อสังเกตที่เราไม่ได้ตั้งใจให้เกิด: เมื่อรวมไม้ผลกับพืชผักเข้าด้วยกันเป็น “พืชผสมผสาน” ตามที่โจทย์แบ่ง จะได้สัดส่วน **สระ 30.0 : นา 38.7 : พืชผสม 30.0 : ที่อยู่อาศัย 1.3** ซึ่ง *ตัวเลขของสระและพืชผสมผสานตรงกับทฤษฎีใหม่พอดีทั้งคู่* ทั้งที่เราไม่ได้กำหนดสัดส่วนนี้ไว้ล่วงหน้าเลย ส่วนที่ต่างชัดเจนมีสองจุดคือ ที่อยู่อาศัยซึ่งตารางต้นทุนของโจทย์บังคับให้เล็กลง และนาข้าวซึ่งใหญ่ขึ้นเพราะเงื่อนไขข้าวพอกินกับข้าวเลี้ยงไก่ แบบจำลองจึง *ค้นพบหลักการของทฤษฎีใหม่ซ้ำอีกครั้ง* ด้วยเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ล้วน ๆ

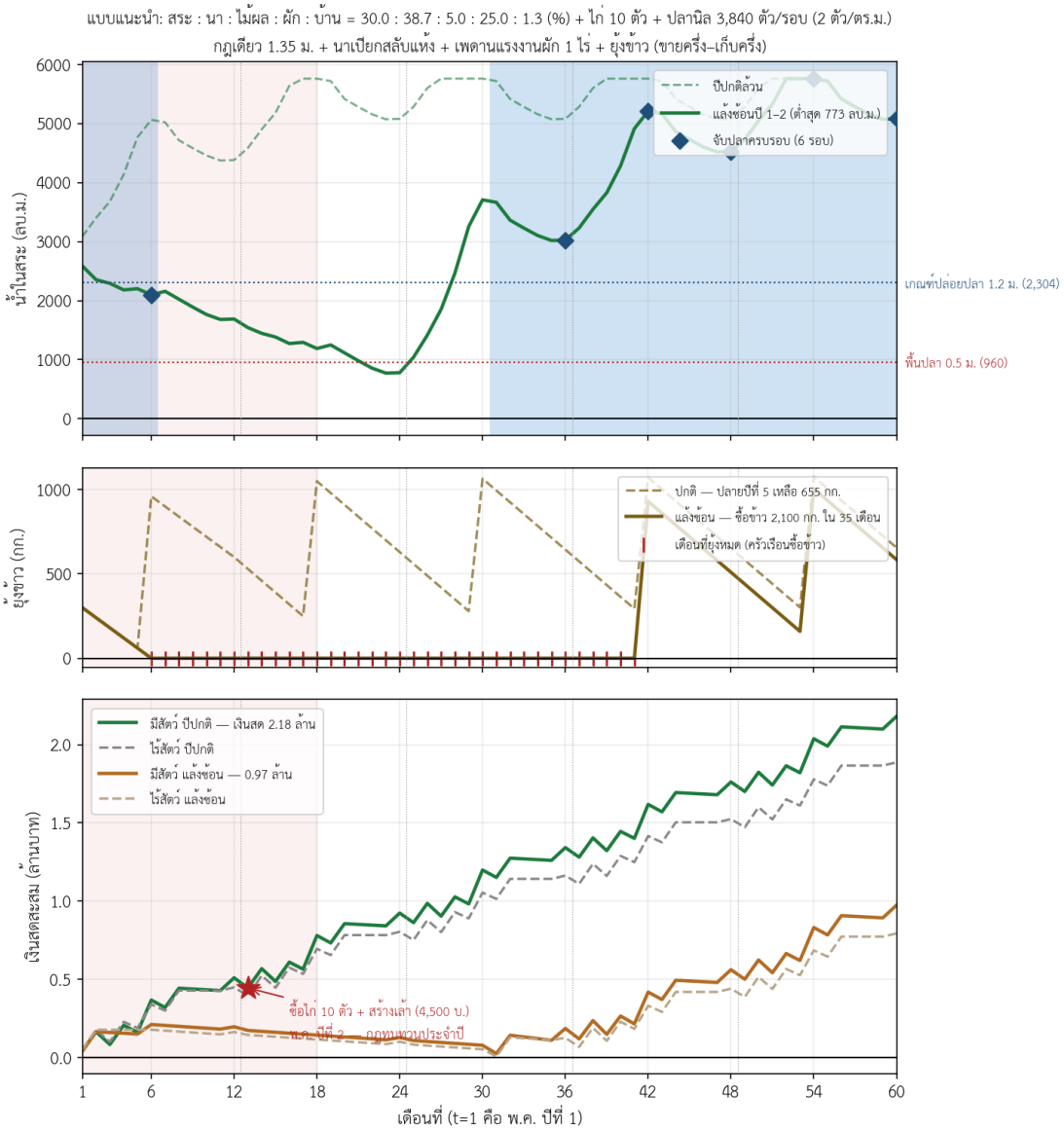
ข้อ 3.3 บทพิสูจน์ความยั่งยืน: ผลการทดสอบวิกฤตภัยแล้ง

นี่คือหัวใจของโจทย์ เราทดสอบแบบแนะนำกับฉากที่โหดที่สุดคือ **แล้งซ้อนสองปีติดกันตั้งแต่ปีแรก** ซึ่งเป็นฉากที่ M1 ทุกแบบล่มหมด ตารางที่ 12 แสดงสถานะทั้งสามตัวรายเดือนตลอด 24 เดือนแรก

ตารางที่ 12: สถานะรายเดือน 24 เดือนแรก เปรียบเทียบปีปกติกับฉากแล้งซ้อนสองปีติด

	ปีปกติล้วน			แล้งซ้อน ปีที่ 1–2		
เดือน	**น้ำ (ลบ.ม.)**	**ยุ้ง (กก.)**	**เงินสด**	**น้ำ (ลบ.ม.)**	**ยุ้ง (กก.)**	**เงินสด**
พ.ค. ปี 1	3,085	300	42,016	2,588	300	42,016
มิ.ย. ปี 1	3,401	240	165,120	2,355	240	165,120
ก.ค. ปี 1	3,681	180	83,099	2,292	180	160,224
ส.ค. ปี 1	4,137	120	206,203	2,182	120	155,328
ก.ย. ปี 1	4,768	60	161,307	2,202	60	150,432
ต.ค. ปี 1	5,061	**959**	367,466	2,098	0	211,056
พ.ย. ปี 1	5,020	899	319,882	2,158	0	205,186
ธ.ค. ปี 1	4,716	839	442,986	2,025	0	199,317
ม.ค.–มี.ค. ปี 1	4,373–4,583	659–779	≈433,000	1,682–1,891	0	≈188,000
เม.ย. ปี 1	4,380	599	509,722	1,689	0	196,639
พ.ค. ปี 2	4,585	529	445,021	1,544	0	173,340
มิ.ย.–ก.ย. ปี 2	4,901–5,760	249–459	486,469–609,756	1,274–1,447	0	149,344–167,341
ต.ค. ปี 2	5,760	**1,049**	780,153	1,189	0	143,345
พ.ย.–ธ.ค. ปี 2	5,415–5,718	909–979	732,751–856,038	1,116–1,250	0	131,348–137,347
ม.ค.–มี.ค. ปี 2	5,072–5,281	699–839	≈847,000	**773**–982	0	≈119,000
เม.ย. ปี 2	5,078	629	923,505	780	0	128,152
ต่ำสุดตลอด 5 ปี	**3,085**	**60**	**42,016**	**773**	**0**	**25,078**

คอลัมน์ซ้ายของตารางเป็นปีปกติ ยุ้งข้าวมีลักษณะเป็นฟันเลื่อยอย่างสม่ำเสมอ คือเติมเต็มทุกเดือนตุลาคมแล้วค่อย ๆ ลดลงจากการกิน โดยไม่เคยแตะศูนย์เลย ส่วนคอลัมน์ขวาเป็นฉากวิกฤต ซึ่งมีสามอย่างเกิดขึ้นพร้อมกัน หนึ่ง *น้ำในสระต่ำลงเรื่อย ๆ แต่ไม่เคยติดลบ* จุดต่ำสุดคือ 773 ลบ.ม. ในเดือนมีนาคมปีที่ 2 สอง *ยุ้งข้าวแบนอยู่ที่ศูนย์นาน 36 เดือน* เพราะเกณฑ์ระดับน้ำสั่งงดทำนาสองปีติด ครัวเรือนต้องซื้อข้าวรวม 2,100 กก. และสาม *เงินสดลดลงแต่ไม่เคยติดลบ* เพราะรายได้จากไข่ไก่ยังเข้าทุกเดือนไม่ขึ้นกับฝน



