



การจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยให้สอดคล้องกับตารางการเก็บเกี่ยว อ้อยเพื่อให้ได้ค่าความหวานมากที่สุด

A cane cutter allocation correspond planned sugar cane harvest scheduling to maximize total sugar yield

กาญจนา เศรษฐนันท์^{1*} และ วรญา เนื่องมัจฉา²

Kanchana Sethanan^{1*} and Woraya Neungmacha²

^{1,2} หน่วยวิจัยการปรับปรุงผลิตภาพขั้นสูงและการจัดการโลจิสติกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Correspondent author: skanch@kku.ac.th

Received March 24,2011

Accepted January 26,2012

บทคัดย่อ

โลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายจะเน้นการจัดส่งอ้อยให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน และเป็นอ้อยที่มีคุณภาพให้ค่าผลผลิตน้ำตาลรวมมีค่าสูงสุด ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาระบบการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยให้สอดคล้องกับตารางลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยที่กำหนดไว้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนในการบริหารจัดการแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยที่ต่ำที่สุด รวมทั้งคงไว้ซึ่งค่าผลผลิตน้ำตาลรวมให้ได้มากที่สุด โดยลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษามี 3 รูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อย ดังนี้ รูปแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาให้แรงงานไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้ รูปแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาให้แรงงานสามารถแยกกลุ่มกันได้ และรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณารูปแบบที่ 1 และ 2 ร่วมกัน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับเขตพื้นที่การเพาะปลูกอ้อยที่แตกต่างกันไป ในการศึกษาได้พัฒนาฮิวริสติกส์อัลกอริทึมการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยให้กับทั้ง 3 รูปแบบและประยุกต์ใช้เทคนิคทางเมตะฮิวริสติกส์เพื่อการค้นหาคำตอบด้วยวิธีซิมูเลเตด แอลเนลลิง

Abstract

A sugar industry's inbound logistics is continuously processing from planning sugar cane cultivation, harvesting, and transportation to the mill and to management of mill front yard. The sugar cane which transported to the mill must be continuously supplied to sugar production process at its fullest capacity and obtain high qualities that have the maximum value of total sugar yield. Therefore, this research was conducted to allocate the sugar cane cutter according to planned harvest scheduling in which the objective was to minimize sugar cane cutter cost and while preserving the maximum value of total sugar yield in the initial harvested scheduling. There were 3 models

of the harvesting; the 1st harvest cutting model: labor could not split from their group, the 2nd harvest cutting model: labor could split from their group and the 3rd model considering the 1st model and the 2nd model together. The heuristic algorithms in 3 models and searching method by a meta-heuristic called Simulated Annealing (SA) were developed for solving problems.

คำสำคัญ: อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, การจัดสรรแรงงาน, ซิมูเลเตด แอลเนลลิ่ง

Keywords: Sugar cane industry, Labor allocation, Simulated annealing

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย เป็นอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้เข้าประเทศและทำให้เกิดการจ้างงานให้แก่ประชาชนในพื้นที่จำนวนมาก ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายเริ่มตั้งแต่การเพาะปลูกอ้อย การเก็บเกี่ยวอ้อย การขนส่งอ้อย และการบริหารจัดการหน้าลานของโรงงานที่เชื่อมโยงกันและมีผลต่อต้นทุนการผลิตโดยตรง (1) จากปัญหาการขาดแคลนแรงงานตัดอ้อยเนื่องจากแรงงานเกษตรนิยมอพยพเข้ามาทำงานในเขตเมืองหลวงมากขึ้นทุกปี รวมทั้งค่าแรงงานตัดอ้อยที่สูงขึ้น ทำให้ต้นทุนของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลสูงขึ้น ส่งผลผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจการส่งออกโดยรวมของประเทศตามมาโดยทั่วไปในระบบการเก็บเกี่ยวอ้อยหัวหน้าโควจะทำหน้าที่ทำแรงงานและทำการจัดสรรแรงงานเพื่อที่ทำการเก็บเกี่ยวอ้อยของลูกไร่แต่ละคนให้ได้ปริมาณอ้อยที่จะส่งตามสัญญาต้นที่ได้ทำไว้กับโรงงาน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าหากทำการเก็บเกี่ยวอ้อยในปริมาณที่มากเกินไปจะเกิดอ้อยที่เหลือค้างไว้ ซึ่งเมื่อระยะเวลารอคอยนาน จะทำให้ค่าความหวานของอ้อยมีค่าลดลง (2) แต่หากมีการเก็บเกี่ยวอ้อยได้ในปริมาณที่น้อยเกินไปเนื่องมาจากแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยที่มีจำนวนไม่เพียงพอ จะส่งผลให้ปริมาณอ้อยที่จะเข้าหีบน้อยกว่ากำลังหีบต่อวันของโรงงาน ดังนั้นจึงมีการศึกษาการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยให้มีความเหมาะสมทั้งในด้านปริมาณและให้ได้อ้อยที่มีคุณภาพมากที่สุด (3) แต่ในการศึกษาไม่ได้พิจารณาแรงงานที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงส่งผลให้เกิดความต่อเนื่องของระบบ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยและพืชชนิดอื่นยังไม่มีการวิจัยใดพิจารณาในส่วนของการวางแผน

