14522

การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวิวัฒนาการค่าตอบสำหรับการจัดสรรวัตถุดิบในการขนส่งข้าวแบบหลายลำดับขั้น

Application of Differential Evolution Optimization Algorithm for Raw Material Allocation Problems in Multi-Stage Rice Transportation

เอกชัย คุปตาวาทิน[1]*

[1]อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของอัลกอริทึ่มในการแก้ปัญหาการจัดสรรวัตถุดิบ ในการขนส่งข้าวแบบหลายลำดับขั้น ระหว่างการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์แล้วแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 และการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวิวัฒนาการค่าตอบ (Differential Evolution: DE) โดยขั้นตอนการวิจัยมีสองขั้นตอน คือ 1) การเปรียบเทียบผลคำตอบในด้านเศรษฐศาสตร์ และ 2) ระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบที่น้อยที่สุดในการทดสอบอัลกอริทึ่มที่นำเสนอ จะทำการทดสอบกับปัญหาที่ผู้วิจัยทำการจำลองสถานการณ์ขึ้น เพื่อใช้ในการวิจัยทั้งสิ้น 6 กรณีศึกษา จากผลการทดลอง พบว่า ด้านเศรษฐศาสตร์ วิธีการหาคำตอบของ DE ให้คำตอบที่ไม่ดีกว่าคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 เฉลี่ย 0.525% แต่ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าเฉลี่ย 206 นาที เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11

Abstract

The research aims to compare results of algorithm for solving allocation problem in multi-stage rice transportation between formulation of mathematical model with computation by Lingo V.11 and application of Differential Evolution (DE). The research was conducted in two stages: 1) comparing efficiency of the two employed applications in terms of economic, and 2) comparing for minimum computation time. The proposed algorithm was tested with problems in six simulated case studies. Results show that, in terms of economic, DE did not generate better solutions than Lingo V.11 at an average of 0.525%. However, it used faster response time at an average of 206 minutes when compared to Lingo V.11.

คำสำคัญ : การจัดสรรงานแบบหลายลำดับขั้น วิธีการวิวัฒนาการค่าตอบ
Keywords : Multi-stage Allocation of Work, Differential Evolution

* ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ akekachai.co@rmuti.ac.th โทร. 08 2840 6735

1. บทนำ

ในปี 2554 การส่งออกข้าวโลกมีปริมาณ 34.37 ล้านตัน ข้าวสารเพิ่มขึ้นจาก 31.61 ล้านตัน ข้าวสารของปี 2553 ร้อยละ 8.73 โดยประเทศที่ส่งออกเพิ่มขึ้น เช่น อาร์เจนตินา ออสเตรเลีย บราซิล เมียนมาร์ สหภาพยุโรป อินเดีย อุรุกวัย เวียดนาม และไทย ส่วนประเทศที่ส่งออกลดลง เช่น จีน อียิปต์ ปากีสถาน และสหรัฐอเมริกา ประเทศไทยยังคงส่งออกข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลก และคาดว่าจะส่งออกได้ประมาณ 10.55 ล้านตัน ข้าวสาร มูลค่า 198,000 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปี 2553 ที่ส่งออกได้ 8.94 ล้านตัน ข้าวสาร มูลค่า 168,193 ล้านบาท มูลค่าเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 18.01 และร้อยละ 17.72 ตามลำดับ (สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) โดยปริมาณผลผลิตข้าวเปลือก 14,847,229 ตัน มาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือร้อยละ 37.88 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ซึ่งในโซ่อุปทานข้าวนั้นจะประกอบไปด้วยผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกันโดยเริ่มจากเกษตรกร ซึ่งเป็นหน่วยผลิตต้นน้ำของโซ่อุปทานข้าว หลังจากนั้นข้าวเปลือกจากเกษตรกรจะถูกส่งผ่านไปเพื่อแปรสภาพเป็นข้าวสารโดยการส่งผ่านนี้อาจถูกส่งผ่านด้วยเกษตรกรเอง หรือส่งผ่านโดยกลุ่มผู้จัดหาข้าวเปลือกซึ่งประกอบด้วย พ่อค้าคนกลาง กลุ่มเกษตรกรตลาดกลาง ฝ่ายถัดไปในโซ่อุปทานข้าว ได้แก่ โรงสีและสหกรณ์การเกษตร

ดังนั้น จึงควรมุ่งเน้นการบริหารจัดการการขนส่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวซึ่งเป็นเรื่องที่จำเป็นไม่ว่าจะเป็น ด้านการจัดการขององค์กร การจัดการด้านการขนส่ง การคงคลังวัตถุดิบ กระจายสินค้าหรือการจัดสรรทรัพยากร ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นปัญหาด้านการจัดการทรัพยากร ซึ่งถือเป็นปัญหาแบบเอ็นพีฮาร์ด ยากต่อการแก้ปัญหาด้วยวิธีการของ Exact Method ซึ่งจะใช้เวลานาน ซึ่งทำให้นักวิจัยใช้วิธีการทางฮิวริสติกมาใช้แก้ปัญหา เพื่อลดระยะเวลาในการหาคำตอบและคุณภาพของคำตอบก็สามารถยอมรับได้ โดย Jeng-Fung Chen (2007) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการผสมผสานการแก้ไขปัญหาการหาที่ตั้งและการกระจายสินค้าของจุดกระจายสินค้า คือ วิธี Simulated Annealing (SA) และ TS สามารถให้ผลของคำตอบที่ดีเมื่อปัญหามีขนาดเล็ก ซึ่งจะให้คุณภาพของคำตอบดีกว่าการใช้วิธีการหาคำตอบในกรณีที่ใช้ Simulated Annealing (SA) และ Genetic Algorithm (GA) ในการหาคำตอบหลังจากนั้น Martin Bischoff et al. (2009) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการที่ตั้งและจัดสรรของสถานที่ซึ่งมีอุปสรรคหลายอุปสรรค โดยหาสถานที่ตั้งใหม่จากการพิจารณาสถานที่ตั้งเดิม เพื่อใช้ในการกระจาย การจัดสรร พบว่า ถ้าเป็นปัญหาในการหาที่ตั้งแบบเดี่ยว วิธีการที่เหมาะสมและให้คำตอบที่ดีในการจัดสรรทรัพยากร คือ รูปแบบของการมอบหมายงานแบบหนึ่งต่อหนึ่ง แต่หากในการหาที่ตั้งนั้นมีอุปสรรค ประสิทธิภาพในการจัดสรรก็จะไม่ดี ดังนั้น ควรมีการพัฒนาอัลกอลิทึม GA ขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในกรณีที่มีการหาสถานที่ตั้งหลายสถานที่ หลายอุปสรรค ผลปรากฏว่าอัลกอลิทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถให้คำตอบที่ดีทั้งเรื่องของเวลาในการทดสอบและผลของคำตอบ โดยสามารถใช้ในการแก้ปัญหาของตัวเลขที่มีความหลากหลาย รวมไปถึงผลของฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพ ในการหาคำตอบของปัญหาเอ็นพีฮาร์ดซึ่งเป็นปัญหาที่ยากต่อการแก้ปัญหา ซึ่ง

