

## เมตาฮีริสติกส์สำหรับการจัดสรรรถตัดในระบบโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลา ของเครื่องจักรและแปลงอ้อย

### Meta-Heuristic Algorithms for Allocation of Sugarcane Harvester in Inbound

#### Logistics of Sugarcane Industry with Time Windows

ศรายุทธ แสนแก้ว (Sarayut Saenkaew)\* ดร.กาญจนา เสรยฐนันท์ (Dr.Kanchana Sethanan)<sup>1\*\*</sup>

ดร.ฐิติพงษ์ จำรัส (Dr.Thitipong Jamrus)\*\*\* ดร.ศิริรัตน์ พัฒนไพโรจน์ (Dr.Sirorat Pattanapiroj)\*\*\*

(Received: August 10, 2020; Revised: October 7, 2020; Accepted: October 9, 2020)

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากต่อประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมเกษตรขนาดใหญ่ที่สร้างรายได้เป็นอันดับต้นๆของประเทศไทย ดังนั้น เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลให้มากขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดสรรรถตัดอ้อย เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการของเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยพิจารณาการเก็บเกี่ยวแปลงอ้อยที่มีความหวานมากที่สุดในแต่ละช่วงเวลาเป็นหลัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา 2 วิธีการ ได้แก่ วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm) และวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization) จากการศึกษาพบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค สามารถช่วยแก้ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาได้ดีขึ้นถึง 11.1 % และ 8.46% ตามลำดับ

#### ABSTRACT

At present, the sugarcane and sugar industries are a very important industry for Thailand because this industry is one of the top income-generating agriculture industries in Thailand. The sugarcane and sugar industries are developing into a large industry, increasing the production of sugar. Machine usage efficiency is rapidly important. Therefore, this research has studied the problem of service scheduling of sugarcane harvester to effectively support the needs of farmers by considering sugarcane harvesting with the highest based sugarcane Commercial Cane Sugar (CCS). The objective of this research is the maximization of sugarcane yield. This research developed two algorithms to solve the problems that are differential evolution algorithm and particle swarm optimization to find the near-optimal solution. In the real case, it was found the problem solving by differential evolution algorithm, and particle swarm optimization. The solution can support and solve factory problems for the case study can improve to 11.1% and 8.46 % respectively.

**คำสำคัญ:** ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบหลายคาบเวลา เมตาฮีริสติก

**Keywords:** Multi period vehicle routing problem, Meta heuristic algorithm

<sup>1</sup>Corresponding author: skanch@kku.ac.th, ksethanan@gmail.com

\*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*\*\*อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## บทนำ

อุตสาหกรรมน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้ประเทศไทยเป็นลำดับต้นๆ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ คิดเป็นอันดับที่ 2 ของโลก รองจากประเทศบราซิล โดยมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 2,600 ล้านดอลลาร์ นอกจากนี้อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลยังสร้างอาชีพและสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรไทยเป็นอย่างมาก โดยมีจำนวนเกษตรกรที่ปลูกอ้อยคิดเป็น 427,395 ครัวเรือน โดยปริมาณอ้อยก่อนแปรรูป คิดเป็น อ้อยสดประมาณ 51 ล้านตัน อ้อยไฟไหม้ประมาณ 80 ล้านตัน รวมปริมาณอ้อยก่อนส่งเข้าโรงงาน 57 โรงงาน คิดเป็น 131 ล้านตัน คิดเป็นปริมาณน้ำตาลทรายที่ผลิตได้ 14.6 ล้านตัน ด้านคุณภาพความหวานของอ้อยเฉลี่ย อยู่ที่ 12.64 ซี.ซี.เอส. [1] มีมูลค่าเงินหมุนเวียนในอุตสาหกรรมนี้ทั้งในประเทศและต่างประเทศ คิดเป็น 250,000 ล้านบาทต่อปี [2] ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยยังขาดการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลขาเข้า

กิจกรรมต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลขาเข้า อาทิ การเตรียมดินปลูกอ้อย การเก็บเกี่ยวอ้อย การจัดการหน้าลาน การจัดคัมพ้อ้อย ซึ่งทุกกิจกรรมล้วนมีต้นทุนในการดำเนินการที่สูง ปัจจุบันพบว่าการบริหารจัดการในระบบโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศไทยยังไม่มีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับประเทศผู้ส่งออกอ้อยรายใหญ่อื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกิจกรรมการเก็บเกี่ยวอ้อยที่มีต้นทุนในการดำเนินการสูง อีกทั้งยังเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่มีผลต่อเนื่องไปสู่การวางแผนการจัดการหน้าลานอ้อยก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตในลำดับถัดไป ดังนั้นเมื่อมีการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวอ้อยจะทำให้ระบบการจัดการโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายขาเข้าดีขึ้นโดยในปี ค.ศ. 1997 และปี ค.ศ.1988 Higgins ได้ทำการศึกษาโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล เพื่อเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาหาผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด เพื่อลดเวลาในการรอคอยของอ้อยก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตที่ต่ำที่สุด [3-4] ในปี ค.ศ. 2013 Jena และ Poggi ศึกษาการรอคอยของอ้อยก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตที่ต่ำที่สุดเพื่อผลกำไรรวมสูงสุด [5] นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2018 Worasan และ Sethanan ได้พัฒนาอัลกอริทึมโดยการไฮบริดวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่างและวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคในการจัดการตารางเตรียมดินปลูกอ้อยเพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จในการให้บริการต่ำสุด [6] ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาปัญหาการจัดสรรรถตัดที่คำนึงถึงคาบเวลาซึ่งจะส่งผลถึงค่าความหวาน (CCS) ของอ้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด และยังคงความสูญเสียจากการลดลงของค่าความหวานของอ้อยในแต่ละช่วงเวลา โดยพิจารณาข้อจำกัดด้านเวลาของผู้ให้บริการและผู้รับบริการ โดยลักษณะของอัตราการเติบโตสัมพันธ์กับค่าความหวานของอ้อยแต่ละพันธุ์แสดงดัง **ภาพที่ 1** ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความหวานของอ้อยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและเมื่อถึงค่าความหวานสูงสุดจะค่อยๆ ลด ดังนั้นหากมีการวางแผนที่ดีในการเก็บเกี่ยวอ้อยในช่วงเวลาที่ทำให้ค่าความหวานสูงจะทำให้ได้ผลผลิตน้ำตาลรวม สูงตามไปด้วย