ร่วมด้วยมา เช่นที่มวิจัยในชิลี (4) ได้ทำการพัฒนาการจัดตารางเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในไร่อ้อยโดยพิจารณาทั้งเรื่องของค่าใช้จ่ายและคุณภาพของอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ด้วยวิธีกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบผสม (Mixed-Integer Programming) เพื่อทำการจัดสรรแรงงานและการจัดเส้นทางการเก็บเกี่ยว แต่ปัจจัยด้านแรงงานได้ถูกพิจารณาเป็นค่าพารามิเตอร์หนึ่งเท่านั้น สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรแรงงานเชิงกลยุทธ์ (5) ได้มีการประยุกต์หลักการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (A Decision support system: DSSs) มาใช้ในการวางแผนภายในฟาร์ม โดยพิจารณาในด้านการเก็บเกี่ยว จำนวนและการเลือกใช้เครื่องจักร วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ และการจัดสรรแรงงาน รวมทั้งการ จัดทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้งานจริง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำหลักการของการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการมาศึกษาถึงความเหมาะสมในการจัดตั้งศูนย์แรงงานเก็บเกี่ยว (6) และการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้สูงที่สมควรจะจัดตั้งเนื่องจากจะทำให้สามารถจัดสรรแรงงานได้สะดวกขึ้นและกระจายรายได้ได้อย่างทั่วถึง ซึ่งปัญหาการจัดสรรแรงงานถือเป็นปัญหาหนึ่งที่มีข้อจำกัดจำนวนมาก ทั้งความพึงพอใจของแรงงาน ค่าแรงงานขั้นต่ำ ทักษะความชำนาญในการทำงานของแรงงานที่ต่างกัน หรือเรื่องของกะเวลาในการทำงาน โดยทั่วไปปัญหาการจัดสรรแรงงานจะใช้แรงงานที่มีลักษณะและความสามารถแบบเดียวกัน และในแต่ละช่วงเวลางานให้ค่าจ้างที่เท่ากัน (7) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการใช้แรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีการหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับและสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ก็คือ วิธีการทางสามัญสำนึก หรือที่เรียกว่าการพัฒนาฮิวริสติกส์อัลกอริทึมที่เป็นกระบวนการ

การในการแก้ปัญหา (8) แต่ค่าคำตอบที่ได้ก็ยังไม่ได้ใกล้เคียงค่าคำตอบที่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงค่าคำตอบที่ได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ วิธีเมตะฮิวริสติกส์ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับค่าคำตอบ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ซิมูเลเตด แอลเนลลิ่ง (Simulated Annealing: SA) และวิธิตาบู (Tabu Search) ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ซิมูเลเตด แอลเนลลิ่ง (Simulated Annealing: SA) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการนำมาปรับปรุงค่าคำตอบที่มีความซับซ้อน และมีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในปัญหาการจัดสรรแรงงาน เนื่องจากมีระยะเวลาในการประมวลผลที่เร็วกว่าวิธีการอื่น และมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกัน ดังเช่นผลการศึกษาของ Brusco และ Jacobs (9) ได้ทำการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ระยะ ร่วมกับวิธีซิมูเลเตด แอลเนลลิ่ง โดยระยะแรกเป็นกระบวนการสร้างคำตอบตั้งต้น โดยคำนวณซ้ำ ๆ ด้วยวิธีแบบตะกตะ (Greedy Algorithm) เพื่อหาตารางตั้งต้นที่เป็นไปได้ ต่อมาเป็นกระบวนการค้นหาคำตอบโดยใช้ซิมูเลเตด แอลเนลลิ่งเพื่อปรับปรุงค่าคำตอบตั้งต้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีกำหนดการทางคณิตศาสตร์พบว่าให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 รวมทั้งมีเวลาในการประมวลผลที่เร็วกว่า นอกจากนี้วิธีซิมูเลเตด แอลเนลลิ่งยังถูกนำมาใช้ในปัญหาการจัดตารางการทำงานแบบทัวร์ (10) ซึ่งเป็นตารางการทำงานในรายสัปดาห์ มีเป้าหมายเพื่อจัดสรรจำนวนแรงงานที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาเพื่อให้บริการลูกค้าได้มากที่สุด ซึ่งวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาคือการพัฒนาฮิวริสติกส์ร่วมกับวิธีซิมูเลเตด แอลเนลลิ่ง (CI-SA Heuristics) ผลลัพธ์ที่ได้คือ ทำให้ได้ผลกำไรสิทธิรวมเพิ่มจากการจัดการด้วยรูปแบบเดิมถึง 15%

ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนา ระบบการบริหารจัดการแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์ให้เกิดต้นทุนด้านการบริหารจัดการแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยที่ต่ำที่สุดและสามารถจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยให้เพียงพอต่อปริมาณอ้อยที่จะต้องทำการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้อ้อยจากการเก็บเกี่ยวที่มี

ความเหมาะสมทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพอ้อยให้ได้ค่าความหวานตามตารางตั้งต้นไว้ให้ได้มากที่สุด โดยทำการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อเป็นค่าคำตอบตั้งต้น และปรับปรุงค่าคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทางเมตะฮิวริสติกส์ ที่เรียกว่าวิธีซิมูเลเตดแอลเนลลิ่ง โดยรูปแบบของปัญหาที่พัฒนาจะพิจารณาแบ่งออกเป็น รูปแบบที่ 1 เมื่อจัดสรรให้แรงงานไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้ต้องมีการเคลื่อนย้ายกันไปทั้งกลุ่ม รูปแบบที่ 2 เมื่อจัดสรรให้แรงงานสามารถแยกกลุ่มกันเพื่อไปเก็บเกี่ยวอ้อยให้โควตาอื่นได้ และรูปแบบที่ 3 แบบผสม