รูปที่ 8: วิถีของระบบสามสถานะตลอด 60 เดือน แผงบนคือน้ำในสระพร้อมวงชีวิตปลา (แถบฟ้าคือเดือนที่มีปลาในบ่อ) แผงกลางคือยุ้งข้าว (ขีดแดงคือเดือนที่ต้องซื้อข้าว) แผงล่างคือเงินสด (ดาวแดงคือจังหวะที่กฎอนุมัติซื้อไก่ในปีที่ 2)

ตารางที่ 13: สรุปผล 5 ปีของแบบแนะนำ ทั้งสามฉาก

	ปีปกติล้วน	**แล้งเดี่ยว (ปีที่ 1)**	**แล้งซ้อน (ปีที่ 1–2)**
ความมั่งคั่งปลายปีที่ 5 (บาท)	**2,245,867**	1,604,866	1,031,700
ถ้าไม่เลี้ยงสัตว์ (บาท)	1,956,693	1,368,193	853,943
ส่วนเพิ่มจากสัตว์ หลังครัวเรือนกินอิ่ม	+289,174	+236,673	+177,757
เฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)	449,173	320,973	206,340
ยุ้งข้าวคงเหลือปลายปีที่ 5 (กก.)	655	621	584
ข้าวที่ขายได้ใน 5 ปี (กก.)	1,318	634	373
ต้องซื้อข้าว (กก. / จำนวนเดือน)	**0 / 0**	1,380 / 23	2,100 / 35
รอบปลาสำเร็จ (จาก 10 รอบ)	10	8	6
โปรตีนจากไข่และปลา (กก./ปี)	429	346	263
น้ำในสระต่ำสุด (ลบ.ม.)	3,085	1,682	**773**
เงินสดต่ำสุด (บาท)	42,016	42,016	25,078

บทสรุปของบทพิสูจน์ความยั่งยืน: ตลอด 60 เดือน ในทั้ง 10 ฉากทดสอบ *ไม่มีเดือนใดเลยที่น้ำในสระหมดหรือเงินสดติดลบ* แม้ในฉากที่โหดที่สุด ระบบยังเหลือน้ำ 773 ลบ.ม. และเงินสด 25,078 บาท ที่สำคัญกว่านั้นคือ *ในปีปกติครอบครัวไม่ต้องซื้อข้าวกินเลยแม้แต่เดือนเดียว* ยังขายข้าวได้อีก 1,318 กก. และได้โปรตีนจากไข่กับปลาถึง 429 กก./ปี ซึ่งเกินความต้องการของครอบครัว 4 คน (ประมาณ 80 กก./ปี) ถึง 5.4 เท่า และผลทั้งหมดนี้ยังยืนอยู่ได้แม้ข้อสมมติเรื่องการระเหยและน้ำท่าจะคลาดเคลื่อนไปทางร้ายทุกทาง

ข้อ 3.4 การคาดการณ์ระยะยาว 5 ปี 10 ปี และ 15 ปี

เราขยายการจำลองเป็น 180 เดือน โดยเพิ่มความสมจริงสองอย่าง อย่างแรกคือ **ความถี่ของภัยแล้ง** ปรากฏการณ์เอลนีโญเกิดซ้ำราวทุก 3–7 ปี เราจึงตั้งฉากกลางเป็นแล้งปีที่ 3, 8, 13 และฉากร้ายเป็นแล้งซ้อนปีที่ 1–2 บวกปีที่ 8 และ 13 อย่างที่สองคือ **เส้นโค้งอายุไม้ผล** เพราะตารางโจทย์ให้รายได้ไม้ผลแบนราบทุกปีซึ่งไม่ตรงกับชีววิทยาของต้นไม้

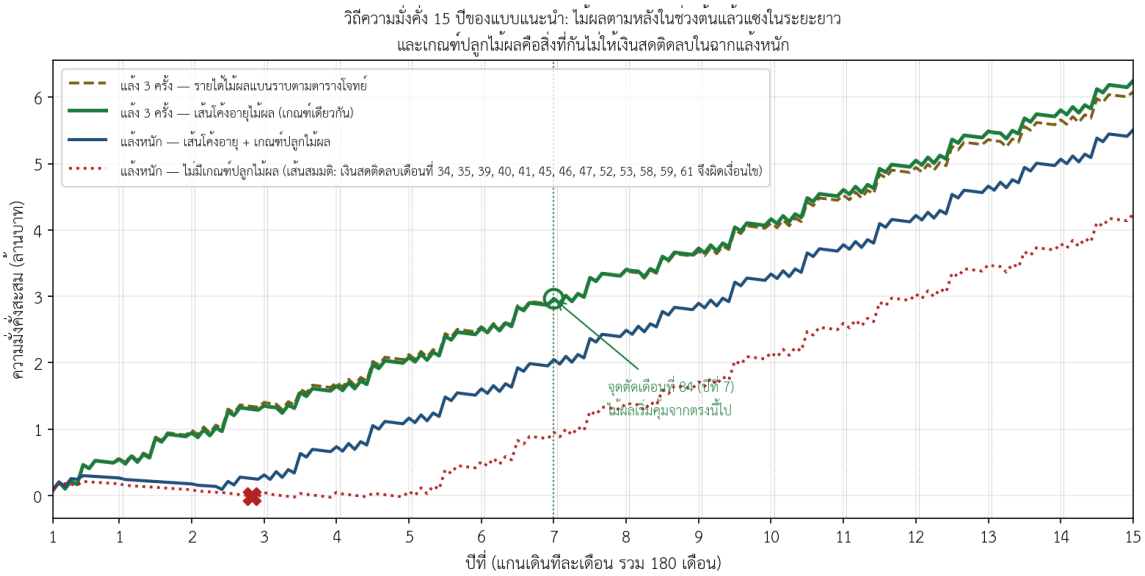
ตารางที่ 14: ตัวคูณรายได้ไม้ผลตามอายุต้น (ค่าบำรุงคงที่ทุกปี)

อายุต้น (ปี)	1	2	3	4	5	6 ขึ้นไป
ตัวคูณของ 65 บาท/ตร.ม.	0	0	0.5	1.0	1.5	2.0

การเพิ่มเส้นโค้งอายุเผยจุดเปราะใหม่ที่เราไม่เคยเห็นมาก่อน คือ *ถ้าแล้งซ้อนมาตั้งแต่ปีแรก ไม้ผลอายุ 1–2 ปีจะจ่ายค่าบำรุงและดื่มน้ำเต็มที่แต่ยังไม่ให้รายได้เลย* ซ้อนกับผักที่ถูกเกณฑ์ระดับน้ำงดรอบ ทำให้เงินสดติดลบ เราจึงเพิ่ม **เกณฑ์ปลูกไม้ผล** ให้ครบภาษาการออกแบบเดียวกัน คือปลูกไม้ผลในเดือนกรกฎาคมแรกที่ระดับน้ำผ่านเกณฑ์ ปีปกติจึงปลูกตั้งแต่ปีแรกตามเดิม ส่วนฉากร้ายเลื่อนออกไปโดยอัตโนมัติ

ตารางที่ 15: ความมั่งคั่งของแบบแนะนำ ณ ปีที่ 5, 10 และ 15 (ล้านบาท)

ฉาก	โปรไฟล์ไม้ผล	ปีที่ 5	ปีที่ 10	ปีที่ 15	ซื้อข้าว
ปกติล้วน	ตามตารางโจทย์	2.25	4.35	6.45	0
ปกติล้วน	เส้นโค้งอายุ+เกณฑ์ปลูกไม้ผล	2.20	4.41	**6.62**	0
แล้ง 3 ครั้ง (ปี 3, 8, 13)	ตามตารางโจทย์	2.12	4.10	6.08	0
แล้ง 3 ครั้ง	เส้นโค้งอายุ+เกณฑ์ปลูกไม้ผล	2.17	4.34	**6.51**	0
แล้งหนัก (ซ้อน 1–2 + 8, 13)	เส้นโค้งอายุ+เกณฑ์ปลูกไม้ผล	1.17	3.34	**5.51**	2,100 กก.
แล้งหนัก	เส้นโค้งอายุ *ไม่มีเกณฑ์ปลูกไม้ผล*	เงินสดติดลบ 13 เดือน ต่ำสุด −25,250 บาท			