Qin and Suganthan (2005) ได้พัฒนาวิธีการหาคำตอบที่เรียกว่า Self-adaptive Differential Evolution Algorithm for Numerical Optimization (SADE) จากหลักการพื้นฐานของการหาคำตอบของ Differential Evolution Algorithm โดยทำการปรับปรุงปัจจัยควบคุม F และ CR โดยระบุว่าไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าของ F และ CR ไว้ล่วงหน้าในระหว่างการวิวัฒนาการพารามิเตอร์ที่จะค่อย ๆ ปรับตัวเองตามประสบการณ์การเรียนรู้ ผลของการทดสอบ SADE เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของชุดของฟังก์ชันมาตรฐาน 25 ชุด โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จริง พบว่า มีค่าที่น่าพอใจ และจากประสิทธิภาพที่ดีของ DE ทำให้ Chakraborty et al. (2006) คิดวิธีการใหม่ในการกลายพันธุ์ของ DE โดยการจำลองรูปแบบของ DE สองแบบ เพื่อทดสอบการกลายพันธุ์ของ 3 ปัจจัยซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติว่า วิธีการกลายพันธุ์ใหม่นี้ มีนัยสำคัญที่ดีขึ้นกว่า 3 ปัจจัยแบบเดิมใน DE โดยใช้หกฟังก์ชันการทดสอบเพื่อหามาตรการประสิทธิภาพ เช่น วิธีการแก้ปัญหาที่มีคุณภาพ, เวลาที่แก้ปัญหา, ความถี่ในการแก้ปัญหา และขนาดของการแก้ปัญหา เช่นเดียวกับ Dexuan zou et al. (2011) ได้ทำการพัฒนาวิธีการ DE โดยทำการปรับปรุง 2 ส่วนที่สำคัญของพารามิเตอร์ในขั้นตอนของ DE คือ ขนาดของปัจจัยและค่าของ Crossover Rate (CR) โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Improve Differential Evolution (IDE) โดยให้ค่าของ Scale Factor สามารถปรับค่าได้และค่าของ CR มีการเปลี่ยนค่าเป็นลักษณะเป็นขั้น ๆ โดยได้เอาตัวอย่างของปัญหามาเปรียบเทียบคำตอบกับวิธี DE สองวิธี ได้แก่ Opposition-based Differential Evolution (ODE) และ Adaptive Differential Evolution with Optional External Archive (JADE) ผลปรากฏว่า IDE ที่พัฒนาขึ้นให้คำตอบดีกว่าทั้งสองวิธี ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการลดต้นทุนและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในระบบ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากร พบว่า วิธีการหาคำตอบของ Differential Evolution (DE) มีประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบที่ดี และระยะเวลาในการหาคำตอบที่ค่อนข้างน้อย ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงนำหลักการของวิธี DE มาใช้ในการจัดสรรวัตถุดิบข้าวเปลือก กับข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการสร้างขึ้นเพื่อเป็นกรณีศึกษา โดยทำการศึกษาและจำลองรูปแบบการขนส่งวัตถุดิบข้าวเปลือกของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวลานรับซื้อข้าว และโรงงานสีข้าว ตามลำดับ เพื่อให้เกิดการจัดสรรวัตถุดิบที่เหมาะสม และก่อให้เกิดกำไรจากการจัดสรรวัตถุดิบที่สูงสุดให้กับเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ซึ่งมีวิธีการหาคำตอบสองวิธี คือ การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ซึ่งเป็น Exact Method ในการประมวลผลคำตอบและการนำวิธีการทางฮิวริสติก คือ วิธีการหาคำตอบของ Differential Evolution (DE) มาประยุกต์ในการแก้ปัญหา และเพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพของอัลกอลิทึมที่ออกแบบ

2. วิธีการทดลอง

เพื่อให้เข้าใจวิธีการหาคำตอบแบบวิวัฒนาการคำตอบ (Differential Evolution: DE) จึงได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

2.1 ทฤษฎีในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการคำตอบ (Differential Evolution)

ขั้นตอนและหลักการในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Differential Evolution ที่เสนอโดย Storn and Price (1997) กรอบทฤษฎีของ Differential Evolution เป็นรูปแบบง่าย ๆ โดย Bin et al. (2008) ได้อธิบายว่าจากข้อได้เปรียบของความสัมพันธ์ของตัวแปรควบคุมที่มีค่อนข้างน้อย แต่การทำงานยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่ การวิวัฒนาการถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายและมีการนำเสนอจุดแข็งของวิธีการในหลายรูปแบบที่มีการประยุกต์ใช้ Price et al. (2005) ได้อธิบายกระบวนการทำงานในการวิวัฒนาการแบบคลาสสิคโดยแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนการวิวัฒนาการที่สำคัญ ได้ดังนี้

