



การบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืนด้วยกลยุทธ์เสถียรเชิงวิวัฒนาการแบบผสม

เพื่อแก้ปัญหาโศกนาฏกรรมแห่งส่วนรวมจากแบบจำลองทฤษฎีเกม

Mixed Evolutionarily Stable Strategies for Sustainable Resource

Management: A Game-Theoretic Simulation of the

Tragedy of the Commons

ปรวิวัฒน์ เกตุแก้ว¹ ชนกันต์ จูริกา¹ ธีระภัทร คูทองทุ่ง¹

ภัททิยะ จันทร์อุดม¹ ธีรณีย์ บุญเกิด¹ เกียรติศักดิ์ ประถม²

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80330

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ หลักสูตรวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

Email: 6405658@pccnst.ac.th

บทคัดย่อ

ในการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืนมักเผชิญความท้าทายจากปัญหาโศกนาฏกรรมแห่งส่วนรวม (Tragedy of the Commons) โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมสำหรับการคัดเลือกกลยุทธ์ 2) ทดสอบ 4 กลยุทธ์ตัวแทนภายใต้ 3 สถานการณ์ที่ปริมาณทรัพยากรเริ่มต้นแตกต่างกัน 3) ค้นหากลยุทธ์ที่เข้าสู่สมดุลเสถียรเชิงวิวัฒนาการ (ESS) ซึ่งดำเนินการวิจัยผ่านแบบจำลองทฤษฎีเกมเชิงวิวัฒนาการ (EGT) โดยประยุกต์ใช้สมการ Replicator Dynamics ร่วมกับฟังก์ชันอรรถประโยชน์พหุวัตถุประสงค์ (MOUT) เป็นจำนวน 5,000 เจเนอเรชัน ผลการทดลองและอภิปรายผลพบว่า ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแบบผสม (Mixed ESS) ในทุกสถานการณ์ โดยกลยุทธ์ BalancedGrowth (BG) ครองประชากรหลักที่ร้อยละ 92-93 เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานร่วมกับกลยุทธ์ EcoSavior (ES) ซึ่งครองสัดส่วนที่ร้อยละ 6-7 ทำหน้าที่เป็นกลไกป้องกันการล่มสลายของระบบจากการอนุรักษ์ทรัพยากรบางส่วน ในขณะที่กลยุทธ์ IndustryGiant (IG) ที่มุ่งตักตวงผลประโยชน์ระยะสั้นจะมีค่าสัดส่วนเข้าใกล้ 0% อีกทั้ง BG ยังสามารถเอาชนะกลยุทธ์ BasicRandom (BR) ที่ไร้รูปแบบได้ สรุปผลได้ว่า การออกแบบนโยบายสาธารณะเพื่อความยั่งยืนควรเน้นการเติบโตแบบสมดุล (BG) เป็นหลักควบคู่ไปกับการสนับสนุนด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (ES) เพื่อสร้างความยืดหยุ่นและเสถียรภาพให้กับระบบนิเวศในระยะยาว

คำสำคัญ: ทฤษฎีเกมเชิงวิวัฒนาการ, สมดุลเสถียรเชิงวิวัฒนาการ, สมดุลแบบผสม, โศกนาฏกรรมแห่งส่วนรวม, การจำลองเชิงคำนวณ

1. บทนำ

การบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ต้องเผชิญความท้าทายในการรักษาสมดุลระหว่างเศรษฐกิจและระบบนิเวศ ซึ่งมักนำไปสู่ปัญหาโศกนาฏกรรมแห่งส่วนรวม (Tragedy of the Commons) ผลกระทบภายนอกเชิงลบ (Negative Externalities) และกับดักมัลลิส (Malthusian Trap) เมื่อ

การเติบโตเกินขีดจำกัดทรัพยากร นอกจากนี้การที่ระบบสังคมมีธรรมชาติเป็นระบบปรับตัวที่ซับซ้อน (Complex Adaptive Systems: CAS) ทำให้กลยุทธ์ที่เคยประสบความสำเร็จในยามทรัพยากรอุดมสมบูรณ์อาจนำไปสู่การล่มสลายได้ในยามขาดแคลน

โครงการนี้จึงประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Game Theory: EGT) ผ่าน