รูปที่ 9: วิถีความมั่งคั่ง 180 เดือน เส้นโค้งอายุตามหลังโปรไฟล์ตารางในช่วงต้นเพราะไม้ผลยังเด็ก แล้วแซงที่ **ปีที่ 7** และทิ้งห่างต่อเนื่อง ส่วนเส้นประแดงคือกรณีที่ไม่มีเกณฑ์ปลูกไม้ผล ซึ่งเงินสดติดลบตั้งแต่เดือนที่ 34 จึงผิดเงื่อนไข

รูปที่ 9 แสดง **จุดตัดที่ปีที่ 7** ไม้ผลดูเหมือนเป็นรายจ่ายที่ไม่คุ้มค่าในช่วงต้น แต่กลายเป็นแหล่งความมั่งคั่งสำคัญหลังจากนั้น และทำให้ความมั่งคั่งปีที่ 15 สูงขึ้น 0.17–0.52 ล้านบาทในทุกฉากที่รอด สิ่งนี้เชื่อมกับหัวข้อ 4.5 ได้พอดี คือราคาของความหลากหลาย 19,546 บาทที่จ่ายไปในห้าปีแรก *ได้คืนหลายเท่าตัวเมื่อมองยาวถึงสิบห้าปี*

คำตอบข้อ 3.4: สัดส่วนที่ได้ *ยังสอดคล้องกับทฤษฎีใหม่ และยิ่งสอดคล้องมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป* ด้วยเหตุผลสามข้อ **(1)** ผังที่ดินไม่ต้องแก้ไขเลยตลอด 15 ปี สิ่งที่ปรับเปลี่ยนตามกาลเวลาคือ *พฤติกรรม* (กฎระดับน้ำและเกณฑ์ปลูกไม้ผล) ไม่ใช่เส้นแบ่งบนดิน ซึ่งตรงกับหัวใจของทฤษฎีใหม่ที่เป็นหลักการ ไม่ใช่สูตร **(2)** แถวไม้ผลที่ดูแพงในระยะสั้นคือการลงทุนข้ามรุ่นแบบเดียวกับปรัชญาทฤษฎีใหม่ **(3)** วิถี 15 ปีของระบบไล่ตามขั้นตอนของทฤษฎีใหม่เอง คือปีที่ 1–5 เป็น *ขั้นที่หนึ่ง พออยู่พอกิน* แล้วปีที่ 6–15 เข้าสู่ *ขั้นก้าวหน้า* (ยุ้งและเงินสดโตพอจะขยายการผลิตเพิ่มผ่านเกณฑ์เดิม)

6 การตรวจสอบและปรับปรุงแบบจำลอง (Validation & Refinement)

6.1 การตรวจสอบด้วยการคำนวณมือ

เราตรวจผลของโปรแกรมด้วยการคำนวณมือทีละขั้นในจุดสำคัญ ทุกจุดตรงกันทุกหลัก

(1) สมการน้ำหนึ่งเดือนเต็ม (เดือนพฤษภาคมของปีแล้ง กรณี C2 สระ 2,400 นา 1,600 ผัก 2,320 ตร.ม. น้ำเริ่มต้น 3,600,000 ลิตร ฝน 40 มม. ระเหย 180 มม. เดือนนี้ผักกำลังปลูกแต่นายังไม่เริ่ม)

$$V_1 = 3{,}600{,}000 + \underbrace{96{,}000}_{\text{ฝนลงสระ}} + \underbrace{19{,}200}_{\text{น้ำท่า}} - \underbrace{302{,}400}_{\text{ระเหย}} - \underbrace{185{,}600}_{\text{รดผัก}} - \underbrace{12{,}800}_{\text{ครัวเรือน}} = \mathbf{3{,}214{,}400} \text{ ลิตร}$$

โดยฝนลงสระ $= 40 \times 2{,}400$ ระเหย $= 0.7 \times 180 \times 2{,}400$ รดผัก $= (120 - 40) \times 2{,}320$ และน้ำท่า $= 0.3[\,40 \times 1{,}600 + \max(0, 40 - 120) \times 2{,}320\,] = 19{,}200$ ตัวอย่างนี้แสดงกติกาน้ำท่าใหม่ได้ชัด แปลงผักที่กำลังปลูกไม่ส่งน้ำท่าลงสระเลยในเดือนนั้น เพราะฝน 40 มม. ยังไม่พอสำหรับความต้องการ 120 มม. ด้วยซ้ำ ส่วนแปลงนาที่ยังว่างส่งน้ำท่าเต็มสัดส่วน

(2) กติกายุ้งข้าว ณ การเก็บเกี่ยวครั้งแรก เสบียงติดตัว 360 กก. เหลือ 60 กก. ก่อนเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวได้ $0.46 \times 2{,}475 = 1{,}138.5$ กก. รวมเป็น 1,198.5 กก. สำรองที่ต้องกันไว้ $\sigma = 12(60 + 1 \times 10) = 840$ กก. เหลือส่วนเกิน 358.5 กก. ขายครึ่งหนึ่งคือ 179.25 กก. เป็นเงิน 17,536 บาท ยุ้งเหลือ 1,019.25 กก. แล้วครัวเรือนกิน 60 กก. เหลือ $\mathbf{959.25}$ กก. ตรงกับตารางที่ 12 ทุกหลัก

(3) กฎซื้อไก่ ปีที่ 1 มีเงิน $M_0 = 200{,}000 - 30(1{,}920) - 500(80) = 102{,}400$ บาท ค่าเพาะปลูกทั้งปี $= 25(1{,}600) + 40(320) + 15(2{,}475) = 89{,}925$ ทดสอบได้ $102{,}400 - 4{,}500 = 97{,}900 < 89{,}925 + 20{,}000 = 109{,}925$ จึง *เลื่อน* ปีที่ 2 มีเงิน 509,722 ได้ $505{,}222 \geq 109{,}925$ จึง *ซื้อ* ตรงกับผลโปรแกรมที่เดือนที่ 13 พอดี

(4) เศรษฐศาสตร์ปลาหนึ่งรอบ ปล่อย 3,840 ตัวบนสระ 1,920 ตร.ม. จับได้ $0.3 \times 2 \times 1{,}920 = 1{,}152$ กก. เก็บกิน 60 กก. ขาย 1,092 กก. $\times$ 60 บาท $= 65{,}520$ บาท ค่าพันธุ์ 2,688 บาท ค่าอาหารก่อนมีไก่ 29,376 บาท กำไรรอบละ 33,456 บาท เมื่อไก่ 10 ตัวเข้าฝูงแล้ว มูลไก่ทำให้ค่าอาหารถูกลงเหลือ 28,166 บาท กำไรเพิ่มเป็น 34,666 บาท *มูลไก่จึงมีค่ารอบละ* 1,210 *บาท*

6.2 การตรวจสอบพฤติกรรมของกฎ

นอกจากตัวเลข เรายังตรวจว่ากฎทำงานอย่างที่ตั้งใจหรือไม่ ผลคือ *เกณฑ์ระดับน้ำไม่เคยสั่งงดปลูกในปีปกติเลยสักครั้ง ครัวเรือนไม่เคยซื้อข้าวในปีปกติ ไม่มีการจับปลาฉุกเฉินในทุกฉากทั้งสิบ* (แปลว่าเกณฑ์ปล่อยปลาที่ 1.2 เมตรอนุรักษนิยมพอ ปลาไม่เคยตายในบ่อ) และ *ไก่เข้าฝูงเดือนที่ 13 เหมือนกันทุกฉาก* ซึ่งแปลว่ากฎไม่แกว่งไปตามโชคของปีแรก

6.3 การทดสอบกรณีสุดขั้ว

เราจงใจป้อนค่าที่ผิดปกติเข้าไปเพื่อดูว่าแบบจำลองตอบสนองถูกทิศหรือไม่ ถ้าปิดฝนทั้งหมด สระแห้งภายในปีแรก (น้ำต่ำสุด $-11{,}092$ ลบ.ม.) ถ้าตั้ง $k_p \to 1$ แบบ M1 กลับไปไม่รอดแม้แล้งเดี่ยว ($-1{,}271$ ลบ.ม.) ถ้าตั้งเกณฑ์ระดับน้ำเป็นศูนย์ พฤติกรรมกลับไปเหมือน M1 คือไม่งดปลูกเลย และถ้าเลี้ยงไก่ 60 ตัวซึ่งผิดเงื่อนไข C_{12} ยุ้งข้าวจะเลี้ยงไม่พอจนไก่ต้องพึ่งอาหารสำเร็จเป็นหลัก ทุกกรณีตอบสนองถูกทิศทางหมด