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนา 2 อัลกอริทึม ประกอบด้วย 1) การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) และ 2) การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (PSO) ในการแก้ปัญหา โดยเนื้อหาในบทความนี้ประกอบด้วย วัตถุประสงค์การวิจัย วิธีการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะปัญหา อัลกอริทึมในการจัดตารางรถตัดอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน และรูปแบบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น ผลการวิจัย การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการตารางการเก็บเกี่ยวเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องกับระบบโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับจัดการตารางการเก็บเกี่ยวอ้อย เพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาของเครื่องจักรและเวลาของแปลงอ้อย

## วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการจัดการตารางการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด โดยได้จำแนกลักษณะปัญหา รวมถึงข้อจำกัดของปัญหาที่พิจารณา ประกอบกับนำเสนอรูปแบบในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา นอกจากนี้ยังเสนอรูปแบบการแก้ปัญหา 2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 1. ลักษณะของปัญหา

ปัจจุบันการจัดการตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีการพิจารณาการให้บริการตามลำดับการจองคิวของเกษตรกรก่อน โดยเกษตรกรที่มาจองคิวก่อนจะได้รับบริการก่อนตามลำดับ (First-come first-served) ทำให้ไม่ได้พิจารณาระยะเวลาการเคลื่อนที่ระหว่างแปลงที่เกิดความคุ้มค่า อีกทั้งไม่ได้พิจารณาค่าความหวานในการเก็บเกี่ยว ณ คาบ เวลานั้น ๆ ร่วมด้วย ทำให้เกิดปัญหาการไถ้งานรถตัดไม่เต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งยังไม่สามารถให้บริการเกษตรกรได้ครบตามความต้องการ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการจัดลำดับการให้บริการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด ภายใต้การพิจารณาข้อจำกัดด้านรอบเวลาที่กำหนดของรถตัด และแปลงอ้อย โดยลักษณะปัญหาการจัดการตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งมีสมมติฐานและขอบเขตการพิจารณา ดังนี้

- (1) ข้อจำกัดด้านเวลาของรถตัด โดยรถตัดอ้อยแต่ละคันจะมีเวลาในการทำงานจำกัดอยู่ที่ 480 นาทีต่อวัน และจะสามารถทำงานต่อได้ในวันถัดไป
- (2) ข้อจำกัดด้านเวลาของแปลงอ้อย โดยแปลงอ้อยแต่ละแปลงจะมีค่า CCS ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา (Multi-period) อีกทั้งมีเวลาพร้อมสำหรับรับบริการ (Ready time) ที่แตกต่างกันในแต่ละแปลงอ้อย
- (3) เวลาในการทำงานของรถตัดอ้อยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีขนาดเท่ากัน
- (4) ความเร็วของรถตัดมีขนาดความเร็วที่เท่ากัน
- (5) ข้อจำกัดด้านเส้นทางการเก็บเกี่ยว แปลงอ้อยที่ให้บริการในลำดับถัดไป ไม่จำเป็นต้องอยู่ติดกันกับแปลงอ้อยปัจจุบัน

### 2. รูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการรถตัดอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน (Constructive heuristics based on current practice: CH)

เนื่องจากเครื่องจักรในการตัดอ้อยมีราคาสูงดังนั้นเกษตรกรจึงจำเป็นต้องอาศัยโรงงานน้ำตาลเป็นผู้ให้บริการในการตัดอ้อย โดยโรงงานน้ำตาลเป็นผู้จัดสรรการให้บริการรถตัดอ้อยให้แก่เกษตรกรที่อยู่ภายใต้สัญญาขายอ้อย ปัจจุบันรูปแบบการให้บริการรถตัดอ้อยจะให้บริการตามลำดับการจองคิวของเกษตรกรหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการให้บริการแบบ First come first served (FCFS) ภายใต้การพิจารณาค่าข้อจำกัดด้านเวลาของแปลงอ้อย และเวลาพร้อมให้บริการของรถตัดอ้อย

### 3. การพัฒนารูปแบบอัลกอริทึม (Heuristics Development)

#### 3.1 อัลกอริทึม 1: การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm หรือ DE) [7]

(1) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial population):

การสร้างประชากรเริ่มต้นเป็นการเข้ารหัสเพื่อสร้างเวกเตอร์ที่มีขนาด  $NP \times D$  โดยประชากรเริ่มต้นมีจำนวนเท่ากับ  $NP$  เวกเตอร์ และขนาดมิติของข้อมูลมีขนาดเท่า  $D$  (หรือ จำนวนแปลงอ้อยที่พิจารณา) โดยค่าในแต่ละตำแหน่งของเวกเตอร์จะได้ออกจากการสุ่มเลือกตัวเลขที่อยู่ระหว่างช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นตอนนี้จะได้ Target vector ( $X_{ji,G}$ ) แสดงดังภาพที่ 3 โดยรูปแบบสัญลักษณ์และพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงดัง ตารางที่ 1

(2) การกลายพันธุ์หรือมิวเทชัน (Mutation):

การกลายพันธุ์เป็นการเพิ่มผลต่างระหว่าง เวกเตอร์ คูณกับค่าคงที่การกลายพันธุ์ (Mutant Constant:  $F$ ) โดยทำการสุ่มมา 3 เวกเตอร์ คือ  $X_{r1,G}, X_{r2,G}, X_{r3,G}$  โดยประชากรทั้ง 3 เวกเตอร์ต้องไม่ซ้ำกัน ( $r1 \neq r2 \neq r3$ ) ขึ้นตอนนี้จะได้ Mutant vector ( $V_{i,G+1}$ ) แสดงการคำนวณดังสมการที่ (1)