สมการ Discrete-Time Replicator Dynamics และ ฟังก์ชันอรรถประโยชน์พหุวัตถุประสงค์ (MOUT) มาใช้จำลองการแข่งขันของกลยุทธ์ต่าง ๆ เพื่อค้นหากลยุทธ์ที่สามารถอยู่เข้าสู่จุดสมดุลเสถียรเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionarily Stable Strategy: ESS) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบนโยบายสาธารณะเพื่อความยั่งยืนของทรัพยากร

2. วิธีดำเนินการ

2.1 รูปแบบการวิจัย (Research Design)

โครงการนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงทดลองผ่านการจำลองเชิงคำนวณ (Computational Simulation) โดยอาศัยกรอบทฤษฎีเกมเชิงวิวัฒนาการในการออกแบบแบบจำลองโดยจะวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นผ่านแบบจำลองพลวัตประชากรแบบปิดเพื่อศึกษาพฤติกรรม การปรับตัวและการอยู่เข้าสู่จุดสมดุลกลยุทธ์ที่เสถียรเชิงวิวัฒนาการ

2.2 โครงสร้างเชิงพลวัตของระบบจำลอง

2.2.1 แผนผังการทำงานของระบบจำลอง

แบบจำลองทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time) จำนวน 5,000 เจเนอเรชัน ทำซ้ำ 30 ครั้ง โดยแต่ละรอบมีการประมวลผลตามลำดับ 6 ขั้นตอน ดังนี้:

2.2.1.1 ประเมินกำลังผลิต: คำนวณทรัพยากรดิบตามสัดส่วนประชากรของแต่ละกลุ่มกลยุทธ์

2.2.1.2 ลดทอนประสิทธิภาพ: หักลดผลผลิตตามกฎผลตอบแทนลดน้อยถอยลง (Diminishing Marginal Returns)

2.2.1.3 การคำนวณสมดุลทรัพยากร
ส่วนกลาง: นำผลผลิตสุทธิรวมเข้ากองกลาง แล้วหักลบด้วยความต้องการบริโภคของประชากร

2.2.1.4 ปรับฐานประชากร: เพิ่มจำนวนประชากรด้วยสมการ Logistic Growth หรือลดขนาดแบบ Malthusian Crash หากทรัพยากรไม่เพียงพอ

2.2.1.5 ประเมินผลตอบแทนและค่าปรับ: คำนวณความพึงพอใจพื้นฐาน หักลบด้วยระบบลงโทษทางสังคม 3 ด้าน ซึ่งจะกล่าวในภายหลัง

2.2.1.6 การส่งต่อ Generation: อัปเดตสัดส่วนประชากรในรอบถัดไปด้วยอัลกอริทึม Replicator-Mutator Dynamics และการปรับบรรทัดฐาน (Renormalization)

2.2.2 โครงสร้างการจัดเก็บทรัพยากร

กองกลางส่วนรวม:

ทรัพยากรหลักในระบบนิเวศจำลอง (อาหาร น้ำ และพลังงาน) ถูกจัดสรรเป็นทรัพยากรส่วนรวมที่ประชากรทุกคนมีสิทธิ์เข้าถึงร่วมกันโดยไม่มีกรรมสิทธิ์ส่วนบุคคล ทั้งนี้ ระบบได้กำหนดขีดจำกัดประชากรสูงสุดไว้ที่ 55.25 ล้านหน่วย และขีดจำกัดทรัพยากรทั้ง 3 ประเภทสูงสุดเท่ากันที่ 2,762.5 ล้านหน่วย พร้อมระบุอัตราความต้องการบริโภคพื้นฐานต่อหน่วยประชากรสำหรับอาหาร น้ำ และพลังงานไว้ที่ 1.0, 0.75 และ 0.5 ตามลำดับ

2.2.3 การออกแบบสถานการณ์การทดลอง

และเงื่อนไขการตรวจสอบ

การทดลองนี้จำลองสถานการณ์ 3 รูปแบบ โดยอ้างอิงบริบทจริงของประเทศไทย ได้แก่ 1) สภาวะอุดมสมบูรณ์-บริโภคสูง (อิงปี 2562 ก่อนโควิด-19) เพื่อศึกษาการป้องกันโรคทางกรรมกรรมแห่งส่วนรวม 2) สภาวะขาดแคลน-เติบโตสูง (อิงปี 2559 วิกฤตภัยแล้งเอลนีโญ) เพื่อประเมินขีดความสามารถในการพลิกฟื้นระบบ และ 3) สภาวะจำกัดอย่างยิ่ง (อิงปี 2566 วิกฤตพลังงานโลกและสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม) เพื่อทดสอบการสร้างสมดุลใหม่และรอดพ้นจากการสูญพันธุ์ โดยระบบจะยุติเมื่อครบ 5,000 เจเนอเรชัน หรือประชากรลดลงเหลือไม่เกิน 1 หน่วย