6.4 การวิเคราะห์ความไวเชิงโลกด้วยดัชนีโซบอล

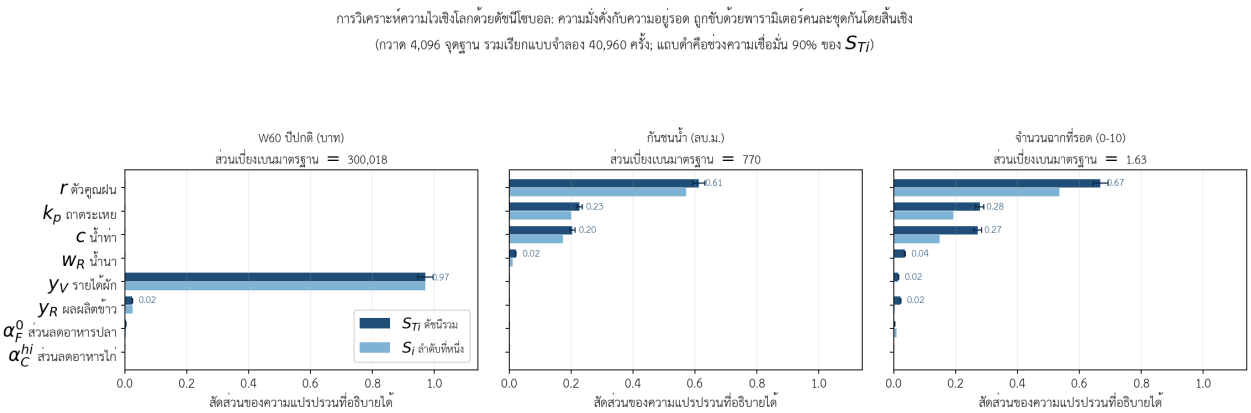
เงื่อนไข C_{14} ทดสอบด้วยการรบกวนทีละตัว ซึ่งตอบได้ว่า “ถ้าตัวนี้ผิดไปหนึ่งขั้น ระบบยังรอดไหม” แต่ตอบไม่ได้ว่า *ความไม่แน่นอนทั้งหมดของผลลัพธ์มาจากตัวไหนบ้าง และมากแค่ไหน* เราจึงทำการวิเคราะห์ความไวเชิงโลกด้วย **ดัชนีโซบอล** (Sobol’ variance-based sensitivity analysis) ซึ่งกวาดพารามิเตอร์ทั้งแปดตัวพร้อมกันทั้งปริภูมิ แล้วแยกความแปรปรวนของผลลัพธ์ออกเป็นส่วน ๆ ตามผู้ก่อ

ดัชนีมีสองชนิด S_i **ลำดับที่หนึ่ง** คือสัดส่วนความแปรปรวนที่พารามิเตอร์นั้นอธิบายได้ตามลำพัง และ S_{Ti} **ดัชนีรวม** คือสัดส่วนที่หายไปถ้าตรึงพารามิเตอร์นั้นไว้ ซึ่งรวมผลของการทำงานร่วมกับตัวอื่น *ผลต่าง* $S_{Ti} - S_i$ *คือส่วนของอิทธิพลรวมของพารามิเตอร์* i *ที่เกิดขึ้นผ่านการทำงานร่วมกับพารามิเตอร์ตัวอื่น* เราสุ่มด้วยลำดับโซบอลตามแผนของ Saltelli ที่ 4,096 จุดฐาน รวมเรียกแบบจำลอง 40,960 ครั้ง โดย **สมมติให้พารามิเตอร์ทั้งแปดเป็นอิสระต่อกันและแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (uniform) ภายในช่วงของตนเอง** ซึ่งเป็นข้อสมมติที่ต้องแถลง เพราะดัชนีโซบอลขึ้นกับการแจกแจงของตัวป้อนโดยตรง

ตารางที่ 16: ดัชนีรวม S_{Ti} ของแต่ละพารามิเตอร์ต่อผลลัพธ์สามตัว (ยิ่งใกล้ 1 ยิ่งเป็นตัวกำหนด) การกวาด $\alpha_C^{\text{สูง}}$ ปรับเฉพาะค่าในกรณีที่ยุ้งข้าวเบิกได้ตามสมการ (7) ส่วนค่าเมื่อยุ้งไม่พอตรึงไว้ที่ 0.10 เช่นเดียวกับ α_F ที่ปรับเฉพาะพจน์ฐาน 0.15 โดยความชัน 0.35 คงเดิม

พารามิเตอร์	ช่วงที่กวาด	ความมั่งคั่ง	กันชนน้ำ	ฉากที่รอด
y_{G} รายได้พืชผัก	64–96 บ./ตร.ม./รอบ	**0.971**	0.000	0.016
r ตัวคูณปริมาณฝน	0.85–1.15	0.000	**0.613**	**0.668**
k_p สัมประสิทธิ์ถาดระเหย	0.70–0.85	0.000	**0.227**	**0.278**
c สัมประสิทธิ์น้ำท่า	0.15–0.35	0.000	**0.205**	**0.272**
y_{R} ผลผลิตข้าว	0.36–0.56 กก./ตร.ม.	0.025	0.000	0.023
w_{R} น้ำนาเปียกสลับแห้ง	120–160 ล./ตร.ม./เดือน	0.000	0.021	0.036
α_F ส่วนลดอาหารปลา	0.05–0.25	0.004	0.000	0.003
$\alpha_C^{\text{สูง}}$ ส่วนลดอาหารไก่เมื่อยุ้งพอ	0.15–0.40	0.000	0.000	0.000
ผลรวม S_{Ti} (มากกว่า 1 บ่งชี้ว่ามีอันตรกิริยา)		1.001	1.066	**1.296**

ที่มาของช่วงที่กวาด ช่วงในตารางที่ 16 มาจากสองแหล่งต่างกัน และเราแยกให้ชัดเพื่อไม่ให้ดูเหมือนอ้างอิงเอกสารทั้งหมด k_p **เป็นตัวเดียวที่มีช่วงจากเอกสาร** คือ 0.70–0.80 ตามที่อ้างไว้ในตารางที่ 2 และเรา *ขยายขอบบนเป็น 0.85 เอง* เพื่อทดสอบเลยขอบที่เอกสารระบุ ส่วนอีกเจ็ดตัวเป็น **ช่วงที่ทีมกำหนดขึ้นรอบค่าฐาน** ได้แก่ r และ y_{G} ใช้ $\pm 20\%$ (ฝนใช้ $\pm 15\%$) y_{R} ใช้ $\pm 22\%$ รอบ 0.46 ซึ่งกินช่วงราว 580–900 กก./ไร่ w_{R} กินตั้งแต่ประหยัดน้ำ 11% ถึง 33% จาก 180 และ α_C กับ α_F ใช้ช่วงกว้างรอบค่าฐาน 0.30 และ 0.15 ตามลำดับ *ช่วงเหล่านี้จึงเป็นการประกาศความไม่แน่นอนของทีมเอง มิใช่ค่าที่คัดมาจากงานวิจัย*



รูปที่ 10: ดัชนีโซบอลของผลลัพธ์สามตัว แท่งเข้มคือดัชนีรวม S_{Ti} แท่งอ่อนคือดัชนีลำดับที่หนึ่ง S_i ขีดดำคือช่วงความเชื่อมั่น 90% จากการสุ่มซ้ำ 500 รอบ ช่องว่างระหว่างแท่งเข้มกับแท่งอ่อนคือขนาดของอันตรกิริยา

ผลที่ได้บอกสี่เรื่อง

(1) ความมั่งคั่งกับความอยู่รอดถูกขับด้วยพารามิเตอร์คนละชุดกันโดยสิ้นเชิง รายได้พืชผักอธิบายความแปรปรวนของความมั่งคั่งได้ถึง 97% แต่ไม่มีผลต่อน้ำเลย ส่วนฝน การระเหย และน้ำท่ารวมกันอธิบายกันชนน้ำได้เกือบทั้งหมด แต่ไม่มีผลต่อความมั่งคั่ง *การแยกขาดขนาดนี้คือเหตุผลเชิงตัวเลขที่ทำให้เราต้องตัดสินใจด้วยสองเกณฑ์แยกกัน* อนึ่ง y_{R}, y_{G}, α_C และ α_F ได้ดัชนี *ศูนย์พอดี* ในคอลัมน์กันชนน้ำ ไม่ใช่แค่ค่าน้อย ซึ่งถูกต้องตามโครงสร้างเพราะทั้งสี่ตัวไม่ปรากฏในสมการ (3) เลย ผลนี้จึงเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมไปในตัว

(2) เราเลือกทดสอบความทนทานถูกตัว ในบรรดาพารามิเตอร์ที่ *ทีมเป็นผู้กำหนดเอง* k_p กับ c รวมกันเป็นเจ้าของความแปรปรวนของกันชนน้ำถึง 43% เป็นรองเพียงปริมาณฝนซึ่งไม่มีใครควบคุมได้ นี่ยืนยันว่าเงื่อนไข C_{14} ที่รบกวนสองตัวนี้เป็นหลัก *จับถูกจุดที่ความ*

เสี่ยงอยู่จริง มิได้เลือกมาตามใจ

(3) อันตรกิริยาสำคัญเฉพาะกับความอยู่รอด ผลรวม S_{Ti} ของความมั่งคั่งเท่ากับ 1.00 พอดี แปลว่าผลของแต่ละตัวบวกกันตรง ๆ แทบไม่มีการทำงานร่วม แต่ของจำนวนฉากที่รอดเท่ากับ $1.296 > 1$ ซึ่ง **แสดงว่าความอยู่รอดมีอันตรกิริยาระหว่างพารามิเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ** กล่าวคือผลของตัวแปรต่าง ๆ ไม่สามารถอธิบายได้ครบด้วยผลของแต่ละตัวแยกจากกัน โดยเฉพาะเมื่อหลายปัจจัยเปลี่ยนพร้อมกัน (พึงระวังว่าส่วนที่เกิน 1 *ไม่ใช่* สัดส่วนความแปรปรวนที่มาจากอันตรกิริยาโดยตรง เพราะพจน์อันตรกิริยาพจน์เดียวถูกนับซ้ำใน S_{Ti} ของพารามิเตอร์หลายตัว) เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะความอยู่รอดเป็นปรากฏการณ์แบบมีขีดเริ่ม คือน้ำจะติดลบหรือไม่ ไม่มีตรงกลาง **ข้อนี้เป็นเหตุผลโดยตรงที่ C_{14} บังคับให้ต้องรอดทุกการรบกวนพร้อมกัน ไม่ใช่รอดทีละอย่าง** การทดสอบทีละตัวจะประเมินความเสี่ยงต่ำกว่าความจริง

(4) ขอบเขตของคำกล่าวอ้าง ในทั้งปริภูมิที่กวาด แบบแนะนำรอดครบ 10 ฉากอยู่ 34.4% ของปริมาตร ซึ่งต่ำกว่าที่ตาราง C_{14} ชวนให้เข้าใจ เพราะปริภูมินี้ *กว้างกว่า* ชุดที่ C_{14} ทดสอบ (ครอบถึง $k_p = 0.85$ และฝนน้อยลง 15% ขณะที่ C_{14} หยุดที่ 0.80 และ 10%) และให้ทุกตัวผิดพร้อมกันได้ เราจึงระบุให้ชัดว่า **แบบแนะนำทนได้ในช่วงที่ C_{14} ทดสอบ แต่ถ้าฝนน้อยลงเกิน 10% พร้อมกับการระเหยสูงกว่าที่ประเมิน ระบบมีโอกาสไม่รอด** ทางออกไม่ใช่การแก้ผังที่ดิน แต่คือการยกเกณฑ์ระดับน้ำให้สูงขึ้นเพื่องดปลูกเร็วขึ้น ซึ่งเกษตรกรปรับเองได้โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่ม

6.5 บททดสอบหายนะ: ถ้าสัตว์ล้มเหลวสมบูรณ์

เราตั้งคำถามที่โหดที่สุดว่า *ถ้าเกิดโรคระบาดจนไก่ไม่ให้ไข่เลยและปลาตายทุกรอบตลอด 5 ปี โดยครอบครัวยังจ่ายค่าอาหารสัตว์ทุกบาท ระบบจะล่มไหม* ผลปรากฏว่าในปีปกติ **ระบบไม่ล่ม** ความมั่งคั่งเหลือ $1{,}573{,}027$ บาท เพราะที่ดินยังทำงานตามปกติและกฎทบทวนประจำปีกันความเสี่ยงของสัตว์ออกจากช่วงเปราะบางของปีแรกไว้แล้ว ส่วนกรณีที่ซ้อนแล้งซ้อนเข้าไปด้วยนั้นระบบล่ม (ความมั่งคั่งติดลบ $149{,}667$ บาท) นั่นคือ *ภัยแล้งซ้อนกับสัตว์ตายหมดพร้อมกันเป็นเหตุการณ์ที่เกินกำลังของฟาร์มขนาดนี้* ซึ่งเป็นข้อเท็จจริงที่เราเลือกจะรายงานตามตรงมากกว่าจะซ่อนไว้ ทางแก้ในทางปฏิบัติคือประกันพืชผลหรือกองทุนหมู่บ้าน ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของแบบจำลองนี้

6.6 ทางเลือกที่ทีมพิจารณาแล้วไม่เสนอ: การจ้างแรงงานเพื่อขยายพื้นที่ผัก

เราทดสอบด้วยว่า *ถ้าถอดเฉพาะเงื่อนไข C_9 เรื่องเพดานแรงงานออก โดยคงเงื่อนไขเชิงคุณค่าอื่นไว้ครบ* แบบจำลองจะเสนออะไร คำตอบคือให้ขยายพืชผักเป็น **2.15 ไร่** (สระ 10.0 : นา 30.0 : ไม้ผล 5.0 : ผัก 53.7) ซึ่งให้ความมั่งคั่งปีที่ 5 สูงถึง $3{,}966{,}893$ บาท หรือ *มากกว่าแบบแนะนำถึง* $1{,}721{,}027$ บาท และยังรอดครบทั้ง 10 ฉากด้วย

ผักประณีต 2.15 ไร่เกินกำลังแรงงานหลัก 2 คนไปประมาณ 1.15 คนเต็มเวลา ถ้าจ้างที่ค่าแรง 350 บาท/วัน ทำงาน 300 วัน/ปี จะเป็นค่าจ้างราว $120{,}000$ บาท/ปี หรือ $602{,}109$ บาทใน 5 ปี **หักค่าจ้างแล้วยังเหลือกำไรเพิ่มอีกประมาณ 1.12 ล้านบาท** กล่าวคือ *ในทางการเงินล้วน ๆ การจ้างแรงงานคุ้มค่า*

ถึงกระนั้นทีมก็ไม่เสนอทางเลือกนี้ ด้วยเหตุผลสามข้อที่ไม่ใช่เรื่องตัวเลข

1. **ขัดกับกรอบของโจทย์เอง** โจทย์ห้ามพึ่งน้ำจากภายนอกเพราะต้องการระบบที่เลี้ยงตัวเองได้ การพึ่งแรงงานจากภายนอกก็คือการยอมแลกความเป็นอิสระด้วยผลผลิตในแบบเดียวกัน ต่างกันเพียงว่าอย่างหนึ่งซื้อด้วยน้ำ อีกอย่างซื้อด้วยเงิน
2. **ค่าจ้างเป็นรายจ่ายที่ลดตามผลผลิตไม่ได้** ปีที่เกณฑ์ระดับน้ำสั่งงดปลูก ครัวเรือนที่ทำเองเพียงแค่หยุดทำงาน แต่ครัวเรือนที่จ้างแรงงานต้องเลือกระหว่างจ่ายค่าแรงต่อไปทั้งที่ไม่มีรายได้ กับเลิกจ้างแล้วเสี่ยงหาคนไม่ได้ในปีถัดไป *ความเปราะบางข้อนี้แบบจำลองยังไม่ได้จำลอง ตัวเลข 1.12 ล้านบาทจึงเป็นค่าที่มองโลกในแง่ดีเกินจริง*
3. **เสี่ยงเชิงเดี่ยว** ผัก 2.15 ไร่คิดเป็นมากกว่าครึ่งของพื้นที่ทั้งหมด และกันชนน้ำเหลือเพียง 343 ลบ.ม. ราคาผักตกหรือโรคระบาดครั้งเดียวกระทบรายได้เกือบทั้งฟาร์ม ซึ่งสวนทางกับหลักการมีภูมิคุ้มกัน