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

(3) การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Crossover หรือ Recombination):

การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ เป็นการเพิ่มความหลากหลายให้กับค่าคำตอบของเวกเตอร์ โดยการเลือกระหว่างค่าพิกัดของเวกเตอร์ของ Target vectors และ Mutant vectors ค่าเลขเร้นคอมในพิกัดนั้น ๆ น้อยกว่าหรือเท่ากับ อัตราส่วนการสลับสายพันธุ์ (Crossover Rate:  $CR$ ) ให้เลือก Mutant vectors เป็น Trial vectors ในพิกัดนั้น ๆ ถ้าเป็นกรณีอื่น จะเลือก Target vector เป็น Trial vector ในพิกัดนั้น ๆ ขึ้นตอนนี้จะได้ Trial vector ( $U_{i,G+1}$ ) แสดงการคำนวณดังสมการที่ (2)

$$U_{ji,G+1} = \begin{cases} V_{ji,G+1} & \text{if } (randb(j) \leq CR) \\ X_{ji,G} & \text{if } (randb(j) > CR) \end{cases} \quad (2)$$

(4) การคัดเลือก (Selection):

การคัดเลือกเป็นการเลือกผลลัพธ์ในแต่ละรอบของการปรับปรุงเวกเตอร์ของ  $X_{n, G+1}$  โดยทำการเลือกเวกเตอร์ที่ให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ระหว่าง Target vectors ( $X_{i,G}$ ) และ Trial Vectors ( $U_{i,G+1}$ ) เป็นเวกเตอร์เป้าหมายในรอบถัดไป ( $X_{i,G+1}$ ) แสดงการคำนวณดังสมการที่ (3)

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G+1} & \text{if } f(U_{i,G+1}) \geq f(X_{i,G}) \quad i = 1, 2, \dots, N \\ X_{i,G} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

#### 3.2 อัลกอริทึม 2: การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization หรือ PSO) [8]

(1) สร้างฝูงอนุภาคเริ่มต้น (Initial Population) เป็นการเข้ารหัสเพื่อกำหนดลำดับความสำคัญในการเลือกตัดอ้อยเพื่อส่งอ้อยเข้าโรงงานในแต่ละรอบ ประชากรเริ่มต้นจะถูกสร้างจำนวน  $P$  อนุภาค ซึ่งมีจำนวนตำแหน่ง เทียบเท่ากับแปลงอ้อยของเกษตรกรที่พิจารณาโดยค่าในแต่ละตำแหน่งของเวกเตอร์จะได้ออกจากการสุ่มเลือกตัวเลขที่อยู่ระหว่างช่วง 0 ถึง 1 แสดงดังภาพที่ 3 โดยรูปแบบสัญลักษณ์และพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงดัง ตารางที่ 1

(2) การปรับค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ( $pBest_i$ )

การปรับค่าตำแหน่งแต่ละอนุภาคจะเกิดขึ้นเมื่อค้นพบตำแหน่งของค่าคำตอบที่ดีกว่าตำแหน่งของอนุภาคปัจจุบัน นั่นคือ  $x_{pBest_i}(t+1) = x_{pBest_i}(t)$

(3) การปรับค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง ( $gBest$ )

การปรับค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูงจะเกิดขึ้นเมื่อมีตำแหน่งของอนุภาคที่ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการค้นหาในรอบการคำนวณที่ผ่านมา นั่นคือ  $x_{gBest}(t) = arg_i maxf(x_{gBest_i}(t))$  หรือ  $gBest$

(4) การปรับความเร็วของอนุภาค

การปรับความเร็วของอนุภาค เพื่อให้เกิดการค้นหาคำตอบทั่วปริภูมิการค้นหา โดยในแต่ละรอบการคำนวณจะมีการปรับตำแหน่ง โดยจะทำการปรับค่าตามความเร็วในรอบปัจจุบัน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$V_i(t+1) = V_i(t) + C_p \cdot u \cdot (pBest_i - X_i(t)) + C_g \cdot u \cdot (gBest - X_i(t)) \quad (4)$$

(5) การปรับค่าตำแหน่งของอนุภาค ( $pBest_i$ )

เป็นขั้นตอนการปรับค่าตำแหน่งของอนุภาค เมื่อได้ค่าความเร็วที่ใช้บอกทิศทางของการเคลื่อนที่ในแต่ละอนุภาคแล้ว จะทำการปรับเปลี่ยนค่าตำแหน่งของอนุภาคเพื่อใช้ในการคำนวณในรอบถัดไป โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (5)$$