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ทรัพยากรเริ่มต้นในแต่ละสถานการณ์การทดลอง

พารามิเตอร์ระบบจำลอง	(Resource-Rich)	(Resource-Scarce)	(Extreme Constraint)
จำนวนประชากรเริ่มต้น	69,630,000	69,040,000	71,800,000
ปริมาณอาหารสะสมเริ่มต้น	6,614,850,000	4,832,800,000	3,087,400,000
ปริมาณน้ำสะสมเริ่มต้น	4,525,950,000	3,452,000,000	2,441,200,000
ปริมาณพลังงานสะสมเริ่มต้น	4,525,950,000	3,452,000,000	1,507,800,000



2.3 การกำหนดคุณลักษณะและพฤติกรรมของ กลยุทธ์ตัวแทน

ตารางที่ 2 สรุปคุณลักษณะเชิงพฤติกรรมและค่าน้ำหนัก
อรรถประโยชน์ของกลยุทธ์ตัวแทน

คุณลักษณะและ พารามิเตอร์	EcoSavior	IndustryGiant	BalancedGrowth	BasicRandom
อัตราการผลิตอาหารต่อหัว	1.05	0.60	1.02	0.7 ถึง 1.1 (สุ่ม)
อัตราการสิ้นเปลืองต่อหัว	0.85	0.50	0.82	0.5 ถึง 0.9 (สุ่ม)
อัตราการผลิตพลังงานต่อหัว	0.40	1.20	0.52	0.3 ถึง 0.8 (สุ่ม)
น้ำหนักด้านความอยู่รอด (w_{pw})	50%	20%	40%	33.3%
น้ำหนักด้านความเสถียร (w_{ss})	30%	20%	40%	33.3%
น้ำหนักด้านความเติบโต (w_{gp})	20%	60%	20%	33.3%

2.4 สมการเชิงพลวัตและข้อจำกัดของระบบ นิเวศจำลอง

ระบบจำลองนี้ทำงานภายใต้ระบบนิเวศแบบปิดที่มีขีดจำกัดการรองรับประชากรสูงสุดที่ 55.25 ล้านหน่วย และทรัพยากรแต่ละประเภทที่ 2,762.5 ล้านหน่วย ซึ่งผลผลิตสุทธิจะถูกลดทอนตามกฎผลตอบแทนลดน้อยถอยลง เมื่อเข้าใกล้ขีดจำกัดสูงสุด ด้านพลวัตประชากรจะขยายตัวแบบโลจิสติกส์ตามสัดส่วนอาหารสะสมส่วนเกินโดยจำกัดเพดานเติบโตไม่เกิน 5% ต่อเจนอเรชัน แต่หากเกิดวิกฤตอาหารไม่เพียงพอต่อการบริโภคขั้นต่ำกลไกการล่มสลาย (Malthusian Trap Crash) จะทำงานทันทีเพื่อปรับลดประชากรลงอย่างรุนแรงตามอัตราส่วนการขาดแคลนจริงและดึงระบบกลับคืนสู่สมดุล

2.5 การออกแบบฟังก์ชันอรรถประโยชน์ พหุวัตถุประสงค์และมาตรการลงโทษ

คะแนนผลตอบแทนสุทธิ (Final Payoff) ของแต่ละกลยุทธ์คำนวณผ่านฟังก์ชันอรรถประโยชน์พหุวัตถุประสงค์ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณอัตราส่วนความเพียงพอของทรัพยากรแต่ละประเภทในระบบจำลอง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความมั่นคงหรือความเพียงพอของทรัพยากรประเภท k เมื่อเทียบกับความต้องการบริโภคของคนทั้งโลก

2.5.1 สมการคะแนนความพึงพอใจพื้นฐาน (Base Payoff Equation)