2. วิธีวิจัย

2.1 แนวคิดในการพัฒนาฮิวริสติกส์อัลกอริทึมที่จะนำเสนอ

เนื่องจากในสภาพความเป็นจริงปัญหาการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยถือเป็นปัญหาแบบปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-Hard) ซึ่งมีขนาดตัวแปรและพารามิเตอร์ในการประมวลผลที่มีขนาดใหญ่ เช่น ขนาดโควตาที่นำมาจัดสรรมีจำนวนมาก ขนาดแรงงานในแต่ละโควตาที่แตกต่างกันไป เป็นต้น ดังนั้นในการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) จำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลเป็นเวลานานและต้องมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงรองรับเพื่อตอบสนองต่อการใช้งานได้ทันเวลา ดังนั้นจึงนำมาสู่การพัฒนาฮิวริสติกส์ หรือวิทยาการศึกษานักซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบที่ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว ซึ่งค่าคำตอบที่ได้จะใกล้เคียงค่าคำตอบเหมาะสมที่สุด (Near-optimal solution) การพัฒนาฮิวริสติกส์อัลกอริทึมเพื่อช่วยสนับสนุนในการตัดสินใจว่า ณ วันเก็บเกี่ยวใด ๆ ต้องมีการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยเช่นใด ซึ่งวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนด้านการจัดสรรแรงงานที่ต่ำที่สุด และให้ระบบการจัดสรรมีความสอดคล้องกับการจัดลำดับเก็บเกี่ยวมากที่สุดคือ คงไว้ซึ่งค่าความหวานของอ้อยในแต่ละวันมากที่สุด

แนวความคิดการแก้ปัญหาจะทำการจัดสรรแรงงานทีละคาบเวลา และพิจารณาลำดับการจัดสรรโดยให้ ณ โควตาที่มีค่าความหวานเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุดได้รับการจัดสรรแรงงานให้ก่อน ซึ่งในการเลือกจัดสรรจะพิจารณาจากกลุ่มโควตาที่จะถูกดึงมาช่วยงานจากกลุ่มโควตา

ที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนดไว้ จากนั้นก็จะทำการพิจารณาเลือกกลุ่มโหนดที่ให้ก่อให้เกิดต้นทุนในการบริหารจัดการที่ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามการ จัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวจะแตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบ ทั้งนี้เพื่อความสอดคล้องในการเรียกไปใช้งานให้แต่ละพื้นที่หรือเขตต่าง ๆ สำหรับฮิวริสติกส์ที่ได้พัฒนาขึ้นในแต่ละระยะจะประกอบด้วย 3 รูปแบบคือรูปแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาให้แรงงานที่นำมาจัดสรรไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้ รูปแบบที่ 2 เมื่อแรงงานที่นำมาจัดสรรสามารถแยกกลุ่มกันได้ และรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณารูปแบบที่ 1 และ 2 ร่วมกัน รูปแบบที่ 1 ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมเพื่อการจัดสรรกลุ่มแรงงานเก็บเกี่ยวที่ยังไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้ ซึ่งรูปแบบนี้ได้ถูกกำหนดไว้ว่ากลุ่มแรงงานในโหนดใดๆ มีลักษณะอยู่กันเป็นกลุ่มครอบครัว หากกลุ่มแรงงานนั้นได้รับเลือกให้ไปช่วยเก็บเกี่ยวให้แกโหนดอื่น ๆ กลุ่มแรงงานของโหนดนั้นจะต้องมีการเคลื่อนย้ายไปกันเป็นกลุ่ม และแรงงานทั้งหมดต้องได้รับค่าแรงงานขึ้นตามที่ถูกกฎหมายแรงงานกำหนด ซึ่งฮิวริสติกส์ที่พัฒนาในส่วนนี้จะทำการจัดสรรแรงงานให้แกโหนดที่มีแรงงานไม่เพียงพอที่โหนดใด โดยให้ลำดับความสำคัญแกโหนดที่มีค่าความหวานเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุดมาทำการจัดสรรแรงงานที่ขาดก่อน รูปแบบที่ 2 ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมเพื่อการจัดสรรกลุ่มแรงงานเก็บเกี่ยวที่สามารถแยกกลุ่มกันได้ ซึ่งรูปแบบนี้ได้ถูกกำหนดไว้ว่ากลุ่มแรงงานในโหนดใดๆ ไม่ได้ทำสัญญาผูกมัดไว้กับกลุ่มโหนดของตน เพียงแต่เมื่อถึงคาบเวลาการเก็บเกี่ยวต้องทำการเก็บเกี่ยวในโหนดของตนให้เสร็จก่อน หลังจากนั้นหากอยู่ในช่วงที่ว่างจากการทำงานก็สามารถแยกกลุ่มเพื่อไปช่วยโหนดอื่นเก็บเกี่ยวได้ โดยในรูปแบบที่ 2 นี้จำนวนแรงงานที่ถูกจัดสรรให้มาช่วยเก็บเกี่ยวจากโหนดอื่นจะต้องมีความพอดีกับปริมาณอ้อยที่เหลือเก็บเกี่ยวจากแรงงานในโหนดนั้นๆ ดังนั้นเงื่อนไขด้านกฎหมายแรงงานจึงไม่ถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากแรงงานแต่ละคนจะต้องทำการเก็บเกี่ยวเต็มกำลังการเก็บเกี่ยวของตนอยู่แล้ว รูปแบบที่ 3 ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมเพื่อการจัดสรรกลุ่มแรงงานเก็บเกี่ยวรูปแบบที่ 3 มีลักษณะของกลุ่ม