2.1.1 Initial Population

ขั้นตอนนี้เริ่มจากการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขต ข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of Population เป็น Decision Vector กลุ่มหนึ่งนำมาคำนวณหาค่าคำตอบ เรียกว่า Cost Value หรือ Fitness Value หรือ Function Value ในความหมายเดียวกัน

2.1.2 Mutation

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการคูณตัวแปรตัดสินใจด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Weighting Factor: F หรือเรียกว่า Mutation Factor: F อีกชื่อหนึ่งเช่นกันเพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่ากลายพันธุ์ให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรในข้อแรกมีขั้นตอนย่อย ดังนี้

1) ทำการกำหนด Target Vector ($X_{i,G}$) โดยที่ i = 1,2,3, ... , NP

2) สุ่มเลือกจำนวน 3 Vector ($X_{r1,G}$, $X_{r2,G}$, $X_{r3,G}$) จากประชากรตั้งต้นที่ไม่ซ้ำกับ Target Vector

3) ทำการคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (1)$$

เมื่อ

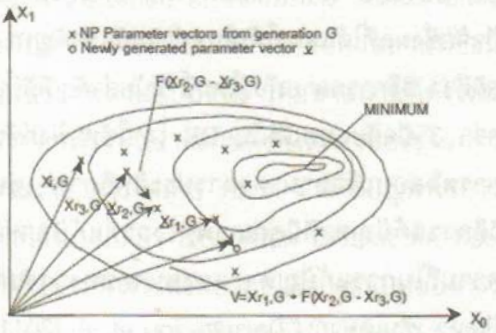
$X_{r1,G}$ = Target Vector

$V_{i,G+1}$ = Mutant Vector

$X_{r1,G}$, $X_{r2,G}$, $X_{r3,G}$ = Random Vector

F = Weighting Facto

ลักษณะการค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปรของ Storn and Price (1997)

2.1.3 Recombination

ขั้นตอนนี้เป็นการประสมสายพันธุ์ซึ่งจะทำให้ได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบออกมา ทั้งที่ดีกว่าและแย่กว่า ออกมาอย่างหลาหลาย เพื่อเฟ้นหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ ๆ ซึ่งจะได้ Trial Vector (Ui,G+1) โดยแสดงในรูปที่ 2

เมื่อ

$$U_{j1,G+1} = (U_{1i,G+1}, U_{2i,G+1}, \ldots, U_{Di,G+1}) \quad (2)$$

และ

$$V_{j1,G+1} \text{ if } (randb(j) \leq CR) \text{ or } j = rnbr(i) \quad (3)$$

$$X_{j1,G+1} \text{ if } (randb(j) > CR) \text{ or } j \neq rnbr(i) \quad (4)$$

เมื่อ

$U_{j1,G+1}$ = Trial Vector

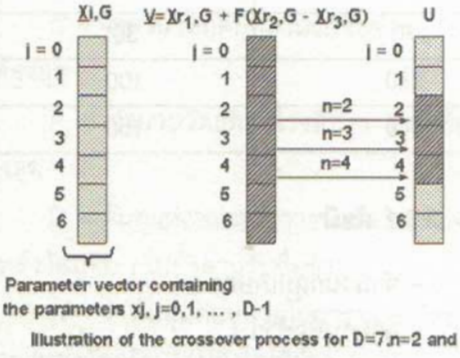
$V_{j1,G+1}$ = Mutant Vector

$X_{j1,G+1}$ = Target Vector

randb(j) = การสุ่มจำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1 ครั้งที่ j

CR = Crossover Constant จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1

rnbr(i) = Index จากการสุ่มเลือกจำนวนเต็ม 1,2, ...,D และ j = 1,2, ...,D



รูปที่ 2 แสดงการ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า D=7 ของ Storn and Price (1997)

2.1.4 Selection

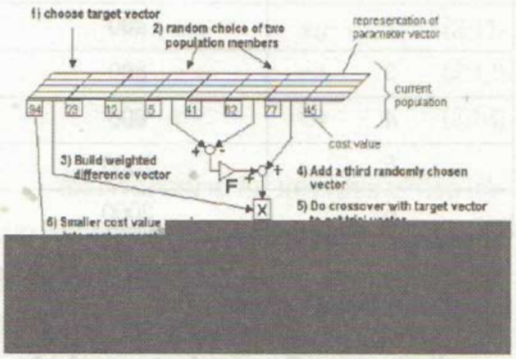
ขั้นตอนนี้จะคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยคัดเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีกว่าโดยทำการเปรียบเทียบ Function Value หรือ Cost Value ของ Trial Vector กับ Target Vector ในกรณีที่ค่า Function Value ของ Trial Vector ดีกว่า Target Vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial Vector ในรุ่นต่อไป

2.1.5 Evaluation & Re-Generation

ดำเนินการซ้ำโดยกลับไปเริ่มต้นจากขั้นตอน Initial population, Mutation, Recombination และกระบวนการ Selection โดยเปลี่ยน Target Vector จนถึง i = NP

2.1.6 Reach Convergence Tolerance

ขั้นตอนการนำ Target Vector ที่ได้จากขั้นตอน Selection มาทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดจนครบตามความต้องการโดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3

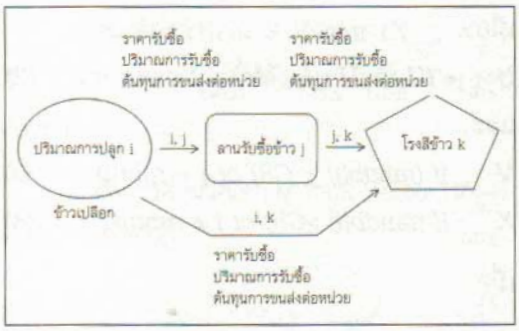


รูปที่ 3 แสดงกระบวนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี Differential Evolution จากขั้นที่ 1 ถึง 4 ของ Storn and Price (1997)