2.5.1.1 ดัชนีอัตราการรอดชีวิต (S_{pw}):

ประเมินจากค่าความเพียงพอของทรัพยากรที่ขาดแคลนที่สุดในระบบ (Limiting Factor Logic) ปรับฐานให้มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

2.5.1.2 ดัชนีความเสถียรของทรัพยากร (S_{ss}): ประเมินผ่านค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เพื่อชี้วัดระดับความแปรปรวน ยิ่งทรัพยากรทั้ง 3 ประเภทมีความสมดุลใกล้เคียงกัน ดัชนีความเสถียรยิ่งเข้าใกล้ 1

2.5.1.3 ดัชนีศักยภาพการเติบโต (S_{gp}): วัดอัตราการขยายตัวเฉลี่ยของน้ำและพลังงานเมื่อเทียบกับ เจเนอเรชันก่อนหน้า

สมการรวมผลตอบแทนพื้นฐาน (Base Payoff)

$$\text{Base Payoff} = w_{pw} \cdot S_{pw} + w_{ss} \cdot S_{ss} + w_{gp} \cdot S_{gp}$$

โดยที่ Base Payoff คือ คะแนนอรรถประโยชน์หรือความพึงพอใจพื้นฐานของกลุ่มกลยุทธ์ ก่อนหักมาตรการลงโทษ

w_{pw} , w_{ss} , w_{gp} คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญ (Weights) ที่แต่ละกลยุทธ์มอบให้แก่เป้าหมายด้านความอยู่รอด ความเสถียร และการเติบโตตามตารางที่ 2

2.5.2 มาตรการลงโทษและสมการ ผลตอบแทนสุทธิ (Penalty Mechanisms and Final Payoff)

มาตรการลงโทษผู้เป็นภาระสังคม (P_{free}): หักคะแนนกลยุทธ์ที่ตักตวงทรัพยากรส่วนกลางมาบริโภคเกินกว่าปริมาณที่ตนผลิตได้สุทธิ (Free-riding) ด้วยค่าน้ำหนัก 0.20

มาตรการลงโทษขยะและมลพิษ (P_{waste}): หักคะแนนกลยุทธ์ที่เร่งผลิตทรัพยากรเกินความจำเป็นจนสร้างความเครียด (Environmental Stress) ต่อความจุของระบบ ด้วยค่าน้ำหนัก 0.15

มาตรการลงโทษอารยธรรมถดถอย (P_{reg}): ทำงานเฉพาะเมื่อระบบเกิดวิกฤตพลังงาน โดยจะลงโทษอย่างรุนแรงด้วยค่าน้ำหนัก 0.30 ต่อกลุ่มที่ผลาญพลังงานแต่ไม่ช่วยผลิต



คะแนนผลตอบแทนสุทธิ (Final Payoff)

ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จ (Fitness) ของแต่ละกลยุทธ์ จะถูกคำนวณโดยการนำคะแนนพื้นฐานมาหักลบกับ บทลงโทษทั้งหมด และใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์จำกัด ค่าต่ำสุดไว้ที่ศูนย์ เพื่อป้องกันผลตอบแทนติดลบ

Final Payoff = max(0, Base Payoff - ($P_{free} + P_{waste} + P_{reg}$))
โดยที่ P_{free} , P_{waste} และ P_{reg} คือค่าคะแนนการลงโทษ เมื่อถูกประเมินว่าเป็นภาระสังคม สร้างขยะ และเร่งวิกฤต พลังงาน ตามลำดับ

2.6 พลวัตการปรับตัวและการกลายพันธุ์ เชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Dynamics and Mutation)

ระบบจำลองใช้สมการ Discrete-Time Replicator Dynamics ในการปรับสัดส่วนประชากร โดยกลยุทธ์ที่สร้างผลตอบแทนสุทธิ (Final Payoff) ได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยของสังคมจะได้รับการคัดเลือกให้ขยาย สัดส่วนในเจเนอเรชันถัดไป

นอกจากนี้ เพื่อจำลองความแปรปรวน เชิงพฤติกรรมของมนุษย์ (Evolutionary Drift) หรือ การเปลี่ยนกลุ่มความคิดโดยไม่พึงพาผลตอบแทน โครงการนี้ได้ผนวก ทฤษฎีห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain Mutation Matrix)