แรงงานร่วมกันทั้งรูปแบบที่ 1 คือแรงงานไม่สามารถแยกกลุ่มกัน และรูปแบบที่ 2 คือแรงงานสามารถแยกกลุ่มกันผสมกันอยู่ทำให้เกิดเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในหลายแนวทางคือทั้งแบบพิจารณาให้เลือกแบบไม่สามารถแยกกลุ่มได้หรือสามารถแยกกลุ่มกันได้ทั้งหมดหรือเลือกแบบผสมกันทั้งสองรูปแบบ ทั้งนี้พิจารณาการตัดสินใจได้พิจารณาเลือกทางเลือกที่ให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสรรแรงงานที่ต่ำที่สุดมาทำการจัดสรรแรงงานให้เกิดความพอเพียง

โดยฮิวริสติกส์อัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้นได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ทำการพัฒนาฮิวริสติกส์อัลกอริทึมเพื่อเป็นค่าคำตอบตั้งต้น (Initial solution algorithm) ส่วนระยะที่ 2 เป็นการปรับปรุงค่าคำตอบตั้งต้นด้วยวิธีการทางเมตาดาฮิวริสติกส์ที่เรียกว่าวิชีมมูลเดอลเนลลิ่ง ดังรูปที่ 1

2.2 ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมที่ทำการพัฒนา

พารามิเตอร์ที่ใช้ในฮิวริสติกส์อัลกอริทึม (Parameters)

L	=	จำนวนโหนดทั้งหมด
p	=	แปลงเพาะปลูกอ้อยที่ $1,2,...,p$
q	=	โหนดที่ทำการเก็บเกี่ยว $q' \{1,2,...,L\}$
q'	=	โหนดที่ว่างจากการเก็บเกี่ยว $q \in \{1,2,...,L\}$
t	=	วันเก็บเกี่ยวที่ $1,2,...,T$
i	=	ทางเลือกในการตัดสินใจที่ $1,2,3,$
Q_{pqt}	=	ปริมาณอ้อยที่ต้องเก็บเกี่ยวของแปลงเพาะปลูก p โหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t
CCS	=	ค่าความหวานอ้อยแปลงเพาะปลูก p โหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t
n_{qt}	=	จำนวนแรงงานของโหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ i
$ManCap$	=	ความสามารถในการเก็บเกี่ยวได้จำนวนต้นต่อคนต่อวัน
TQ	=	ปริมาณอ้อยรวมทั้งหมดที่ต้องเก็บเกี่ยวของโหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t
CCS_{qt}	=	ค่าความหวานอ้อยเฉลี่ยต่อต้นของโหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t
เซต I	=	เซตของโหนดที่ต้องได้รับการจัดสรรแรงงาน ณ วัน เก็บเกี่ยวใดๆ โดยที่ $I=\{q \in L Q>0\}$

เซต J = เซตของโหนดที่ว่างต่อการเก็บเกี่ยว ณ วันเก็บเกี่ยวใดๆ โดยที่ $J = \{q' \in L \mid Q_{q't} = 0\}$

nr_{qt} = จำนวนแรงงานที่ต้องการเพิ่มของโหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t

QR_{qt} = ปริมาณอ้อยเหลือจากการเก็บเกี่ยวเนื่องจากแรงงานไม่เพียงพอโหนด q วันที่ t

$C_{q'}$ = ค่าจ้างตัดของแรงงานในโหนด q'

b = ค่าแรงขั้นต่ำที่ระบุไว้ตามกฎหมายแรงงาน

$Cd_{qq'}$ = ค่าใช้จ่ายในการขนส่งแรงงานจากโหนด q' มาโหนด q

$U_{qq't}$ = ดัชนีค่าใช้จ่ายจัดสรรแรงงานจากโหนด q' มาโหนด q วันที่ t ในรูปแบบที่ 1

$V_{q't}$ = ดัชนีจำนวนการเก็บเกี่ยวขึ้นต่อกันต่อการให้สอดคล้องกับกฎหมายแรงงานของการจัดสรรแรงงานโหนด q' มาช่วยทำการเก็บเกี่ยวในวันที่ t ในรูปแบบที่ 1

$W_{qq'i}$ = ดัชนีค่าใช้จ่ายจัดสรรแรงงานจากโหนด q' มาโหนด q วันที่ t ในรูปแบบที่ 2

ne_{qt} = จำนวนแรงงานที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวโหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t ของรูปแบบที่ 2

nu_{qt} = จำนวนแรงงานของโหนด q ในวันเก็บเกี่ยวที่ t ที่เหลือจากการจัดสรรในรอบการจัดสรรก่อนหน้าของรูปแบบแรงงานรูปแบบที่ 2

nru_{qt} = จำนวนแรงงานที่ยังไม่เพียงพอของโหนด q วันที่ t จากรอบการจัดสรรก่อนหน้าอัปเดตค่าไว้เพื่อทำการจัดสรรให้เพิ่มของรูปแบบที่ 2

M = ตัวเลขจำนวนมากค่าหนึ่ง เช่น $M=1,000,000$

a = ค่าใช้จ่ายในการจัดหาแรงงานเฉลี่ยต่อครั้ง

e = ค่าใช้จ่ายด้านสวัสดิการแรงงานเฉลี่ยต่อคน

Z_i = ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานจากทางเลือกการตัดสินใจที่ i ในการจัดสรรแรงงานในแต่ละรอบ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$Z^*_{qq't}$ = ค่าใช้จ่ายการจัดสรรแรงงานจากโหนด q' มาช่วยเหลือโหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t