2.2 ข้อมูลในการวิจัย

ผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์การขนส่งข้าวเปลือก ตามกรอบแนวความคิดของการวิจัย โดยข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลจริงบางส่วนในปัจจุบันของการขนส่งข้าวเปลือกในจังหวัดแห่งหนึ่งของ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และอีกส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการจำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลด้านต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบ ราคารับซื้อของลานรับซื้อข้าว และโรงสีข้าว เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอลิทึม DE ที่ออกแบบขึ้นมา โดยกรอบแนวคิดด้านการวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และในส่วนของกรณีศึกษาที่นำมาทดสอบมีการจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นขนาดของปัญหา จำนวนกลุ่มเกษตรกร ลานรับซื้อข้าว โรงสีข้าวโดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 กรอบแนวคิดในการวิจัยการส่งข้าวเปลือกไปยังลานรับซื้อข้าว และโรงสีข้าว

ตารางที่ 1 แสดงจำนวน กลุ่มเกษตรกร ลานรับซื้อข้าวเปลือก และโรงสี ในแต่ละกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	กลุ่มเกษตรกร (กลุ่ม)	ลานรับซื้อข้าวเปลือก (ลาน)	โรงสีข้าว (โรง)
1	198	24	8
2	400	30	12
3	600	40	24
4	800	70	36
5	2000	250	100
6	3000	340	150

2.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วยฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไขต่าง ๆ และครอบคลุมไปถึงนิยามของดัชนีที่ใช้ ตัวแปรต่าง ๆ สมมติฐานที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งคำอธิบายในแต่ละเงื่อนไข เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของระบบการขนส่งข้าวเปลือกของกลุ่มเกษตร ซึ่งจะทำให้สามารถนำตัวแบบที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบได้ต่อไป

2.3.1 ดัชนี

i = จำนวนกลุ่มเกษตร i

j = ลานรับซื้อข้าว j

k = โรงสีข้าว k

2.3.2 ตัวแปรตัดสินใจ

$X_{i,j}$ = จำนวนวัตถุดิบข้าวเปลือกที่ขนส่งจากกลุ่มเกษตรกร i ไปลานรับซื้อข้าว j

$Y_{i,k}$ = จำนวนวัตถุดิบข้าวเปลือกที่ขนส่งจากกลุ่มเกษตรกร i ไปโรงสีข้าว k

$G_{j,k}$ = จำนวนวัตถุดิบข้าวเปลือกที่ขนส่งจากลานรับซื้อข้าว j ไปโรงสีข้าว k

$B_{i,j}$ = 1 เมื่อมีการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบ i ไปยังลานรับซื้อข้าว

0 เมื่อเป็นกรณีอื่น ๆ

$F_{i,k}$ = 1 เมื่อมีการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบ i ไปยังโรงสีข้าว k

0 เมื่อเป็นกรณีอื่น ๆ

$L_{j,k}$ = 1 เมื่อมีการขนส่งวัตถุดิบจากลานรับซื้อข้าว j ไปยังโรงสีข้าว k

0 เมื่อเป็นกรณีอื่น ๆ

2.3.3 พารามิเตอร์

M_j = ราคารับซื้อวัตถุดิบต่อหน่วยที่ลานรับซื้อข้าว j

N_k = ราคารับซื้อวัตถุดิบต่อหน่วยที่โรงสีข้าว k

S_i = จำนวนวัตถุดิบที่กลุ่มเกษตรกร i ผลิตได้

C_j = จำนวนวัตถุดิบที่ลานรับซื้อข้าว j รับซื้อได้สูงสุด

P_k = จำนวนวัตถุดิบที่โรงสีข้าว k รับซื้อได้สูงสุด

$D_{i,j}$ = ต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบ i ไปยังลานรับซื้อข้าว j

$W_{i,k}$ = ต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบ i ไปยังโรงสีข้าว k

$R_{j,k}$ = ต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งวัตถุดิบจากลานรับซื้อข้าว j ไปยังโรงสีข้าว k

2.3.4 สมการเป้าหมาย (Objectives)

Maximize

$$= \left(\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} M_j X_{ij} B_{ij}\right) + \left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{I} N_k Y_{ik} F_{ik}\right) + \left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} (N_k - M_j) G_{jk} L_{jk}\right) - \left[\left(\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} X_{ij} B_{ij} D_{ij}\right) + \left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{I} Y_{ik} F_{ik} W_{ik}\right) + \left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} G_{jk} L_{jk} R_{jk}\right)\right] \quad (2.1)$$

2.3.5 สมการขอบข่าย (Constraints)

Subject to;

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ij} + \sum_{k=1}^{K} Y_{ik} = S_i \quad \forall i \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^{I} X_{ij} \le C_j \quad \forall j \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Y_{ik} + \sum_{j=1}^{J} G_{jk} \le P_k \quad \forall k \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^{J} B_{ij} + \sum_{k=1}^{K} F_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^{I} X_{ij} = \sum_{j=1}^{J} G_{jk} \quad \forall j \quad (2.6)$$