ทางเลือกนี้จึงเหมาะกับครัวเรือนที่มี *เป้าหมายเชิงพาณิชย์* คือมองฟาร์มเป็นธุรกิจที่ต้องการผลตอบแทนสูงสุดและยอมรับความเสี่ยงกับการพึ่งพาภายนอกได้ แต่ไม่เหมาะกับครัวเรือนที่มี *เป้าหมายพึ่งพาตนเอง* ตามโจทย์นี้ เราบันทึกไว้เพื่อให้ผู้อ่านเห็นว่าคำตอบของแบบจำลอง *ขึ้นกับเป้าหมายที่ตั้งไว้* ไม่ใช่ความจริงเพียงหนึ่งเดียว — และการเลือกเป้าหมายเป็นสิทธิ์ของครัวเรือน ไม่ใช่ของผู้สร้างแบบจำลอง

6.7 ข้อจำกัดของแบบจำลองและแนวทางปรับปรุง

สิ่งที่แบบจำลองนี้ยังทำไม่ได้มีดังนี้ **(ก)** ราคาข้าวโดยนัย 97.83 บาท/กก. เป็นข้อสมมติที่อนุรักษนิยมที่สุด (ทั้งเทิดค่านาและลงโทษการซื้อข้าวพร้อมกัน) ควรทดสอบซ้ำที่ราคาตลาดจริง **(ข)** ผลโซบอลชี้ว่ารายได้พืชผักเป็นเจ้าของความแปรปรวนของความมั่งคั่งเกือบทั้งหมด จึงควรหาราคาผักรายเดือนของตลาดท้องถิ่นมาแทนค่าคงที่ 80 บาท/ตร.ม./รอบ ก่อนอย่างอื่น **(ค)** รายได้จากไข่ไม่มีขีดจำกัดด้านตลาด แบบจำลองจึงอยากเพิ่มไก่ไปเรื่อย ๆ ถ้าไม่มีเงื่อนไข C_{12} มาคุม ควรเพิ่มเส้นอุปสงค์ของตลาดไข่ในหมู่บ้าน **(ง)** ควรเพิ่ม *กฎคัดฝูง* คือขายสัตว์ที่ล้มเหลวออกภายใน 2–3 เดือน แทนที่จะจ่ายค่าอาหารต่อไปเรื่อย ๆ **(จ)** ตัวเลขกำลังแรงงานที่ใช้ (1 ไร่ผักประณีตต่อแรงงานหลัก 2 คน) ยังหยาบ ควรแทนด้วยสัมประสิทธิ์ชั่วโมงงานรายกิจกรรมพร้อมอ้างอิง **(ฉ)** ยังไม่ได้คิดค่าลอกเลนสระ ค่าซ่อมบำรุงสิ่งปลูกสร้าง เงินเฟ้อ และการทดแทนต้นไม้ผลที่เสื่อมอายุ **(ช)** พารามิเตอร์ของสัตว์และการบริโภคควรตรวจสอบซ้ำกับเอกสารราชการล่าสุดก่อนนำไปใช้จริง

7 สรุป (Conclusion)

รายงานนี้เปลี่ยนโจทย์ “จะแบ่งที่ดิน 4 ไร่อย่างไร” ให้กลายเป็นคำถามที่ลึกกว่านั้น คือ **“จะออกแบบระบบอย่างไรให้ครอบครัวหนึ่งอยู่รอดและพอเพียงได้จริงตลอด 5 ปี แม้เผชิญสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงที่สุด และแม้ข้อสมมติของเราเองจะคลาดเคลื่อน”** คำตอบที่ได้คือสัดส่วน **สระน้ำ 30.0 : นาข้าว 38.7 : ไม้ผล 5.0 : พืชผัก 25.0 : ที่อยู่อาศัย 1.3** พร้อมไก่ไข่ 10 ตัวและปลานิล 3,840 ตัวต่อรอบ ทำงานร่วมกับกฎเดียวที่จำง่ายว่า *“ก่อนหว่าน ถ้าน้ำลึกไม่ถึง 1.35 เมตร ให้งดรอบนั้น”*

ความยั่งยืน: ระบบที่ไม่ล้มแม้ในปีที่แย่ที่สุด

ความยั่งยืนในรายงานนี้ไม่ใช่คำสวยหรู แต่เป็นสิ่งที่ *วัดได้ด้วยตัวเลขและพิสูจน์ได้ทุกเดือน* เราทดสอบแบบจำลองกับ 10 ฉากภัยแล้ง ซึ่งรวมกรณีที่โหดที่สุดคือแล้งสองปีติดกันตั้งแต่ปีแรก และผลคือ **ไม่มีเดือนใดเลยใน 60 เดือนที่น้ำในสระหมดหรือเงินสดติดลบ** ยิ่งไปกว่านั้นเรายังบังคับให้คำตอบต้องรอดแม้เมื่อค่าคงตัวที่เราตั้งเองคลาดเคลื่อนไปทางร้ายทุกทาง และเมื่อขยายการมองไปถึง 15 ปีพร้อมภัยแล้งซ้ำ ๆ ตามความถี่จริงของเอลนีโญ ระบบก็ยังดำเนินต่อไปได้และเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง

สิ่งที่ทำให้ระบบยั่งยืนไม่ใช่การขุดสระให้ใหญ่ที่สุดหรือปลูกให้มากที่สุด แต่คือ **การยอมหยุดเป็นในปีที่ควรหยุด** บทเรียนที่ชัดเจนที่สุดจากงานชิ้นนี้คือ แบบจำลอง M1 ซึ่ง “ทำเหมือนเดิมทุกปี” ล่มทุกกรณีโดยไม่มีข้อยกเว้น ไม่ว่าเราจะจัดสรรพื้นที่ดีเพียงใด แต่พอเพิ่มกฎง่าย ๆ เพียงข้อเดียวที่ให้ระบบ “ดูน้ำก่อนตัดสินใจ” ระบบกลับรอดได้โดยไม่เสียกำไรในปีปกติเลยแม้แต่บาทเดียว *ความยั่งยืนจึงเป็นเรื่องของการรู้จักปรับตัว มากกว่าการสะสมทรัพยากร*

บทเรียนที่สองซึ่งเราได้มาจากการแก้แบบจำลองของตัวเองคือ **ความซื่อตรงต่อสมดุลมวลเปลี่ยนคำตอบได้ทั้งชุด** ตอนแรกเราคิดบัญชีน้ำแบบที่ให้ฝนหนึ่งหยดทำงานสองหน้าที่พร้อมกัน คือทั้งเข้ารากพืชและไหลลงสระ เมื่อแก้ให้ฝนถูกใช้เพียงครั้งเดียว น้ำในระบบลดลงจริง สระต้องใหญ่ขึ้น และไม้ผลซึ่งกินน้ำทุกเดือนตลอดปีก็แพงขึ้นทันที *แบบจำลองที่ผิดเพียงเล็กน้อยในทางกายภาพ ให้คำตอบที่ดูดีเกินจริงได้อย่างน่ากลัว*

อีกมิติหนึ่งของความยั่งยืนคือ **การหมุนเวียนทรัพยากรภายในฟาร์ม** ข้าวเปลือกกลายเป็นอาหารไก่ มูลไก่กลายเป็นแพลงก์ตอนเลี้ยงปลา เศษปลาและเลนก้นสระกลายเป็นปุ๋ยให้ไม้ผล วงจรเหล่านี้ไม่ได้อยู่แค่ในแผนภาพ แต่เขียนเป็นสมการจริง (สมการ (7)) ที่ทำให้ค่าอาหารสัตว์ลดลงได้เป็นตัวเลข

ความพอเพียง: พออยู่ พอกิน แล้วจึงเหลือขาย

หัวใจของปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงคือความพอประมาณ ความมีเหตุผล และการมีภูมิคุ้มกัน ซึ่งทั้งสามข้อปรากฏอยู่ในคำตอบของเราอย่างเป็นรูปธรรม