### 3.3 การถอดรหัสของอัลกอริทึม 1 และ 2

หลักการที่ใช้ในการถอดรหัส จะใช้การเรียงลำดับสำคัญตามค่าที่สุ่ม (Ranked-order Value: ROV) โดยทำการเรียงลำดับจากน้อยไปมาก จากภาพที่ 4 เมื่อทำการ ROV จะได้ลำดับการให้บริการแปลงอ้อยของเกษตรกรดังนี้ 11-> 4-> 10-> 12-> 13-> 2-> 14-> 15-> 7-> 3-> 9-> 5-> 1-> 6-> 8 โดยแปลงอ้อยแต่ละแปลงอ้อยที่กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ สามารถเริ่มให้บริการได้ตั้งแต่คาบเวลาดังต่อไปนี้ P1- P1- P6- P2- P6- P6- P3- P4- P4- P4- P5- P1- P6- P2- P6 ตามลำดับจากนั้น กำหนด ช่วงเวลาพร้อมให้บริการของรถตัดอ้อย ดังนี้ รถตัดคันที่ 1 อยู่ในช่วง P[1-3], รถตัดคันที่ 2 อยู่ในช่วง P[3-6] และ รถตัดคันที่ 1 อยู่ในช่วง P[3-10] แสดงการถอดรหัสเพื่อหาคำตอบได้ดังภาพที่ 4 โดยรถตัดอ้อยคันที่ 1 สามารถให้บริการได้ในช่วงคาบเวลาที่ 1 ถึง 3 โดยในคาบที่ 1 จะให้บริการ แปลงอ้อยที่ 11- 4- 12 ตามลำดับ รถตัดอ้อยให้บริการครบ 480 นาที จึงต้องเริ่มให้บริการต่อในคาบเวลาถัดไป ในคาบที่ 2 รถตัดอ้อยคันที่ 1 จะให้บริการ แปลงอ้อยที่ 14 - 5 - 6 ตามลำดับ รถตัดอ้อยให้บริการครบ 480 นาที ให้บริการต่อในคาบเวลาถัดไป ในคาบที่ 3 รถตัดอ้อยคันที่ 1 จะให้บริการ แปลงอ้อยที่ 6 รถตัดอ้อยคันที่ 2 สามารถให้บริการได้ในช่วงคาบเวลาที่ 3 ถึง 6 โดยในคาบที่ 6 จะให้บริการ แปลงอ้อยที่ 10 - 13 ตามลำดับ รถตัดอ้อยให้บริการครบ 480 นาที รถตัดอ้อยคันที่ 3 สามารถให้บริการได้ในช่วงคาบเวลาที่ 3 ถึง 10 โดยในคาบที่ 6 จะให้บริการ แปลงอ้อยที่ 2- 15 ตามลำดับ รถตัดอ้อยให้บริการครบ 480 นาที จึงต้องเริ่มให้บริการต่อในคาบเวลาถัดไป ในคาบที่ 7 รถตัดอ้อยคันที่ 3 จะให้บริการ แปลงอ้อยที่ 7- 3 ตามลำดับ รถตัดอ้อยให้บริการครบ 480 นาที ให้บริการต่อในคาบเวลาถัดไป ในคาบที่ 8 รถตัดอ้อยคันที่ 3 จะให้บริการ แปลงอ้อยที่ 9- 1- 8 ตามลำดับ โดยค่าความหวานของอ้อยในแต่ละ คาบเวลาไม่เท่ากันแสดงดังตารางที่ 2 การถอดรหัสเพื่อหาคำคำตอบของสมการวัตถุประสงค์ของ ทั้ง 2 อัลกอริทึม โดยในการทดลองใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 300 รอบ จำนวนอนุภาคที่ใช้ 50 อนุภาค และจำนวนเวกเตอร์ที่ใช้ 50 เวกเตอร์ แสดงดังภาพที่ 1 โดยการกำหนดค่าช่วงเวลาร่วมให้บริการ

ของรถตัด (Ready time of harvesters) และเวลาที่สามารถเริ่มรับบริการของแปลงอ้อย (Start time of sugarcane fields) ในปัญหาขนาดเล็กลูกแสดงดังตารางที่ 4 โดยผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุดหาได้จากสมการที่ (6)

$$\text{ผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด} = \sum_{\text{ตามเวลา } p}^{P_{\max}} \sum_{\text{แปลง } j}^N \text{ปริมาณอ้อย(ตัน)}_j \times \text{ค่าความหวานของอ้อย (\%)}_p \quad (6)$$

## ผลการวิจัย

จากการศึกษาข้างต้นเพื่อทำการทดสอบรูปแบบการปฏิบัติงาน ด้วยวิธี DE และ วิธี PSO ในการแก้ปัญหาการจัดตารางรถตัดอ้อย ซึ่งได้รับการตรวจสอบความถูกต้องเมื่อเทียบกับการปฏิบัติในปัจจุบันของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา โดยผลเฉลยของวิธีการที่นำเสนอได้รับการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างปัญหาการทดสอบที่แตกต่างกันตามที่ระบุในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการสร้างลักษณะปัญหาที่ต่างกันไปทั้งสิ้น จำนวน 21 ปัญหา โดยปัญหาขนาดเล็กลักษณะปัญหาอยู่ในกรอบของเงื่อนไขดังนี้ จำนวนแปลงอ้อยของเกษตรกรอยู่ในช่วง 10-15 ราย จำนวนรถตัดอยู่ในช่วง 5-6 คัน ผลรวมของจำนวนไร่อ้อยของเกษตรกรทุกรายที่พิจารณาอยู่ในช่วง 150-600 ไร่ ปัญหาขนาดกลาง ลักษณะปัญหาอยู่ในกรอบของเงื่อนไขดังนี้ จำนวนแปลงอ้อยของเกษตรกรอยู่ในช่วง 20-40 ราย จำนวนรถตัดอยู่ในช่วง 8-10 คัน ผลรวมของจำนวนไร่อ้อยของเกษตรกรทุกรายที่พิจารณาอยู่ในช่วง 500-1500 ไร่ ในขณะที่ปัญหาขนาดใหญ่ ลักษณะปัญหาอยู่ในกรอบของเงื่อนไขดังนี้ จำนวนแปลงอ้อยของเกษตรกรอยู่ในช่วง 80-200 ราย จำนวนรถตัดอยู่ในช่วง 15-45 คัน ผลรวมของจำนวนไร่อ้อยของเกษตรกรทุกรายที่พิจารณาอยู่ในช่วง 700-2000 ไร่ และปัญหาขนาดเท่ากับกรณีศึกษาจริง ลักษณะปัญหาอยู่ในกรอบของเงื่อนไขดังนี้ จำนวนแปลงอ้อยของเกษตรกร 400 ราย จำนวนรถตัด 50 คัน ผลรวมของจำนวนไร่อ้อยของเกษตรกรทุกรายที่พิจารณาอยู่ในช่วง 150,000 ไร่ จากการพิจารณาผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด (Maximization of Sugarcane Yield) จากสมการที่ (7) สามารถคำนวณ ร้อยละการพัฒนาค่าสัมพัทธ์ (Relative Improvement: RI %) สมการคำนวณร้อยละการพัฒนาค่าสัมพัทธ์แสดงในสมการที่ (7) จากผลการทดลองตารางที่ 3 ค่าร้อยละการพัฒนาค่าสัมพัทธ์ของวิธี DE และ วิธี PSO เมื่อเทียบกับรูปแบบปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษามีค่าเฉลี่ย 11.1 % และ 8.46 % ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ ของวิธี DE และวิธี PSO เทียบกับวิธีการปัจจุบันของโรงงาน ด้วยร้อยละการพัฒนาค่าสัมพัทธ์ พบว่า ที่ความเชื่อมั่น 95% p-value มีค่าเท่ากับ 0.00004 ดังนั้น ร้อยละการพัฒนาค่าสัมพัทธ์ ของทั้ง 2 อัลกอริทึม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และ วิธี DE ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า วิธี PSO แสดงดังภาพที่ 6