$$\sum_{j=1}^{J} L_{jk} = 1 \quad \forall j \quad (2.7)$$

$$B_{ij} = \{0,1\} \quad \forall ij \quad (2.8)$$

$$F_{ik} = \{0,1\} \quad \forall ik \quad (2.9)$$

$$L_{jk} = \{0,1\} \quad \forall jk \quad (2.10)$$

$$X_{ij} \ge 0 \quad \forall ij \quad (2.11)$$

$$Y_{ik} \ge 0 \quad \forall ik \quad (2.12)$$

$$G_{jk} \ge 0 \quad \forall jk \quad (2.13)$$

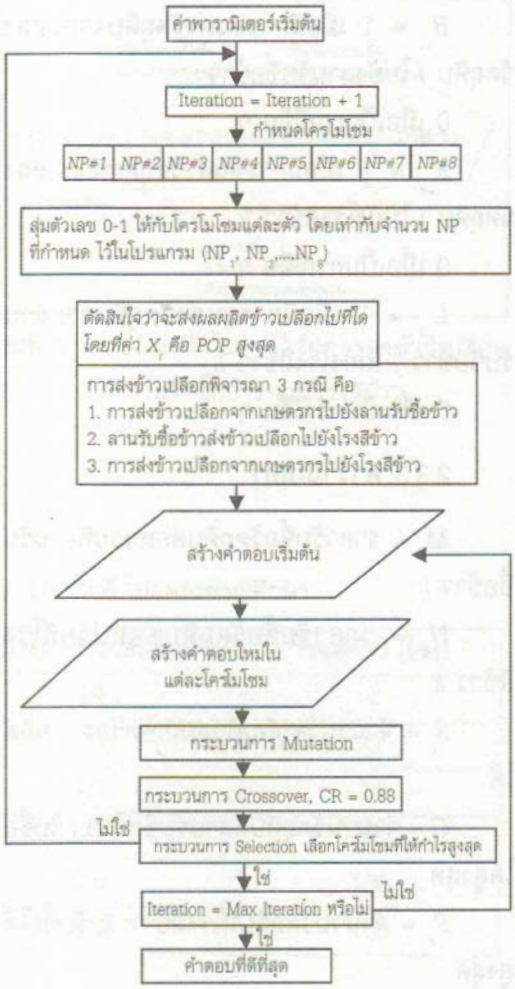
สมการเป้าหมาย คือ ผลรวมของกำไรสูงสุดในการจัดสรรข้าวเปลือกของเกษตรกร ไปยังลานรับซื้อข้าวและโรงสีข้าว ประกอบด้วย 6 พจน์ (2.1) คือ พจน์ที่ (1) เป็นสมการต้นทุนของการรับซื้อข้าวเปลือกของลานรับซื้อข้าว พจน์ที่ (2) และพจน์ที่ (3) สมการต้นทุนของการรับซื้อข้าวเปลือกของโรงสีข้าว พจน์ที่ (4) เป็นสมการต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วยของเกษตรกรไปยังลานรับซื้อข้าว พจน์ที่ (5) เป็นสมการต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วยของเกษตรกรไปยังโรงสีข้าว และพจน์ที่ (6) เป็นสมการต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วยของลานรับซื้อข้าวไปยังโรงสีข้าว

สมการเงื่อนไขประกอบไปด้วย สมการขอบข่ายที่ (2.2) เป็นสมการที่เป็นข้อจำกัดของ

ปริมาณวัตถุดิบจากแหล่งปลูก i ไป j และ i ไป k จะต้องสมดุลกับปริมาณของวัตถุดิบที่มีณ แหล่งปลูก i สมการขอบข่ายที่ (2.3) เป็นสมการที่ระบุว่าปริมาณวัตถุดิบ i จะถูกส่งไปยังลานรับซื้อข้าว j ต้องไม่เกินความจุที่ลานรับซื้อข้าว j รับได้ สมการขอบข่ายที่ (2.4) เป็นสมการที่ระบุว่าปริมาณวัตถุดิบ i ที่ถูกส่งไปยังโรงสีข้าว k เมื่อรวมกับปริมาณวัตถุดิบ j ที่ส่งไปยังโรงสีข้าว k ต้องไม่เกินความจุที่โรงสีข้าว k รับได้ สมการขอบข่ายที่ (2.5) เป็นตัวแปรตัดสินใจในการเลือกส่งวัตถุดิบของเกษตรกร i ไปยังลานรับซื้อข้าว j หรือโรงงาน k ได้เพียง 1 แห่งเท่านั้น สมการขอบข่ายที่ (2.6) เป็นสมการสมดุลของลานรับซื้อข้าว j เมื่อรับปริมาณวัตถุดิบ i มาแล้วต้องส่งต่อที่โรงสีข้าว k ให้หมดไม่มีการเก็บคงคลัง สมการขอบข่ายที่ (2.7) เป็นตัวแปรตัดสินใจในการเลือกส่งวัตถุดิบของลานรับซื้อข้าว j สามารถเลือกส่งไปที่โรงสีข้าว k ได้เพียง 1 แห่งเท่านั้น สมการขอบข่ายที่ (2.8, 2.9 และ 2.10) เป็นสมการแสดงตัวแปรแบบไบนารี สมการขอบข่ายที่ (2.11, 2.12 และ 2.13) เป็นสมการเงื่อนไขที่ระบุว่าค่าตัวแปรที่คำนวณได้ติดลบไม่ได้หรือเรียกว่า Non-Negativity Constraints

2.4 การประยุกต์ใช้วิธี วิวัฒนาการคำตอบ (Differential Evolution) กับกรณีศึกษา

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ของการจัดสรรวัตถุดิบ ในการขนส่งข้าวเปลือกแบบหลายลำดับขั้น ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนในการหาคำตอบของวิธี DE ไว้ดังแสดงในรูปที่ 5



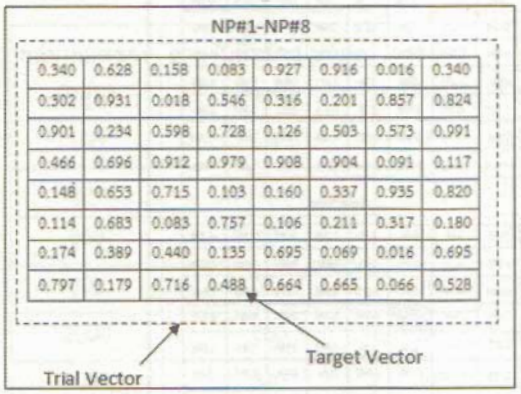
รูปที่ 5 รูปแบบการหาคำตอบเฉพาะแบบกระบวนการ Differential Evolution (DE) ในงานวิจัย

จากรูปที่ 5 สามารถอธิบายขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธี DE โดยจะเริ่มในขั้นตอนที่ 6 ในส่วนของการพัฒนาคำตอบที่ได้จากการสุ่มตัวเลข แทนค่าคำตอบเริ่มต้นเพื่อหาคำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุด มาเป็นคำตอบเริ่มต้นในการหาคำตอบของวิธี DE โดยค่าของพารามิเตอร์ในการวิจัยนี้ เป็นเพียงค่าที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยเปรียบเทียบผลของวิธี Differential Evolution (DE) โดยใช้โปรแกรม Dev C++ 4.9.9.2 ในการประมวลผลกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม

สำเร็จรูป Lingo V. 11 ในการหาคำตอบ

2.4.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Number of Population (NP))

การสร้างคำตอบเริ่มต้นของวิธี DE ในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างคำตอบใหม่โดยใช้ค่าที่ได้จากการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยใช้โครโมโซมเริ่มต้น NP เท่ากับ 8 แล้วจะเลือกโครโมโซมมาเพียง 1 โครโมโซมจากจำนวน 8 โครโมโซม ซึ่งได้ผ่านการพิจารณาจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้วว่าเป็นโครโมโซมที่ส่งผลให้เกิดกำไรสูงสุดในการจัดสรรวัตถุดิบจากเกษตรกรไปยังลานรับซื้อข้าว และโรงสีข้าว มาเป็นโครโมโซมเริ่มต้นในการพัฒนาคำตอบใน DE ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งค่าทั้งหมดจะถูกเรียกว่า Trial Vector และตัวเลขสุ่มแต่ละตำแหน่งใน Trial Vector จะถูกเรียกว่า Target Vector โดยกำหนดค่าของ NP ของ DE มีจำนวนเท่ากับ 8 เช่นเดียวกับการสร้างคำตอบเริ่มต้น หมายความว่า ทุก ๆ ค่าของ NP จะเริ่มต้นด้วย Trial Vector ชุดเดียวกันสามารถแสดงตัวอย่างลักษณะของตารางตัวเลขสุ่ม Trial Vector ได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างลักษณะของตารางตัวเลขสุ่ม Trial Vector ของ NP#1-NP#8

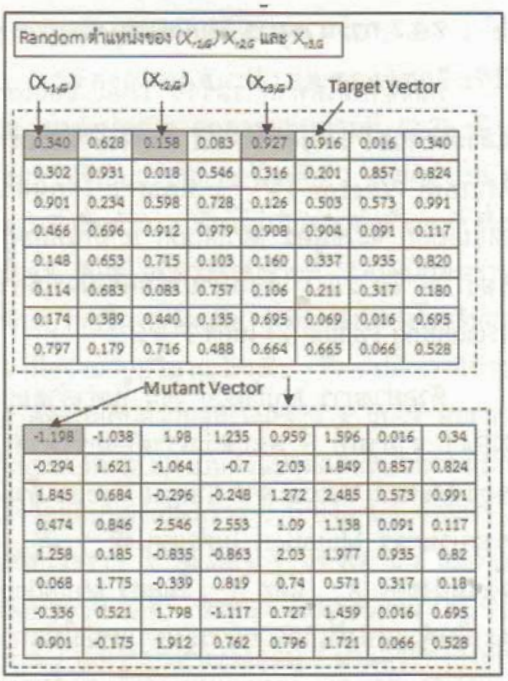
2.4.2 กระบวนการ Mutation

หลังจากที่ได้ทำการสร้าง Trial Vector แล้วนำค่าของ Target Vector ทำการคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ทีละค่า โดยสูตร Mutation จะใช้สูตร Mutation ตามในทฤษฎีของ DE ข้อ 2.1.2 โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ค่า Weighting Factor (F) ใช้ค่า F = 2

ตัวอย่างการ Mutation เช่น ในค่าคำตอบ NP#1 จากรูปที่ 6 สมมติว่าเราต้องการหาค่าของ Mutant Vector จาก Target Vector ด้วยกระบวนการ Mutation ในตำแหน่งที่ 1 ($X_{r1,G}$) ตำแหน่งของ $X_{r2,G}$ และ $X_{r3,G}$ ในสูตร Mutation จะเป็นตำแหน่งที่เกิดจากการสุ่มตำแหน่งในแถวแนวนอนเดียวกัน โดยตำแหน่งจะไม่ซ้ำกันกับตำแหน่งที่ทำการ Mutation สมมติว่า สุ่มค่าของ ($X_{r1,G}$) ได้ตำแหน่งที่ 1 แล้วสุ่มค่า $X_{r2,G}$ ได้ตำแหน่งที่ 3 และสุ่มค่า $X_{r3,G}$ ได้ตำแหน่งที่ 5 ก็นำค่าตัวเลขสุ่มที่ได้ไปคำนวณในสูตร Mutation ได้ดังนี้

$$V_{1,G+1} = 0.34 + 2*(0.158 - 0.927) = -1.198$$

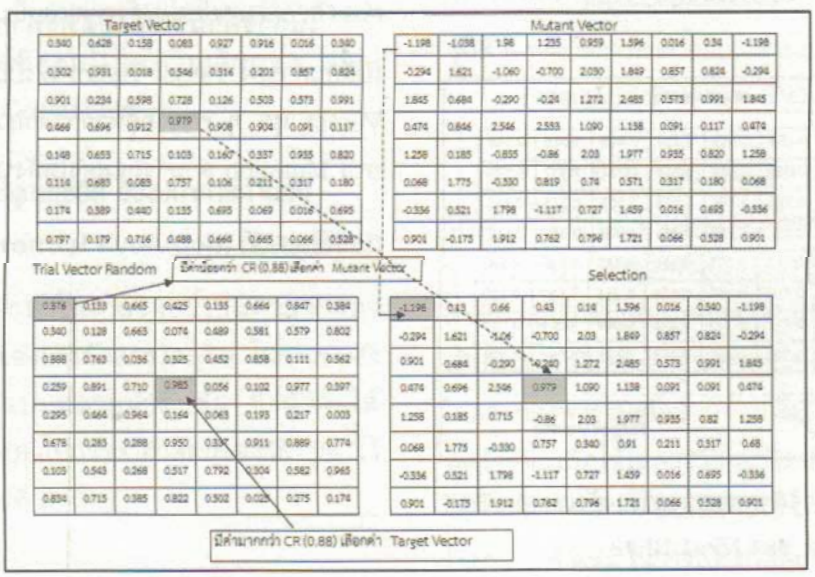
ในการคำนวณนี้จะต้องทำการคำนวณเปลี่ยนค่าของ Target Vector ให้เป็นค่า Mutant Vector ทุก ๆ ค่าจากสูตรการคำนวณ ตัวอย่างการ Mutation สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าของ Mutant Vector แต่ละค่า จากสูตรของ NP#1