ความพอประมาณ สะท้อนผ่านกติกา "กินก่อน เหลือจึงขาย" ที่เราใช้กับทุกหมวดผลผลิต ข้าวเข้ายุ้งแล้วคนกินก่อน ไก่เบิกได้เฉพาะส่วนเกิน เหลือจากสำรองหนึ่งปีจึงขายครึ่งเก็บครึ่ง ไข่ 225 ฟองต่อเดือนกินเอง 120 ฟองก่อนแล้วจึงขาย ปลา 1,152 กก. ต่อรอบเก็บกิน 60 กก. ก่อนแล้วจึงขาย ผลลัพธ์คือ **ในปีปกติครอบครัวไม่ต้องซื้อข้าวเลยแม้แต่เดือนเดียว** มีข้าวสำรองในยุ้งราว 11 เดือน และมีโปรตีนจากไข่กับปลา 429 กก./ปี ซึ่งมากกว่าที่ต้องการถึง 5.4 เท่า ที่น่าสังเกตคือขนาดฝูงไก่เพียง 10 ตัวไม่ได้มาจากการเดา แต่มาจากเงื่อนไขสองข้อที่บีบเข้าหากัน คือต้องมีไข่พอกินทั้งบ้าน และต้องเลี้ยงด้วยข้าวของตัวเองได้โดยไม่แย่งข้าวคน *นี่คือความหมายที่แท้จริงของ "พออยู่พอกิน"* และเป็นเหตุผลที่เราวัดผลด้วย *ความมั่งคั่ง* (เงินสดบวกมูลค่ายุ้งข้าว) แทนที่จะวัดด้วยกำไรเพียงอย่างเดียว เพราะข้าวในยุ้งคือความมั่นคง ไม่ใช่แค่สินค้า

ความมีเหตุผล สะท้อนผ่านการที่ทุกตัวเลขในรายงานนี้มีที่มา และทุกข้อจำกัดมีคำอธิบาย เราไม่ได้หยิบสัดส่วน 30:30:30:10 มาใช้เพราะเป็นสูตรที่คุ้นเคย และไม่ได้ทิ้งมันเพราะอยากแตกต่าง แต่ปล่อยให้คณิตศาสตร์คำนวณออกมาเอง แล้วจึงพบว่า *คำตอบที่ได้ลู่เข้าหาโครงของทฤษฎีใหม่โดยธรรมชาติ* คือเมื่อรวมไม้ผลกับผักเป็นพืชผสมผสานจะได้สระ 30.0 และพืชผสมผสาน 30.0 ซึ่ง *ตรงกับตัวเลขของทฤษฎีใหม่พอดีทั้งสองส่วน* **ทฤษฎีใหม่จึงไม่ใช่สิ่งที่แบบจำลองละทิ้ง แต่เป็นสิ่งที่แบบจำลองค้นพบซ้ำภายใต้ข้อจำกัดจริง**

การมีภูมิคุ้มกัน สะท้อนผ่านสามชั้นที่ซ้อนกัน ชั้นแรกคือ *ความทนทานเป็นเงื่อนไขบังคับ ไม่ใช่รายงานประกอบ* เราไม่เลือกแบบที่กำไรสูงสุดแล้วค่อยไปวิเคราะห์ความไวทีหลัง แต่ตัดแบบที่ล่มเมื่อข้อสมมติคลาดไปหนึ่งขั้นออกตั้งแต่ต้น ซึ่งทำให้สี่อันดับแรกที่กำไรสูงกว่าถูกตัดทิ้งทั้งหมด ชั้นที่สองคือ *ความหลากหลายที่จ่ายไหว* เราคงไม้ผล 5% ไว้ด้วยราคาที่วัดได้คือ 19,546 บาทใน 5 ปี และรู้ชัดว่าที่ 10% ขึ้นไปไม่มีการจัดสรรใดทนความคลาดเคลื่อนได้เลย *การรู้ว่าความหลากหลายราคาเท่าไรและถึงจุดใดที่เกินตัว คือสิ่งที่แบบจำลองให้ได้แต่สามัญสำนึกให้ไม่ได้* ชั้นที่สามคือ *การลงทุนเป็นขั้นเป็นตอน* เราไม่ทุ่มซื้อสัตว์ตั้งแต่วันแรกทั้งที่คำนวณแล้วว่ากำไร แต่ให้ระบบรอจนเงินสดพร้อมจริงในปีที่ 2

คุณค่าของแบบจำลองนี้

ผลลัพธ์ที่สำคัญของแบบจำลองนี้ไม่ใช่ตัวเลขความมั่งคั่ง 2.25 ล้านบาท แต่คือคำตอบซึ่ง **เกษตรกรนำไปใช้ได้จริงในวันพรุ่งนี้** เพราะกฎที่ได้ไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ ไม่ต้องพยากรณ์อากาศ ใช้เพียงไม้วัดระดับน้ำปักไว้ในสระอันเดียว แล้วจำประโยคเดียวว่า *"ก่อนหว่านมองไม้วัดน้ำ ถ้าต่ำกว่า 1.35 เมตร ให้หยุด"* นี่คือการแปลคณิตศาสตร์กลับเป็นภูมิปัญญาที่ส่งต่อกันได้ ตรงกับเจตนารมณ์ของเกษตรทฤษฎีใหม่ที่ต้องการให้เกษตรกรรายย่อย *พึ่งพาตนเองได้อย่างมีศักดิ์ศรี*

การตรวจสอบซ้ำ (Reproducibility)

ตัวเลข ตาราง และรูปทุกภาพในรายงานนี้ผลิตจากโปรแกรมที่ทีมเขียนขึ้นเอง และเปิดเผยไว้ทั้งหมดเพื่อให้ตรวจสอบซ้ำได้

https://github.com/napattha01-hue/mmc085-farm-model

ภายในประกอบด้วยสามไฟล์หลัก

- model/farm_model.py — ตัวแบบจำลองและค่าคงตัวทั้งหมด ฟังก์ชัน simulate() เดินระบบสามสถานะทีละเดือนตามสมการ (3), (5) และ (8) เลือกระดับ M1 M2 หรือ M3 ได้จากอาร์กิวเมนต์ที่ส่งเข้าไป
- model/run_experiments.py — การทดลองทุกชุดที่อ้างถึงในรายงาน ตั้งแต่การกวาดตะแกรงหาการจัดสรร การสอบเทียบเกณฑ์ระดับน้ำ การทดสอบความทนทาน ทางเลือกจ้างแรงงาน จนถึงการคาดการณ์ 15 ปี
- model/make_figures.py — สร้างรูปทุกภาพในรายงานจากผลที่ได้

วิธีตรวจสอบซ้ำ

```
git clone https://github.com/napattha01-hue/mmc085-farm-model.git
cd mmc085-farm-model/model
pip install matplotlib numpy
python run_experiments.py
python make_figures.py
```

สคริปต์ชุดนี้จะพิมพ์ตัวเลขทุกตัวที่ปรากฏในรายงานออกมาที่หน้าจอ และสร้างรูปลงในโฟลเดอร์ out/ การสร้างรูปต้องใช้ฟอนต์ TH Sarabun New สำหรับข้อความภาษาไทย

บรรณานุกรม (References)

1. สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.) และมูลนิธิชัยพัฒนา. *เกษตรทฤษฎีใหม่*. (ใช้เป็นแนวทางสัดส่วนพื้นที่ องค์ประกอบของส่วนที่อยู่อาศัยซึ่งรวมการเลี้ยงสัตว์ และขั้นตอนการพัฒนาสามขั้น)
2. กรมการข้าว. *แนวทางการทำนาแบบเปียกสลับแห้ง (Alternate Wetting and Drying)* และ *ข้อมูลผลผลิตข้าวนาน้ำฝน*. (ใช้เป็นอัตราประหยัดน้ำ 25–30% และผลผลิตข้าวเปลือกต่อไร่)
3. International Rice Research Institute (IRRI). *Alternate Wetting and Drying (AWD) Technology*. (ยืนยันว่าผลผลิตไม่ลดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้เทคนิคนี้)
4. FAO. *Irrigation and Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration*. (ใช้เป็นสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย k_p และวิธีคำนวณความต้องการน้ำพืช)
5. กรมชลประทาน. *คู่มือการใช้น้ำของพืชและข้อมูลการระเหย*. (ใช้เป็นค่าอ้างอิงการระเหยและความต้องการน้ำ)
6. กรมปศุสัตว์. *คู่มือการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยอิสระและการเลี้ยงในครัวเรือน*. (ใช้เป็นอัตราการให้ไข่ ปริมาณอาหาร น้ำดื่ม และพื้นที่โรงเรือนต่อตัว)
7. กรมประมง. *การเลี้ยงปลานิลในบ่อดินแบบกึ่งพัฒนา*. (ใช้เป็นความหนาแน่นการปล่อย อัตรารอด ขนาดจับ และระดับน้ำขั้นต่ำ)
8. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.). *ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตสินค้าเกษตร*. (ใช้เป็นราคาผลผลิตและต้นทุนอ้างอิง)
9. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. *ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย*. (ใช้เป็นเกณฑ์ความต้องการโปรตีน)
10. กรมอุตุนิยมวิทยา. *สถิติปรากฏการณ์เอลนีโญและความแปรปรวนของฝนในประเทศไทย*. (ใช้เป็นความถี่ภัยแล้งในบทคาดการณ์ระยะยาว)
11. พระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. 2543. (ใช้เป็นข้อจำกัดความลึกสระไม่เกิน 3 เมตร)