$nn_{qq't}$ = จำนวนแรงงานจากโหนด q' มาช่วยเหลือโหนด q วันเก็บเกี่ยวที่ t โดยที่ $nn_{qq't} = n_{q't}$ เมื่อ q' คือโหนดว่างที่ถูกเลือกมาช่วยเก็บเกี่ยวอ้อยในรอบการคำนวณที่พิจารณา

2.2.1 รูปแบบที่ 1: อีวิริสติกส์อัลกอริทึมเพื่อการจัดสรรกลุ่มแรงงานที่ไม่สามารถแยกกลุ่มได้

ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลป้อนเข้า (Inputs) $Q_{pqt'}$

$CCS_{pqt'}$ และ $ManCap$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่า $TQ_{qt} = \sum_p Q_{pqt}$

$$\text{และ } \overline{CCS}_{qt} = \frac{\sum_p (CCS_{pqt} \times Q_{pqt})}{\sum_p Q_{pqt}}$$

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาว่าโหนดใดต้องมีการเก็บเกี่ยวและโหนดใดว่างเพื่อสร้างเป็นเซต โดย

เซต J คือโหนดที่ว่างจากการเก็บเกี่ยวในวันนั้น ๆ $Q_{pq} = 0$

เซต I คือโหนดที่ถูกกำหนดให้มีการเก็บเกี่ยวในวันนั้น ๆ $Q_{pq} > 0$ แต่มีจำนวนแรงงานไม่เพียงพอซึ่งตรวจสอบได้จาก $n_{qt} < \frac{Q_{qt}}{ManCap}$ (กำหนดให้ $ManCap = 2$ (เช่นกำหนดให้ แสดงว่ากำลังการเก็บเกี่ยวอ้อยของแรงงานเฉลี่ยอยู่ที่ 2 ตันต่อคนต่อวัน ดังนั้นหากต้องการเก็บเกี่ยวอ้อยปริมาณ Q ตันให้แล้วเสร็จภายในหนึ่งวันต้องใช้แรงงานทั้งหมด $Q/2$ คน เป็นต้น)

โดย เซต $J \cap$ เซต $I = \emptyset$

ขั้นตอนที่ 4 ในเซต I หาว่า $nr_{qt} = \frac{TQ_{qt}}{ManCap} - n_{qt}$

และ $QR_{qt} = TQ_{qt} - ManCap \times n_{qt}$

ขั้นตอนที่ 5 ในเซต I เรียงลำดับโหนดที่มี $\overline{CCS}_{qt}$ จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 6 เลือกจัดสรรแรงงานให้กับโหนดในเซต I ที่มีค่า $\overline{CCS}_{qt}$ มากที่สุดก่อน

ขั้นตอนที่ 7 ในเซต J จากแรงงานในโหนด q' ที่ว่างที่จะนำมาจัดสรรให้แยกพิจารณา 2 กรณี $n_{q't} \geq nr_{qt}$

7.1 กรณีที่ 1 เมื่อ $n_{q't} \geq nr_{qt}$

7.1.1 พิจารณาโหนด q' ที่ว่าง ในเซต J ที่มี $n_{q't} \leq \frac{C_{q'} \times QR_{qt}}{b}$ ถือเป็นโหนดที่ผ่านเงื่อนไข

7.1.2 คำนวณ $Z_{qq't} = a + n_{q't}(C_{q'} + Cd_{qq'} + e)$ ในทุกโวลตา q' ที่ผ่านเงื่อนไข

7.1.3 หากค่า $Z_1 = \min\{Z_{qq't}\}$ บันทึกค่าเพื่อประมวลผลในขั้นตอนที่ 8

7.2 กรณีที่ 2 เมื่อ $n_{q't} < nr_{qt}$

7.2.1 ในเซต J หากค่า $U_{qq't} = n_{q't}(Cd_{qq'} + C_{q'})$ แล้วเรียงจากน้อยไปมาก

7.2.2 นำโวลตาที่ว่าง q' ที่มีค่า $U_{qq't}$ ต่ำที่สุดมาจัดสรรเพื่อช่วยเก็บเกี่ยวก่อนและพิจารณาโวลตาที่ว่าง q' ที่มีค่า $U_{qq't}$ ต่ำรองลงมาจนกระทั่งโวลตาที่ต้องได้รับการจัดสรรแรงงานให้เพียงพอ โดย

- ถ้า $\sum_{q'} n_{q't} = nr_{qt}$ คำนวณค่า

$$Z_2 = a + \sum_{q'} n_{q't}(C_{q'} + Cd_{qq'} + e)$$

- ถ้า $\sum_{q'} n_{q't} > nr_{qt}$ คำนวณค่า $V_{q't} = \frac{b}{C_{q'}}$

ตรวจสอบว่า $\sum_{q'} n_{q't} \times V_{q't} \leq QR_{qt}$ หรือไม่

ถ้าเป็นไปได้ Z_2 ให้คำนวณค่าแต่ถ้าเป็นไปได้ให้กำหนดค่า $Z_2 M$

ขั้นตอนที่ 8 เลือกทางเลือกในการจัดสรรที่ $Z_{qq't}^* = \min\{Z_1, Z_2\}$ โดยที่ คือโวลตาว่างที่ถูกเลือกมาช่วยเก็บเกี่ยวอ้อย