2.4.3 กระบวนการ Crossover

เมื่อทำกระบวนการ Mutation จนหมดทุกค่าของ Mutant Vector และทุกคำตอบ NP ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการประสมสายพันธุ์ ซึ่งจะได้สายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ ๆ โดยการสร้าง Trial Vector $(U_{i,G+1})$ มาใช้ในการตัดสินใจจากสูตรที่ (2) ตามทฤษฎีของ DE ข้อ 2.1.3 หากทำการเปรียบเทียบค่าของ Trial Vector กับค่า CR = Crossover Constant โดยการเปรียบเทียบทุกตำแหน่งที่อยู่ใน Target Vector ของแต่ละค่าของ NP โดยที่ค่าของ Trial Vector เป็นตารางตัวเลขสุ่ม 0-1 โดยหากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าของ Trial Vector มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ CR จะทำให้การเลือกในตำแหน่งนั้น ๆ เป็นค่าของ Mutant Vector ตามเงื่อนไขในสมการ (3) หากมีค่ามากกว่าค่าของ CR ให้ใช้ค่า Target Vector ค่าเดิมตามเงื่อนไขในสมการ (4) โดยงานวิจัยครั้งนี้ใช้ค่า CR = 0.88 รอบคำนวณ 1,000 รอบ โดยสามารถแสดงการ Crossover ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวอย่างผลของการคำนวณของกระบวนการ

2.4.4 กระบวนการ Selection

ในขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาการจัดสรรวัตถุดิบในการขนส่งข้าวเปลือกของกรณีศึกษา โดยจะพิจารณาจากค่า Population สูงสุด หากจุดใดมีค่า Population สูงสุดจะถูกกำหนดให้ส่งวัตถุดิบทันที จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลของคำตอบที่สามารถทำให้ค่าของสมการวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุดของแต่ละโครโมโซม หากโครโมโซมใดก็ตามที่ทำให้สมการวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุด จะทำการเลือกโครโมโซมนั้นเป็นคำตอบ แล้วจะถูกนำไปหาคำตอบในรุ่นต่อไปโดยจะดำเนินการซ้ำตั้งแต่กระบวนการ Mutation, Crossover และ Selection จนครบทุก NP โดยที่การคัดเลือกประชากรเพื่อใช้เป็นคำตอบจะเลือกค่าที่มีค่าของการคำนวณจากตาราง Selection ในกระบวนการ Crossover สูงที่สุดในแต่ละโครโมโซม แล้วทำการกำหนดให้ส่งวัตถุดิบไปยังแหล่งนั้นทันที หลังจากดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการของ DE จะมีการพิจารณาเปรียบเทียบค่าของ NP แต่ละค่า เมื่อดำเนินการจนครบรอบของการวนรอบการคำนวณ เพื่อเลือกค่า NP ที่ให้คำตอบในด้านเศรษฐศาสตร์ที่สูงสุดจากการจัดสรรข้าวเปลือกของกลุ่มเกษตรกร ลานรับซื้อข้าว และโรงสีข้าว เพื่อใช้เป็นคำตอบในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ต่อไป

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เมื่อนำวิธี Differential Evolution (DE) มาใช้ในการแก้ปัญหา พบว่า ขนาดของปัญหาในการทดลองที่ต่างกัน มีผลทำให้การประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่มากขึ้นตามขนาดของปัญหา โดยที่วิธีการของ DE สามารถหาคำตอบในระยะเวลาที่สั้นกว่าในทุกกรณี ถึงแม้ว่าขนาดของปัญหาจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นก็ตาม โดยสามารถแสดงผลการคำนวณได้ดังตารางที่ 2 และการเปรียบผลการคำนวณของวิธีการ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงผลการหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 และผลการหาคำตอบด้วยวิธี DE ในแต่ละกรณีศึกษา

กลุ่มเกษตรกร (กลุ่ม)	ลานรับซื้อข้าวเปลือก (ลาน)	โรงสีข้าว (โรง)	โปรแกรม Lingo V.11		DE	
			คำตอบ(บาท)	ระยะเวลา(นาที)	คำตอบ(บาท)	ระยะเวลา(นาที)
198	24	8	25,558,900	49	25,548,800	12
400	30	12	58,192,400	125	57,450,800	19
600	40	24	283,822,000	220	282,793,000	25
800	70	36	688,932,000	340	683,099,820	42
2000	250	100	2,483,416,000	357	2,467,916,000	58
3000	340	150	4,834,160,000	370	4,833,815,700	68

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 และวิธี DE ในแต่ละกรณีศึกษา

กลุ่มเกษตรกร (กลุ่ม)	ลานรับซื้อข้าวเปลือก (ลาน)	โรงสีข้าว (โรง)	ค่าความแตกต่างของคำตอบ ระหว่าง โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 และ วิธี DE	
			% ความแตกต่างของคำตอบ	ระยะเวลาการคำนวณคำตอบ (นาที)
198	24	8	0.039	37
400	30	12	1.27	106
600	40	24	0.36	195
800	70	36	0.84	298
2000	250	100	0.62	299
3000	340	150	0.0071	302
ผลเฉลี่ย			0.525	206