หมายเหตุ: ค่าคงตัวทุกค่าเป็นค่าตัวแทนจากแหล่งข้างต้น ก่อนนำไปใช้จริงควรตรวจสอบและปรับให้ตรงกับข้อมูลของพื้นที่นั้น ๆ

ภาคผนวก ก ค่าคงตัวและที่มา (Constants & Sources)

ตารางที่ ก.1: ค่าคงตัวทั้งหมดที่ใช้ในแบบจำลอง วิธีคำนวณ และแหล่งที่มา

ค่าคงตัว	ค่า (หน่วย)	ที่มา / วิธีการได้มา
ก. ค่าที่ใช้ตรงตามตารางโจทย์		
ต้นทุน/รายได้/น้ำ ของพืช	ตามตารางส่วนที่ 1	นาข้าว 15/45/180, ไม้ผล 40/65/90, พืชผัก 25/80/120 (บาท-บาท-ลิตร ต่อ ตร.ม.)
ค่าขุดสระ	30 บาท/ตร.ม.	ตีความตามหน่วยที่พิมพ์ในตารางโจทย์ตรงตัว
ต้นทุนที่อยู่อาศัย	500 บาท/ตร.ม.	จ่ายจริงทุกตารางเมตรของโซน *เป็นเหตุให้โซนบ้าน 10% เป็นไปไม่ได้*
ฝนและการระเหยรายเดือน	ตามตารางส่วนที่ 2	ใช้ทั้งคอลัมน์ปกติและคอลัมน์วิกฤต
ข. ค่าที่ทีมกำหนดพร้อมเหตุผล		
k_p สัมประสิทธิ์ถาดระเหย	0.70	ช่วงมาตรฐาน 0.70–0.80 เลือกขอบล่าง (FAO-56) เพราะตารางโจทย์ให้ค่าการระเหยสูงกว่าฝนแทบทุกเดือน จึงต้องเป็นค่าที่วัดจากถาด
c สัมประสิทธิ์น้ำท่า	0.30	สัดส่วนของฝน *ส่วนเกิน* ที่ไหลลงสระ ใช้ขอบบนของพื้นที่เกษตรที่จัดรูปแปลง
w_{R} น้ำนาเปียกสลับแห้ง	135 ล./ตร.ม./เดือน	ลด 25% จาก 180 ตามแนวทางกรมการข้าว/IRRI ต้นทุนเพิ่มเพียงท่อสังเกตระดับน้ำ
น้ำครัวเรือน	12,800 ล./เดือน	4 คน $\times$ 107 ล./คน/วัน คิดตามหัวคน ไม่ผูกกับขนาดโซน
บ้านขั้นต่ำ	80 ตร.ม.	ประมาณ 20 ตร.ม./คน สำหรับครอบครัว 4 คน
เล้าไก่	0.5 ตร.ม./ตัว	อัตรามาตรฐานการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยอิสระ (กรมปศุสัตว์)
ค. โมดูลข้าวและการบริโภค		
y_{R} ผลผลิตข้าวเปลือก	0.46 กก./ตร.ม.	ประมาณ 740 กก./ไร่ สำหรับนาน้ำเสริม (กรมการข้าว)
h ข้าวที่ครัวเรือนกิน	60 กก./เดือน	ข้าวสาร 117 กก./คน/ปี $\times$ 4 คน $\div$ อัตราสี 0.65
g ข้าวเลี้ยงไก่	1.0 กก./ตัว/เดือน	แทนอาหารสำเร็จประมาณ 30% ของ 3.45 กก./เดือน
ϕ สัดส่วนขาย	0.5	กติกาของทีม ขายครึ่ง เก็บครึ่ง เฉพาะเดือนเก็บเกี่ยว
p_S ราคาข้าวโดยนัย	97.83 บาท/กก.	$= 45 \div 0.46$ จากตารางโจทย์ ใช้ราคาเดียวทั้งขายและซื้อ เป็นสมมติที่อนุรักษนิยมที่สุด
ง. โมดูลสัตว์		
ค่าเข้าเลี้ยงไก่	450 บาท/ตัว	พันธุ์ไก่สาว 200 + ค่าสร้างเล้าตามอัตราตาราง ($500 \times 0.5 = 250$)
อาหารไก่	55.2 บาท/ตัว/เดือน	115 กรัม/วัน $\times$ 16 บาท/กก.
ไข่	22.5 ฟอง/ตัว/เดือน	270 ฟอง/ปี ราคา 3.5 บาท/ฟอง โปรตีน 6.5 กรัม/ฟอง
น้ำดื่มไก่	7.5 ล./ตัว/เดือน	0.25 ลิตร/วัน
ปลานิล	2 ตัว/ตร.ม.	รอด 75% จับที่ 0.4 กก./ตัว ราคา 60 บาท/กก. โปรตีน 18% ของน้ำหนัก
อาหารปลา	FCR 1.5	20 บาท/กก. ก่อนหักส่วนลดจากเกษตรหมุนเวียน
ระดับน้ำปล่อยปลา / พื้นปลา	1.2 / 0.5 เมตร	เกณฑ์ความลึกขั้นต่ำสำหรับการเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน (กรมประมง)

ตารางที่ ก.2: สรุปเงินลงทุนเริ่มต้น (ต้องไม่เกิน 200,000 บาท ตามเงื่อนไข C_4)

รายการ	**การคำนวณ**	**บาท**
ขุดสระ 1,920 ตร.ม.	$1{,}920 \times 30$	57,600
สร้างบ้าน 80 ตร.ม.	80×500	40,000
เพาะปลูกนาข้าวรอบแรก*	$2{,}475 \times 15$	37,125
ปลูกไม้ผลรอบแรก*	320×40	12,800
เพาะปลูกพืชผักรอบแรก*	$1{,}600 \times 25$	40,000
รวมเงินลงทุนเริ่มต้น I_0		**187,525**
เงินสดคงเหลือหลังลงทุนโครงสร้าง M_0	$200{,}000 - 57{,}600 - 40{,}000$	102,400
ลงทุนเฟสที่ 2 (ปีที่ 2 เมื่อกฎทบทวนประจำปีอนุมัติ):		
ซื้อไก่ไข่ 10 ตัว + สร้างเล้า 5 ตร.ม.	10×450	4,500

* ตัวเลข I_0 ในตารางนี้คือ *ยอดที่ใช้ตรวจว่าแผนอยู่ในงบหรือไม่* ตามเงื่อนไข C_4 ไม่ใช่เงินที่ไหลออกจากกระเป๋าพร้อมกันทั้งก้อนในวันแรก **ค่าปรับปรุงพื้นที่ที่จ่ายจริงตั้งแต่ต้นมีเพียงค่าขุดสระกับค่าสร้างบ้านรวม 97,600 บาท** ส่วนค่าเพาะปลูกทั้งสามรายการที่มีเครื่องหมาย $*$ จ่ายเมื่อถึงเดือนลงมือปลูกของแต่ละชนิด และ *จ่ายก็ต่อเมื่อเกณฑ์ระดับน้ำอนุมัติให้ปลูกในรอบนั้น* เช่น ค่าเพาะปลูกนาข้าวจ่ายในเดือนกรกฎาคม และในปีที่เกณฑ์สั่งงดทำนา ครัวเรือนก็ไม่ต้องจ่ายเงินก้อนนี้เลย ทำนองเดียวกันค่าปลูกไม้ผลจะเลื่อนออกไปหากปีนั้นน้ำไม่ถึงเกณฑ์ (ดูหัวข้อ 5 การคาดการณ์ระยะยาว) นอกจากนี้ค่าพันธุ์ปลาและค่าอาหารสัตว์ไม่ได้นับรวมใน I_0 เพราะเป็นรายจ่ายดำเนินงานที่เกิดตามรอบการผลิต ไม่ใช่การลงทุนครั้งเดียว *ลำดับและเงื่อนไขการจ่ายเงินจริงทั้งหมดดูได้จากแผงล่างของรูปที่ 8*