ขั้นตอนที่ 9 บันทึกค่า $Z_{qq't}^*$ และ $nn_{qq't}$

ขั้นตอนที่ 10 อัปเดตโวลตา q และ q' ที่ทำการจัดสรรแล้วออกจากเซต I และ J

ขั้นตอนที่ 11 เซต I หรือเซต J = ϕ หรือยัง ถ้ายังให้กลับไปขั้นตอนที่ 5 ถ้าเซตใดเซตหนึ่งเท่ากับเซตว่างให้กลับไปขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 12 ทำการตรวจสอบว่าทำการจัดสรรแรงงานทุกคาบเวลาหรือยัง ถ้ายังให้กลับไปขั้นตอนที่ 1 แต่ถ้าจัดสรรครบทุกคาบเวลาจบการทำงาน

2.2.2 รูปแบบที่ 2: อีวิริสติกส์อัลกอริทึมการจัดสรรกลุ่มแรงงานที่แยกกลุ่มกันได้

ขั้นตอนที่ 1-2 เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเซต โดย เซต J คือโวลตาที่ว่างจากการเก็บเกี่ยว

เซต I คือโวลตาที่ถูกกำหนดให้มีการเก็บเกี่ยวในวันนั้น ๆ $Q_{qt} > 0$ แต่มีจำนวนแรงงานไม่เพียงพอซึ่งตรวจสอบได้จาก $n_{qt} < \frac{Q_{qt}}{ManCap}$ ส่วนโวลตาอื่นที่มีถูกกำหนดให้มีการเก็บเกี่ยวในคาบเวลาเดียวกันแต่มีกำลังการเก็บเกี่ยวของแรงงานเหลืออยู่ $n_{qt} > \frac{Q_{qt}}{ManCap}$ ให้ทำการอัปเดตไปเก็บค่าไว้ในเซต J คือ $n_{q't} = n_{qt} - \frac{Q_{qt}}{ManCap}$ ซึ่งให้เทียบเหมือนแรงงานที่ว่างจากการเก็บเกี่ยว

โดย เซต J \setminus เซต I = ϕ

ขั้นตอนที่ 4 ในเซต I หากค่า $nr_{qt} = \frac{TQ_{qt}}{ManCap} - n_{qt}$

และ $QR_{qt} = TQ_{qt} - ManCap \times n_{qt}$

ขั้นตอนที่ 5 ในเซต I เรียงลำดับโวลตาที่มี $\overline{CCS}_{qt}$ จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 6 เลือกจัดสรรแรงงานให้กับโวลตา

ในเซต I ที่มีค่า $\overline{CCS}_{qt}$ มากที่สุดก่อน

ขั้นตอนที่ 7 ในเซต J คำนวณค่า $W_{qq't} = Cd_{qq'} + C_{q'}$ แล้วเรียงลำดับจากน้อยไปมาก และเลือกโวลตา q' ที่มี $W_{qq't}$ มากที่สุดมาทำการจัดสรรให้ก่อน

7.1 กรณีที่ 1 เมื่อ $n_{q't} = nr_{qt}$

อัปเดตค่าโวลตา q' ที่ถูกจัดสรรแล้วออกจากเซต I และ J และไปยังขั้นตอนที่ 8

7.2 กรณีที่ 2 เมื่อ $n_{q't} > nr_{qt}$ อัปเดตค่า $W_{qq't}$ $n_{q't}$ ในเซต J โดยจำนวนแรงงานที่เหลือจากจัดสรรให้อัปเดตค่าเป็น $nn_{q't} = n_{q't} - nr_{qt}$ อัปเดตโวลตา q ที่จัดสรรแล้วออกจากเซต I และไปยังขั้นตอนที่ 8

7.3 กรณีที่ 3 เมื่อ $n_{q't} < nr_{qt}$ อัปเดตค่า nr_{qt} ในเซต I เป็น $nn_{qt} = nr_{qt} - n_{q't}$ อัปเดตค่าโวลตา q' ที่ถูกจัดสรรแล้วออกจากเซต J

แต่เนื่องจากยังทำการจัดสรรแรงงานให้ไม่เพียงพอจึงต้องทำการเลือกโวลตา q' ที่ $W_{qq't}$ มีค่ารองลงมาจัดสรรให้จนครบหรือเซต I หรือ J เท่ากับ ϕ จึงไปขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 8 บันทึกค่า $Z_{qq't}^*$ และ $nn_{qq't}$

ขั้นตอนที่ 9-11 เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1

2.2.3 รูปแบบที่ 3: อีวิริสติกส์อัลกอริทึมเพื่อการจัดสรรกลุ่มแรงงานแบบผสม

ขั้นตอนที่ 1-2 เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 และ 2

ขั้นตอนที่ 3-4 ดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 – 4 ในรูปแบบที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 ในเซต I เรียงลำดับโวลตาที่มี $\overline{CCS}_{qt}$ จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 6 เลือกจัดสรรแรงงานให้กับโวลตาในเซต I ที่มีค่า $\overline{CCS}_{qt}$ มากที่สุดก่อนกรณีแรงงานไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้

ขั้นตอนที่ 7 จากแรงงานในโวลตาที่ว่างที่จะนำมาจัดสรรให้แยกพิจารณา 2 กรณี

7.1 กรณีที่ 1 เมื่อ $n_{q't} \geq nr_{qt}$

7.1.1 พิจารณาโวลตาที่ว่าง ในเซต J ที่มี $n_{q't} \leq \frac{C_{q'} \times QR_{qt}}{b}$