$$RI(\%) = \frac{|Sol_{CH} - Sol_{New}|}{Sol_{CH}} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่  $RI(\%)$  แทนค่าร้อยละการพัฒนาค่าสัมพัทธ์

$Sol_{CH}$  แทนคำตอบจากรูปแบบอัลกอริทึมของโรงงานในปัจจุบัน

$Sol_{New}$  แทนคำตอบจากรูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอ (New = DE , PSO)

## อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการจัดตารางรถตัดอ้อยโดยมีข้อจำกัดในการพิจารณาเวลาในการพร้อมให้บริการของรถตัด และเวลาที่สามารถเริ่มดำเนินการได้ของแปลงอ้อยเพื่อให้เกิดผลผลิตน้ำตาลรวมสูงสุด โดยมีการจัดสรรการให้บริการรถตัดอ้อยที่เป็นทรัพยากรส่วนกลางของโรงงานกรณีศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัลกอริทึมที่เป็นรูปแบบปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา และได้พัฒนาอัลกอริทึม 2 อัลกอริทึม คือ วิธี DE และ วิธี PSO เพื่อทำการแก้ปัญหา จำนวน 21 ปัญหา



ประกอบด้วย ขนาดเล็ก (ลำดับที่ 1-4) ขนาดกลาง (ลำดับ 6-12) ขนาดใหญ่ (ลำดับ 13-20) และ โจทย์กรณีศึกษา (ลำดับ 21) ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของวิธีการที่นำเสนอแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอ วิธี DE และ วิธี PSO มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา นอกจากนี้การทดลองเกี่ยวกับการรู้เข้าสู่คำตอบของอัลกอริทึมที่เสนอโดยทำการคำนวณ 300 รอบ จากนั้นรวบรวมคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของแต่ละอัลกอริทึม โดยในลักษณะปัญหาจริงจำนวนแปลงอ้อยของเกษตรกรที่ต้องการรับบริการมีมากถึง 400 ราย และจำนวนรถตัดของโรงงานกรณีศึกษามี 50 คัน แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 5

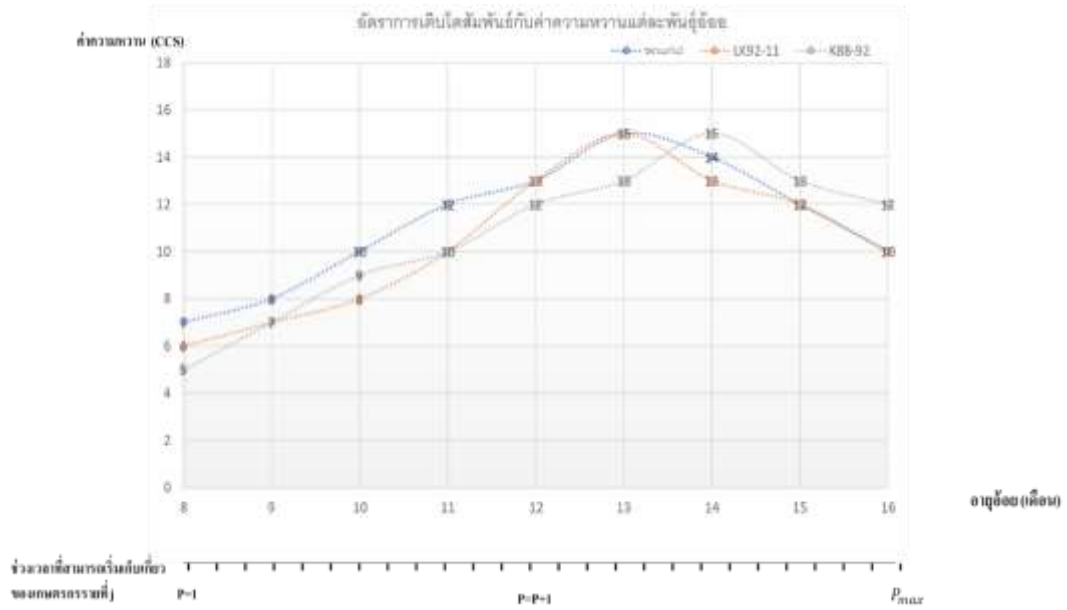
งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น การใช้เครื่องจักรในอุตสาหกรรม การเกษตร และเพื่อกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหาในอนาคตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นควรพัฒนาโดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงวิธีการหรือผสมผสานกับวิธีอื่น เพื่อเปรียบเทียบจุดแข็งของวิธีการต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาในลักษณะเดียวกัน รวมถึงงานวิจัยนี้ยังมีช่องว่างที่สามารถพัฒนาต่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง คือ การพิจารณาตัวแปร/พารามิเตอร์ ที่แตกต่างกันของรถตัดอ้อยแต่ละคัน (Machine restrictions) เช่น ความเร็วของรถตัด ขนาดของรถตัด หรือประสิทธิภาพของคนขับรถตัด เป็นต้น