4. สรุป

4.1 อภิปรายผล

ผลจากการนำวิธี Differential Evolution (DE) โดยใช้โปรแกรม Dev C++ 4.9.9.2 ในการเขียนอัลกอลิทึมในหาคำตอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V. 11 ประมวลผลจำนวน 6 กรณีศึกษา ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.1.1 การเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบในด้านเศรษฐศาสตร์ จากตารางที่ 3 ผลการทดลอง พบว่า ในกรณีที่ 1 ใช้กลุ่มเกษตรกรจำนวน 198 กลุ่ม ลานรับซื้อข้าวจำนวน 24 ลานและโรงสีข้าวจำนวน 8 โรง พบว่า มีค่าความแตกต่างของคำตอบ 0.039% กรณีที่ 2 ใช้กลุ่มเกษตรกรจำนวน 400 ลานรับซื้อข้าวจำนวน 30 ลานและ โรงสีข้าวจำนวน 12 โรง พบว่า มีค่าความแตกต่างของคำตอบ 1.27% กรณีที่ 3 ใช้กลุ่มเกษตรกรจำนวน 600 กลุ่ม ลานรับซื้อข้าวจำนวน 40 ลานและโรงสีข้าวจำนวน 24 โรง พบว่า มีค่าความแตกต่างของคำตอบ 0.36% กรณีที่ 4 ใช้กลุ่มเกษตรกรจำนวน 800 กลุ่ม ลานรับซื้อข้าวจำนวน 70 ลานและโรงสีข้าวจำนวน 36 โรง พบว่า มีค่าความแตกต่างของคำตอบ 0.84% กรณีที่ 5 ใช้กลุ่มเกษตรกรจำนวน 2,000 กลุ่ม ลานรับซื้อข้าวจำนวน 250 ลานและโรงสีข้าวจำนวน 100 โรง พบว่า มีค่าความแตกต่างของคำตอบ 0.62% และกรณีที่ 6 ใช้กลุ่มเกษตรกรจำนวน 3,000 กลุ่ม ลานรับซื้อข้าวจำนวน 340 ลานและโรงสีข้าวจำนวน 150 โรง พบว่า มีค่าความแตกต่างของคำตอบ 0.0071%

4.1.2 ระยะเวลาในการคำนวณคำตอบ จากตารางที่ 2 ผลการทดลอง พบว่า ในกรณีที่ 1 วิธี DE ใช้เวลาคำนวณ 12 นาทีโปรแกรม Lingo ใช้เวลา 49 นาทีในกรณีที่ 2 วิธี DE ใช้เวลาคำนวณ 19 นาที โปรแกรม Lingo ใช้เวลา 125 นาทีในกรณีที่ 3 วิธี DE ใช้เวลาคำนวณ 25 นาทีโปรแกรม Lingo ใช้เวลา 220 นาทีในกรณีที่ 4 วิธี DE ใช้เวลาคำนวณ

42 นาทีโปรแกรม Lingo ใช้เวลา 340 นาทีกรณีที่ 5 วิธี DE ใช้เวลาคำนวณ 58 นาทีโปรแกรม Lingo ใช้เวลา 357 นาทีและในกรณีที่ 6 วิธี DE ใช้เวลาคำนวณ 68 นาทีโปรแกรม Lingo ใช้เวลา 370 นาที

ทั้งนี้การวิจัยในครั้งนี้เป็นเพียงการจำลองสถานการณ์ของกรณีศึกษาจำนวน 6 กรณี เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสิทธิภาพของวิธีการ DE ในการแก้ปัญหาการจัดสรรวัตถุดิบ การขนส่งข้าวเปลือกแบบหลายลำดับขั้น ซึ่งวิธีการ DE สามารถให้ผลของการแก้ปัญหาเป็นที่น่าพอใจในทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ และระยะเวลาในการคำนวณคำตอบ โดยในด้านเศรษฐศาสตร์มีค่าความแตกต่างของคำตอบทั้ง 6 กรณีศึกษา เฉลี่ย 0.525% เมื่อเปรียบเทียบกับผลคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo และวิธีการ DE ยังมีระยะเวลาในการคำนวณคำตอบที่เร็วกว่าโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo เฉลี่ย 206 นาทีดังแสดงในตารางที่ 3 จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดของปัญหามีขนาดเพิ่มขึ้น จะทำให้การประมวลผลของโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo มีระยะเวลามากขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคตผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำวิธีการนี้ไปใช้กับการจัดสรรวัตถุดิบในปัญหาจริง เกี่ยวกับการจัดการขนส่งข้าวเปลือกของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว เพื่อเป็นประโยชน์ให้กับเกษตรกรผู้ประกอบกิจการลานรับซื้อข้าว ผู้ประกอบการโรงสีข้าว หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจ ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ กลุ่มเกษตรกร ผู้จัดการลานรับซื้อข้าว เจ้าของโรงสีข้าว ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ทุก ๆ ท่านที่ให้ข้อมูลอันมีประโยชน์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยบริการ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ให้คำแนะนำในการค้นหาข้อมูล เอกสารในการทำวิจัย คณะอาจารย์ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์ ทุก ๆ ท่านที่ให้คำแนะนำ จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จตามเป้าหมาย

6. เอกสารอ้างอิง

สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. n.d. "สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2555." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา **http://www.oae.go.th/download/journal/trends2555.pdf**

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. n.d. "ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา **http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577**

Bin, Q., Ling W., De-Xian, H., and Xiong, W. 2008. Scheduling multi-objective job shop using a meme tic algorithm based on differential evolution. **International Journal of Advanced Manufacturing and Technology,** 35, 1014-1027.

Chakraborty, U.K., Das, S., and Konar, A. 2006. **Differential evolution with local neighborhood.** IEEE Congress on Evolutionary Computation, NJ: IEEE Press.

Dexuan Zou, Haikuan Liu, Liqun Gao, and Steven Li. 2011. An improved differential evolution Algorithm for the task assignment problem. **Engineering Applications of Artificial Intelligence.** 24, 616-24.

Jeng-Fung Chen. 2007. A hybrid heuristic for the uncapacitated single allocation hub location problem. **Omega,** 35, 211-2120.

Martin Bischoff, Tina Fleischmann, and Kathrin Klamroth. 2009. The multi-facility location–allocation problem with polyhedral barriers. **Computers and Operations Research,** 36, 1376-1392.

Qin, A.K. and Suganthan, P.N. 2005. Self-adaptive differential evolution algorithm for numerical optimization. **Proceedings of the 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation,** 2, 1785-1791.

Price, K., Storn, R., and Lampinen, J.A. 2005. **Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series).** *Springer,* New York.

Storn, R. and Price, K. 1997. Differential evolution – a simple and efficient adaptive scheme for global optimizati on over continuous spaces. **Technical Report TR-95-012.** *International Computer Science,* Berkeley, CA.