7.1.2 จำนวน $Z_{qq't} = a + n_{q't}(C_{q'} + Cd_{qq'} + e)$ ในทุกโวลตา q' ที่ผ่านเงื่อนไข

7.1.3 หาค่า $Z_1 = \min\{Z_{qq't}\}$

7.2 กรณีที่ 2 เมื่อ $n_{q't} < nr_{qt}$

7.2.1 ในเซต J หาค่า $U_{qq't} = n_{q't}(Cd_{qq'} + C_{q'})$ แล้วเรียงจากน้อยไปหามาก

7.2.2 ในเซต I หาค่า $W_{qq't} = Cd_{qq'} + C_{q'}$ แล้วเรียงจากน้อยไปหามาก แล้วแยกพิจารณาเป็น 2 ทางเลือก

7.3 ทางเลือกที่ 1: เมื่อแรงงานที่จะนำมาช่วยมีลักษณะไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้ทั้งหมดและในแต่ละโวลตามีจำนวนแรงงานน้อยกว่าความต้องการจริง จึงต้องทำการดึงมาจากหลายโวลตาจนกระทั่งได้จำนวนแรงงานที่เพียงพอต่อความต้องการ จาก $\sum_{q'} n_{q't} \geq nr_{qt}$ หาค่า $V_{q't} = \frac{b}{C_{q'}}$ ตรวจสอบว่า $\sum_{q'} n_{q't} \times V_{q't} \leq QR_{qt}$ หรือไม่ ถ้าเป็นไปได้ให้คำนวณค่า Z_{21} แต่ถ้าเป็นไปได้ไม่ได้ ให้กำหนดค่า $Z_{21} = M$

7.4 ทางเลือกที่ 2: เมื่อแรงงานที่จะนำมาช่วยมีลักษณะไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้สลับกับแรงงานที่สามารถแยกกลุ่มกัน จาก $\sum_{q'} n_{q't} \geq nr_{qt}$

- ถ้าพจน์สุดท้ายที่บวกกันได้จำนวนแรงงานพอเพียงเป็นกลุ่มแรงงานที่ได้มาจากโวลตา ที่เป็นกลุ่มแรงงานที่สามารถแยกกลุ่มกัน ให้คำนวณค่า Z_{22}

- ถ้าพจน์สุดท้ายที่บวกกันได้จำนวนแรงงานพอเพียงเป็นกลุ่มแรงงานที่ได้มาจากโวลตาที่เป็นกลุ่มแรงงานที่ไม่สามารถแยกกลุ่มกัน ให้หาค่า $V_{q't} = \frac{b}{C_{q'}}$ ตรวจสอบว่า $\sum_{q'} n_{q't} \times V_{q't} \leq QR_{qt}$ หรือไม่ ถ้าเป็นไปได้ให้คำนวณค่า Z_{21} แต่ถ้าเป็นไปได้ไม่ได้ ให้กำหนดค่า $Z_{21} = M$

7.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของทั้ง 2 ทางเลือกได้ $Z_2 = \min\{Z_{21}, Z_{22}\}$

กรณีแรงงานสามารถแยกกลุ่มกันได้

ขั้นตอนที่ 8 ในเซต J จำนวนค่า $W_{qq't} = Cd_{qq'} + C_{q'}$ แล้วเรียงลำดับจากน้อยไปมากและเลือกโวลตา q' ที่มี $W_{qq't}$ มากที่สุด มาทำการจัดสรรให้ก่อน

8.1 กรณีที่ 1 เมื่อ $n_{q't} = nr_{qt}$

อัปเดตค่าโวลตา q' ที่ถูกจัดสรรแล้วออกจากเซต I และ J และคำนวณค่า

8.2 กรณีที่ 2 เมื่อ $n_{q't} > nr_{qt}$ อัปเดตค่า $W_{qq't} = n_{q't}$ ในเซต J โดยจำนวนแรงงานที่เหลือจากจัดสรรให้อัปเดตค่าเป็น $nn_{q't} = n_{q't} - nr_{qt}$ อัปเดตโวลตา q' ที่จัดสรรแล้วออกจากเซต I และคำนวณค่า Z_3

8.3 กรณีที่ 3 เมื่อ $n_{q't} < nr_{qt}$ อัปเดตค่า nr_{qt} ในเซต I เป็น $nr_{qt} = nr_{qt} - n_{q't}$ อัปเดตค่า $W_{qq't} = n_{q't}$ ในเซต J แต่เนื่องจากยังทำการ จัดสรรแรงงานให้ไม่เพียงพอจึงต้องทำการเลือกโวลตา q' ที่มี $W_{qq't}$ ต่ำรองลงมาจัดสรรให้จนครบหรือเซต I หรือ J เท่ากับ ϕ และคำนวณค่า Z_3

ขั้นตอนที่ 9 เลือกทางเลือกในการจัดสรรที่ $Z_{qq't}^* = \min\{Z_1, Z_2, Z_3\}$

ขั้นตอนที่ 10 บันทึกค่า $Z_{qq't}^*$ และ $nn_{qq't}$

ขั้นตอนที่ 11-13 ดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 10 – 12 ในรูปแบบที่ 1

2.3 เมตะฮิวริสติกส์อัลกอริทึม

เมื่อทำการหาค่าคำตอบตั้งต้นแล้วจะทำการปรับปรุงค่าคำตอบที่ได้ให้ดีขึ้นด้วยวิธีทางเมตะฮิวริสติกส์ที่เรียกว่าชิมมูลเตด แอลเนลลิ่ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