## กิตติกรรมประกาศ

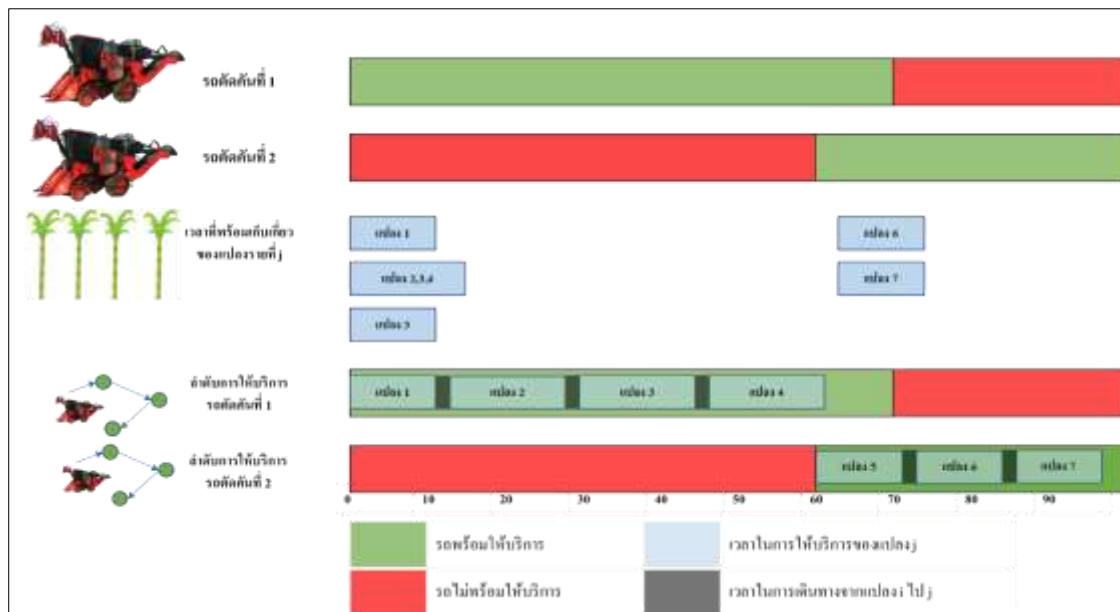
การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มวิจัยการพัฒนาโมเดลเชิงระบบสำหรับอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย [Grant No. SMI601006]

## เอกสารอ้างอิง

1. Office of Cane and Sugar Industry Policy. Report of sugarcane planting area Production year 2018/2019 [Internet]. 2018 [updated 2018 Feb 10; cited 2019 Jan 10]. Available from: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9040.pdf>
2. Bank of Thailand. Step into a new context of the Thai sugarcane and sugar industry. [Internet]. 2018 [updated 2018 May 10; cited 2019 Jan 10]. Available from: [https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doclib\\_Seminar60/41\\_Paper\\_SugarcaneIndust.pdf](https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doclib_Seminar60/41_Paper_SugarcaneIndust.pdf)
3. Higgins ET. Beyond Pleasure and Pain. *American Psychologist*. 1997; 52:1280-1300.
4. Higgins ET. Promotion and Prevention: Regulatory Focus as a Motivational Principle. *Advances in Experimental Social Psychology*. 1998;30:1-46.
5. Jena SD, Poggi M. Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed integer programming. *European Journal of Operational Research*. 2013; 230(2): 374-384.
6. Worasan K, Sethanan K, Moonsri K. Hybrid Differential Evolution and Particle Swarm Optimization Algorithm for the Sugarcane Cultivation Scheduling Problem. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*. 2018;17(3): 241-258.
7. Storn R, Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*. 1997; 11(4): 341-359.
8. Kennedy J, Russell E. Particle Swarm Optimization-Based Feature Selection for Cognitive State Detection. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*. 1995; 6556–6559.



ภาพที่ 1 แสดงอัตราการเติบโตสัมพันธ์กับค่าความหวาน (CCS) ของอ้อยแต่ละพันธุ์



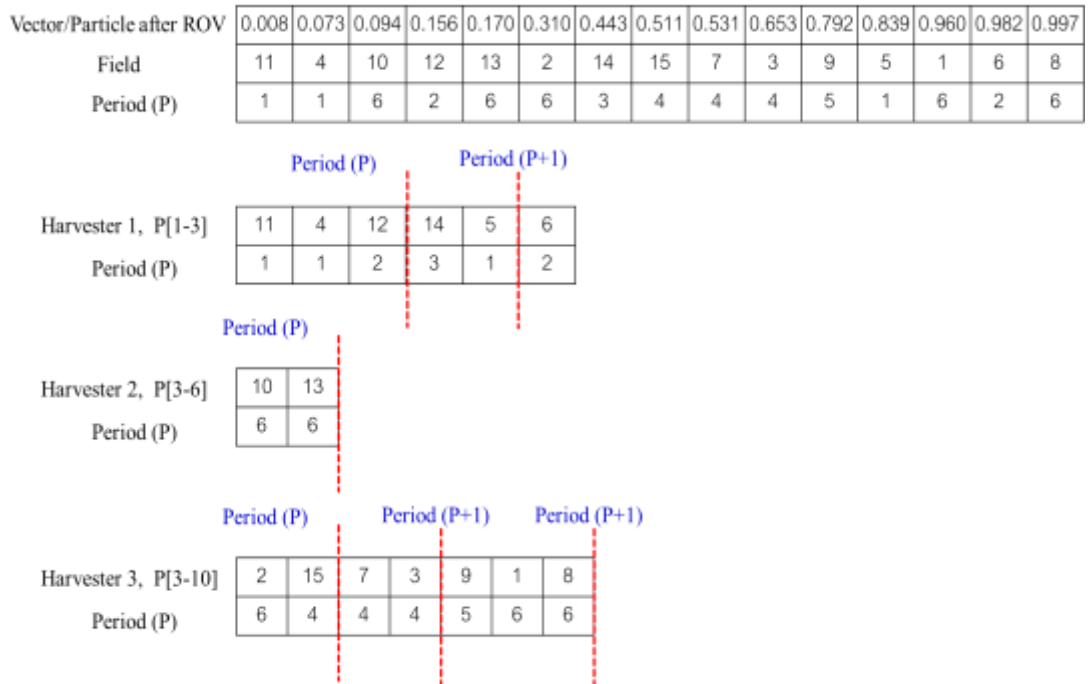
ภาพที่ 2 แสดงลำดับการให้บริการของเครื่องเกี่ยวเกี่ยว