โดยกำหนดอัตราการกลายพันธุ์หรือการย้ายค่าย ัว้คงที่ร้อยละ 0.1 ($\mu = 0.001$) ต่อเจเนอเรชัน ซึ่งประชากรที่ย้ายกลุ่มจะถูกกระจายไปยังกลยุทธ์ ทางเลือกอื่นอย่างเท่าเทียมกัน

$$x(t)' = x(t) \cdot Q$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0.999 & 0.000333 & 0.000333 & 0.000333 \\ 0.000333 & 0.999 & 0.000333 & 0.000333 \\ 0.000333 & 0.000333 & 0.999 & 0.000333 \\ 0.000333 & 0.000333 & 0.000333 & 0.999 \end{bmatrix}$$

โดยที่ $x(t)''$ และ $x(t)'$ คือเวกเตอร์แถวแสดงสัดส่วน ประชากรของทั้ง 4 กลยุทธ์ ก่อนและหลังผ่านกระบวนการ กลายพันธุ์ตามลำดับ และ Q คือเมทริกซ์การเปลี่ยน สถานะของมาร์คอฟ (Transition Matrix) ขนาด 4x4

2.7 การตรวจสอบความเสถียรทางพลวัตและ จุดสมดุลวิวัฒนาการ

2.7.1 ความเสถียรทางพลวัต: ระบบจะบรรลุ ความเสถียรเมื่อสัดส่วนประชากรของทุกกลยุทธ์ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.001 ติดต่อกันเป็นเวลา 100 เจเนอเรชัน

เงื่อนไขที่ 1: Resident ต้องได้ผลตอบแทน สูงกว่า Mutant ในสภาวะที่ Resident ครองเมือง

เงื่อนไขที่ 2: หากผลตอบแทนเท่ากัน Resident ต้องสามารถเอาชนะ Mutant ได้เมื่อเข้าไปอยู่ในถิ่น ที่ Mutant ครองเมือง

2.7.3 สมดุลเสถียรเชิงวิวัฒนาการแบบผสม: หากระบบมีหลายกลยุทธ์อยู่ร่วมกันอย่างคงที่ จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติตามทฤษฎีบท Bishop-Cannings ผ่าน 2 เงื่อนไข คือ

เงื่อนไขที่ 1: ผลตอบแทนเท่ากัน (Payoff Equivalence): ทุกกลยุทธ์ที่รอดชีวิต ณ จุดสมดุล (I^*) ต้องมีผลตอบแทนคาดหวังเท่ากันทั้งหมด

เงื่อนไขที่ 2: ความถี่พึ่งพิงเชิงลบ (Negative Frequency-Dependent Selection): ระบบต้องมี กลไกลดผลตอบแทนของกลยุทธ์ที่ขยายสัดส่วนประชากร เกินสมดุล เพื่อดึงระบบให้กลับเข้าสู่จุดคงที่และต้านทาน การบุกรุกได้

3. ผลการทดลอง

3.1 พลวัตของระบบและการเข้าสู่สมดุล ESS

ผลการจำลองเชิงคำนวณผ่านระบบนิเวศแบบ ปิดตลอด 0-4,999 เจเนอเรชัน พบว่า ไม่ว่าสถานการณ์ เริ่มต้นจะอุดมสมบูรณ์หรือขาดแคลน ระบบจะลู่เข้าสู่ "จุดสมดุลร่วมที่เป็นสากล" (Global Attractor State) และบรรลุสภาวะกลยุทธ์ที่เสถียรเชิงวิวัฒนาการ (ESS) เสมอ โดยประชากรรวมสามารถขยายตัวจนถึงขีดจำกัด สูงสุด (55.25 ล้านหน่วย) ได้สำเร็จในทุกสถานการณ์

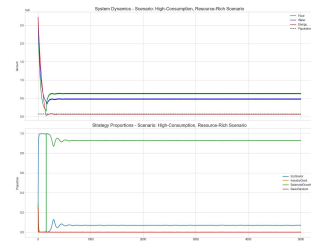


The 6th PCSHS Science Symposium 2026

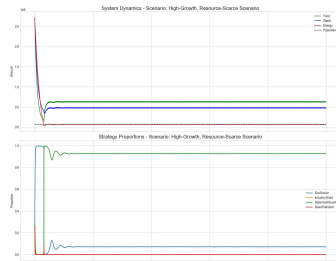
"Driving the Future with Scientific Innovation"