(D1)	(D2)	(D3)	(D4)	(D5)	(D6)	} Number of population (NP)
0.022	0.305	0.519	0.545	0.099	0.113	
⋮						
(D1)	(D2)	(D3)	(D4)	(D5)	(D6)	
0.988	0.020	0.453	0.608	0.792	0.862	

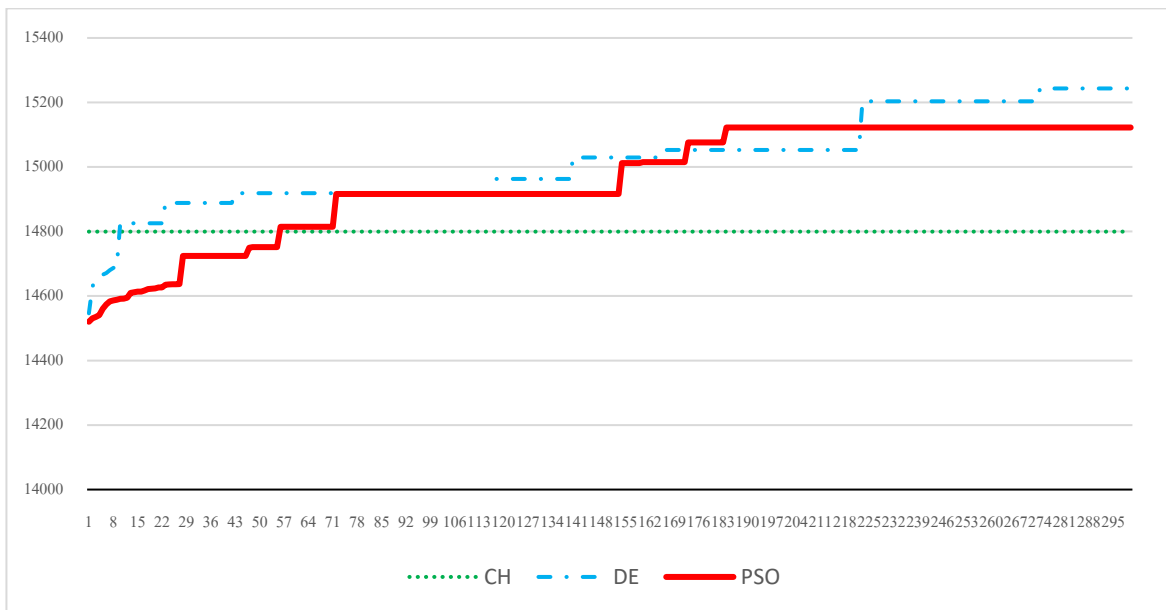
Dimension (D)

ภาพที่ 3 การสร้างประชากรเริ่มต้นของ ทั้ง 2 อัลกอริทึม





ภาพที่ 4 การถอดรหัสเพื่อหาคำตอบของสมการวัตถุประสงค์ของ ทั้ง 2 อัลกอริทึม



ภาพที่ 5 แสดงการลู่เข้าสู่คำตอบของปัญหาขนาดใหญ่

## Paired T-Test and CI: CH vs DE, CH vs PSO

### Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
CH vs DE	21	11.10	7.95	1.74
CH vs PSO	21	8.46	6.72	1.47

### Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
2.643	2.345	0.512	(1.576, 3.711)

$\mu_{\text{difference}}$ : mean of (CH vs DE - CH vs PSO)

### Test

Null hypothesis  $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$

Alternative hypothesis  $H_a: \mu_{\text{difference}} \neq 0$

T-Value	P-Value
5.17	0.000046956730544

ภาพที่ 6 แสดงการทดสอบทางสถิติ Paired T-test

ตารางที่ 1 แสดงสัญลักษณ์และพารามิเตอร์ของ วิธี DE และ วิธี PSO

สัญลักษณ์	ความหมาย
$X_{j,G}$	เวกเตอร์เป้าหมาย (Target vector)
$V_{j,G+1}$	มิวแทนต์เวกเตอร์ (Mutant vector)
$U_{j,G+1}$	ไทรอัลเวกเตอร์ (Trial vector)
$randb(j)$	ค่าเลขเรนดอมในพิทักจ
$CR$	อัตราส่วนการสลับสายพันธุ (Crossover rate: $CR$ ).
$F$	ค่าคงที่การกลายพันธุ (Mutant Constant: $F$ )
$c_p$	ค่าคงที่ความเร่ง (Acceleration Constant) ของ $pbest$
$c_g$	ค่าคงที่ความเร่งของ $gBest$
$u$	ค่าที่ได้จากการกระจายตัวแบบสุ่ม
$pBest_i$	ตำแหน่งที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาค
$gBest$	ตำแหน่งที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดของกลุ่ม
$X_i(t)$	ตำแหน่งของอนุภาค $i$ ในรอบการหาคำตอบที่ $t$
$V_i(t)$	ความเร็วการเคลื่อนที่ของอนุภาค $i$ ในรอบการหาคำตอบที่ $t$

**ตารางที่ 2** รายละเอียดของข้อมูลที่สร้างขึ้นสำหรับตัวอย่างของปัญหาทุกขนาดและผลการทดลองการจัดตารางรถตู้ค้อย

ลำดับ	ขนาดของปัญหา	ตัวอย่าง	จำนวนไร้อ้อย (ราย)	ช่วงของไร้อ้อยที่พิจารณา (ไร่/ราย)	จำนวนรถตัด (คัน)	ผลรวมจำนวนไร้อ้อยที่พิจารณา (ไร่)	ผลเฉลย (ตัน)			เวลาในการคำนวณ (s)	
							CH	DE	PSO	DE	PSO
1		S1	10	5-100	5	150-600	172.8744	174.71	174.71	211.98	316.26
2		S2	10		5		145.9102	147.20	147.20	214.27	247.54
3	เล็ก (S)	S3	13		5		196.8305	210.68	210.36	267.21	325.33
4		S4	13		6		232.0047	241.82	241.82	251.21	276.38
5		S5	15		6		319.1551	333.81	333.20	228.06	242.32
6		M1	20	5-100	8	500-1,500	320.47	379.88	358.14	364.07	425.20
7		M2	20		8		320.47	426.69	418.63	394.26	341.56
8		M3	25		8		536.6491	636.97	617.43	475.68	352.04
9	กลาง (M)	M4	25		9		383.6188	457.52	432.41	458.23	377.75
10		M5	30		10		446.3498	530.7	507.15	481.13	348.86
11		M6	30		10		559.5984	651.66	631.48	547.91	397.11
12		M7	40		10		502.5712	560.03	562	775.91	603.18
13		L1	80	10-100	15		1543.61	1642.48	1598.5	2458.30	2458.30
14		L2	90		15	700-2,000	1855.24	2119	2020	2675.25	2356.78
15		L3	100		15		2052.58	2273.47	2183	2778.23	2541.54
16	ใหญ่ (L)	L4	110		20		2129.94	2345	2256	2874.98	2712.34
17		L5	120		20		2092.59	2423	2317.54	3012.44	2789.47
18		L6	140		30		2592.87	2811.2	2789.45	2978.55	2675.57
19		L7	150		40		2802.91	2946	2893	3125.45	2874.35
20		L8	200		45		3706.17	3897.75	3831.49	3274.23	2954.39
21	กรณีศึกษา	C1	400	10-200	50	150,000	14799.63	15243.46	15122.37	3542.05	3345.78

**ตารางที่ 3** ร้อยละความแตกต่างระหว่างผลเฉลยที่ได้จากแนวทางการดำเนินงานเดิมของโรงงานกรณีศึกษา และวิธี DE, วิธี PSO

ลำดับ	ขนาดของปัญหา	ตัวอย่าง	จำนวนไร้อ้อย (ราย)	ช่วงของไร้อ้อยที่พิจารณา (ไร่/ราย)	จำนวนรถตัด (คัน)	ผลรวมจำนวนไร้อ้อยที่พิจารณา (ไร่)	% ผลต่างของผลเฉลย	
							CH vs DE	CH vs PSO
1	เล็ก (S)	S1	10	5-100	5	150-600	1.06	1.06
2		S2	10		5		0.88	0.88
3		S3	13		5		7.04	6.87
4		S4	13		6		4.23	4.23
5		S5	15		6		4.59	4.40
6	กลาง (M)	M1	20	5-100	8	500-1,500	18.54	11.75
7		M2	20		8		33.15	30.63
8		M3	25		8		18.69	15.05
9		M4	25		9		19.26	12.72
10		M5	30		10		18.90	13.62
11		M6	30		10		16.45	12.85
12		M7	40		10		11.43	11.82
13	ใหญ่ (L)	L1	80	10-100	15	700-2,000	6.41	3.56
14		L2	90		15		14.22	8.88
15		L3	100		15		10.76	6.35
16		L4	110		20		10.10	5.92
17		L5	120		20		15.79	10.75
18		L6	140		30		8.42	7.58
19		L7	150		40		5.11	3.21
20		L8	200		45		5.17	3.38
21	กรณีศึกษา (C)	C1	400	10-200	50	150,000	3.00	2.18
<b>ค่าเฉลี่ย RI (%)</b>							11.10	8.46

**ตารางที่ 4** แสดงตัวอย่างช่วงเวลาการพร้อมให้บริการของรถตัด (Ready time of harvesters) และเวลาที่สามารรถเริ่มรับบริการของแปลงอ้อย (Start time of sugarcane fields) ในปัญหาขนาดเล็ก S1-S5

<b>รถตัดคันที่</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>										
<b>S1</b> เวลาเริ่มให้บริการ	1	1	10	20	19										
เวลาแล้วเสร็จการบริการ	15	15	21	22	19										
แปลงอ้อยที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
เวลาที่แปลงเริ่มรับบริการ	1	1	1	6	10	6	6	13	7	6					
<b>รถตัดคันที่</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>										
<b>S2</b> เวลาเริ่มให้บริการ	1	1	23	18	9										
เวลาแล้วเสร็จการบริการ	15	12	25	30	18										
แปลงอ้อยที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
เวลาที่แปลงเริ่มรับบริการ	1	1	1	5	9	8	2	7	14	14					
<b>รถตัดคันที่</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>										
<b>S3</b> เวลาเริ่มให้บริการ	1	1	2	10	21										
เวลาแล้วเสร็จการบริการ	14	18	12	14	26										
แปลงอ้อยที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
เวลาที่แปลงเริ่มรับบริการ	1	1	1	1	5	2	11	10	2	14	15	4	10		
<b>รถตัดคันที่</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>									
<b>S4</b> เวลาเริ่มให้บริการ	1	1	16	18	17	19									
เวลาแล้วเสร็จการบริการ	16	17	25	30	21	30									
แปลงอ้อยที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
เวลาที่แปลงเริ่มรับบริการ	1	1	1	1	14	10	6	10	2	2	7	5	9		
<b>รถตัดคันที่</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>									
<b>S5</b> เวลาเริ่มให้บริการ	1	1	19	1	15	20									
เวลาแล้วเสร็จการบริการ	15	15	23	16	16	25									
แปลงอ้อยที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
เวลาที่แปลงเริ่มรับบริการ	1	1	1	1	1	9	6	3	8	3	6	5	15	8	6