ตารางที่ 3 ผลการจำลองพลวัตประชากรและทรัพยากรภายใต้มาตรการลงโทษ

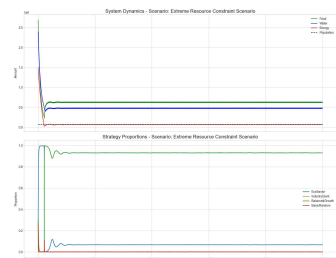
สถานการณ์ สภาวะแวดล้อม	Rich Scenario	Scarce Scenario	Extreme Scenario
อัตราการบรรลุเสถียรภาพพลวัต (Dynamic Stable Rate: %)	100.0%	100.0%	100.0%
Generation ที่รอดชีวิต	4,999	4,999	4,999
จำนวนประชากรสุดท้าย (Mean: คน)	69,630,000	69,040,000	71,800,000
สัดส่วนกลยุทธ์สุดท้าย BalancedGrowth (%)	92.77% ± 0.04%	92.69% ± 0.04%	93.07% ± 0.05%
สัดส่วนกลยุทธ์สุดท้าย EcoSavior (%)	7.09% ± 0.03%	7.15% ± 0.03%	6.77% ± 0.04%
สัดส่วนกลยุทธ์สุดท้าย IndustryGiant (%)	0.04% ± 0.00%	0.04% ± 0.00%	0.04% ± 0.00%
สัดส่วนกลยุทธ์สุดท้าย BasicRandom (%)	0.11% ± 0.04%	0.12% ± 0.03%	0.12% ± 0.03%



รูปที่ 1 กราฟแสดงผลการจำลองพลวัตของระบบและสัดส่วนกลยุทธ์ในสถานการณ์ Resource-Rich



รูปที่ 2 กราฟแสดงผลการจำลองพลวัตของระบบและสัดส่วนกลยุทธ์ในสถานการณ์ Resource-Scarce



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลการจำลองพลวัตของระบบและสัดส่วนกลยุทธ์ในสถานการณ์ Extreme Constraint

เมื่อวิเคราะห์แนวโน้มโครงสร้างพลวัต พบว่าระบบแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาหลักอย่างชัดเจน ได้แก่

3.1.1 ช่วงพลิกฟื้นและขยายตัวเข้าสู่สมดุล (Generations 0–500): ทรัพยากรและประชากรเติบโตอย่างก้าวกระโดดในลักษณะเส้นโค้ง S-Curve ก่อนจะเกิดการแกว่งตัวจากการปรับฐานเข้าสู่ขีดจำกัดโลก

3.1.2 ช่วงเสถียรภาพถาวรเชิงวิวัฒนาการ (Generations 500–4,999): ระดับทรัพยากรและประชากรเข้าสู่เสถียรภาพคงที่ สะท้อนการบรรลุสมดุล ESS ที่ยั่งยืนในระยะยาว

3.1.3 การทดสอบเสถียรภาพเชิงวิวัฒนาการ

3.1.3.1 การผ่านเกณฑ์ความเสถียรทางพลวัต:

สัดส่วนประชากรของทุกกลยุทธ์ (BG, ES, IG และ BR) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.001 ติดต่อกันเป็นเวลา 100 เจเนอเรชัน

3.1.3.2 การบรรลุสมดุลเสถียรเชิงวิวัฒนาการ

แบบผสม: จากรูปที่ 1-3 ระบบไม่เข้าสู่สมดุลแบบกลยุทธ์เดี่ยว แต่บรรลุสมดุลแบบผสม โดย BalancedGrowth (BG) เป็นกลยุทธ์หลักที่มีสัดส่วนประชากร 90–95% และ EcoSavior (ES) รักษาสัดส่วนประชากรรองที่ 5–10% ได้อย่างมั่นคง ขณะที่กลยุทธ์อ่อนแออย่าง IndustryGiant (IG) และ BasicRandom (BR) จะมีสัดส่วนเข้าใกล้ 0%

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

การเข้าสู่สมดุลสากล ในทุกสภาวะจำลอง ยืนยันความเสถียรของแบบจำลองตามทฤษฎีพลวัตระบบ โดยมีขีดจำกัดการรองรับเป็นกลไกควบคุมและบังคับให้ประชากรปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลเสมอ

ณ จุดสมดุล กลยุทธ์ BalancedGrowth (BG) ให้ผลตอบแทนสูงสุดผ่านการผสมผสานการเติบโตและการอนุรักษ์ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ตรงข้ามกับกลยุทธ์ IndustryGiant (IG) ที่มุ่งแต่ผลประโยชน์ระยะสั้นจนก่อให้เกิด "โศกนาฏกรรมของทรัพยากรส่วนรวม" พร้อมกับกลยุทธ์ที่ไร้รูปแบบ คือ BasicRandom (BR) จะมีสัดส่วนประชากรเข้าใกล้ 0%



อย่างไรก็ตาม ระบบได้บรรลุสมมูลแบบผสม (Mixed ESS) โดยรักษาสัดส่วนกลุ่ม EcoSavior (ES) ไว้ที่ร้อยละ 5-10 เพื่อป้องกันทรัพยากรล่มสลาย ข้อค้นพบนี้สะท้อนนัยทางนโยบายว่า ภาครัฐควรขับเคลื่อนการพัฒนาด้วยการเติบโตแบบสมดุล (BG) เป็นแกนหลักควบคู่กับการสนับสนุนพื้นที่แก่กลุ่มนักอนุรักษ์ (ES) เพื่อสร้างความยืดหยุ่นและความยั่งยืนให้แก่ระบบนิเวศและสังคมอย่างเป็นรูปธรรมเพื่อสร้างความยืดหยุ่นและความยั่งยืนให้ระบบนิเวศและสังคมอย่างแท้จริง

4.2 สรุปผลการทดลอง

ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 สามารถสร้างระบบนิเวศจำลองแบบปิดที่บูรณาการทรัพยากรหลักเข้ากับพลวัตประชากร ภายใต้เกณฑ์ประเมินความเสถียรทางพลวัตและสมดุลเสถียรเชิงวิวัฒนาการที่รัดกุม ทำให้ผลการวิเคราะห์สะท้อนความเป็นจริงได้

ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 การทดสอบ 4 กลยุทธ์ใน 3 สถานการณ์ชี้ว่า ระบบลู่เข้าสู่จุดสมดุลเชิงวิวัฒนาการเสมอ โดยกลยุทธ์ BG มีประสิทธิภาพสูงสุดและครองประชากรหลักร้อยละ 92-93 รองลงมาคือ ES ที่ร้อยละ 6-7 ขณะที่ IG และ BR จะมีสัดส่วนประชากรเข้าใกล้ร้อยละ 0

ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ระบบบรรลุสมมูลแบบผสมที่ BG และ ES สามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างเสถียร ปัจจัยหลักที่ทำให้ BG สำเร็จคือการรักษาสมดุลระหว่างการเติบโต (BG) และการอนุรักษ์ (ES) ไปด้วยกัน

ข้อเสนอแนะ

ควรขยายกรอบการวิจัยสู่พลวัตเชิงพื้นที่ (Spatial Dynamics) เพื่อศึกษาความเชื่อมโยงและการถ่ายเททรัพยากรระหว่างภูมิภาคต่าง ๆ ของไทย นอกจากนี้อาจพิจารณาเพิ่มตัวแปรด้านความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ที่สามารถช่วยขยายขีดจำกัดการรองรับ (Carrying Capacity) ของระบบในระยะยาวได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการ คณาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษ ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาและตรวจทานแก้ไข ตลอดจนติดตามดาผู้เป็นกำลังใจสำคัญ คุณประโยชน์อันเกิดจากโครงการนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณและประเทศชาติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- G. Hardin. (1968, December). The Tragedy of the Commons. Science. 162(3859): 1243-1248.
- J. Maynard Smith. (1982). Evolution and the Theory of Games. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- P. D. Taylor and L. B. Jonker. (1978). Evolutionarily Stable Strategies and Game Dynamics. Mathematical Biosciences. 40(1-2): 145-156.
- R. L. Keeney and H. Raiffa. (1976). Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. New York, NY, USA: Wiley.
- T. R. Malthus. (1798). An Essay on the Principle of Population. London, U.K.: J. Johnson.
- World Bank. (2026). World Development Indicators. World Bank DataBank. Retrieved Jun 25, 2026, from <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.