พารามิเตอร์ที่ใช้ในฮิวริสติกส์อัลกอริทึม

T	=	อุณหภูมิตั้งต้น
T_e	=	อุณหภูมิสุดท้าย
r	=	อัตราการเย็นตัว

- I = จำนวนรอบซ้ำสูงสุดในแต่ละช่วงอุณหภูมิ
 i = จำนวนของครั้งการรอบที่ถูกดำเนินการโดยรอบแรกให้
 j = จำนวนของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบแรกให้
 X = ค่าคำตอบการตั้งต้นที่ได้จากการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อย
 $Z(X)$ = ค่าสมการเป้าหมายของการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อย โดย

ระยะที่ 1 การสลับตำแหน่งกลุ่มแรงงานทั้งกลุ่ม

ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลป้อนเข้า คือ $T=100$, $T_c=0$, $r=0.9$, $I=100$

ขั้นตอนที่ 2 รับค่า X กำหนดให้ $X^*=X$ และ $Z(X^*)=Z(X)$

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มเลือกสลับตำแหน่ง จะได้เป็นลำดับการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยใหม่: X' และนับรอบการคำนวณเป็น $i=i+1$

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาว่าการสลับตำแหน่งในขั้นตอนที่ 3 สามารถทำได้หรือไม่

เงื่อนไขการจัดสรรแรงงานให้เพียงพอกับความต้องการ และเงื่อนไขด้านค่าแรงงานขั้นต่ำ

หากผ่านเงื่อนไขทั้งสองให้ไปที่ขั้นตอนที่ 5 แต่หากไม่ผ่านเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งให้สุ่มสลับตำแหน่งใหม่ในขั้นตอนที่ 3 แต่หากวนลูปจนกระทั่งครบจำนวนรอบสูงสุด I ให้มายังขั้นตอนที่ 7 คือ จบการทำงานของระยะที่ 1

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินงานตามขั้นตอนของวิธีซิมูเลเตด แอลเนลลิ่ง

5.1 ตรวจสอบค่าสมการเป้าหมาย

กรณี $Z(X') < Z(X)$ กำหนดค่าใหม่ให้ $X=X'$ และ $Z(X)=Z(X')$ และพิจารณาว่า $Z(X)<Z^*$ หากใช่จะได้ $Z^*=Z(X)$ หากไม่ใช่ไปที่ขั้นตอนที่ 5.2

กรณี $Z(X') \geq Z(X)$ ให้พิจารณาการยอมรับคำตอบได้จาก $P \sim (0,1)$ ที่ $\exp(-\Delta Z/T) > p$ หากใช่ $Z(X)=Z(X')$ หากไม่ใช่ไปที่ขั้นตอนที่ 5.2

5.2 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดค้นหาคำตอบว่าจำนวนรอบในการวนซ้ำหาคำตอบหรือไม่ หากใช่

กลับไปขั้นตอนที่ 3 เพื่อวนหาคำคำตอบที่ดีขึ้นในรอบต่อไป หากไม่ใช่ให้ตรวจสอบสถานะอุณหภูมิว่า $T < T_c$ หรือยัง ถ้ายัง ให้กลับไปวนหาคำคำตอบที่ดีขึ้นจากขั้นตอนที่ 3 ใหม่ จนกระทั่งอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่คืออุณหภูมิตั้งต้นเท่ากับอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนด ขั้นตอนที่ 6 จบการปรับปรุงค่าคำตอบตั้งต้นในระยะที่ 1

ระยะที่ 2 การสลับตำแหน่งแรงงานเฉพาะคู่โควตาที่ถูกนำมาจัดสรร

ขั้นตอนที่ 1-6 มีลักษณะการดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนการดำเนินงานในระยะที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มเลือกสลับตำแหน่งจากตารางตั้งต้นจัดสรรแรงงานมาที่ละคู่โดยไม่ทำการสลับทั้งกลุ่มดังในระยะที่ 1 ซึ่งจะได้เป็นตารางการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยใหม่: X' จากนั้นการพิจารณาเงื่อนไขการอนุญาตให้สลับตำแหน่งได้ และเงื่อนไขการหยุดค้นหาคำตอบของวิธีซิมูเลเตด แอลเนลลิ่ง จำนวนรอบในการวนซ้ำหาคำตอบ $i < I$ หรือไม่ หากใช่ กลับไปที่ขั้นตอนที่ 3 ของระยะที่ 2 เพื่อวนหาคำคำตอบที่ดีขึ้นในรอบต่อไป หากไม่ใช่ให้ตรวจสอบสถานะอุณหภูมิว่า $T < T_c$ หรือยัง ถ้ายัง ให้กลับไปวนหาคำคำตอบที่ดีขึ้นจากขั้นตอนที่ 3 ของระยะที่ 2 จนกระทั่งอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่คืออุณหภูมิตั้งต้นเท่ากับอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนด ขั้นตอนที่ 6 จบการทำงาน

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากฮิวริสติกส์ทั้ง 3 รูปแบบที่พัฒนาขึ้น คณะวิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ (Factorial design) โดยในแต่ละปัจจัยจะแบ่งเป็นสองระดับคือระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) โดยพิจารณา 3 ปัจจัยดังนี้

- (1) ความสม่ำเสมอของค่าแรงงานตัด: (A)
- (2) จำนวนวันเก็บเกี่ยวที่สนใจ: (B)
- (3) จำนวนโควตาที่นำมาทำการจัดสรร: (C)

ได้แสดงรายละเอียดไว้ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการทดลองจะมีทั้งหมด $24 \times 3 \times 3 = 216$ ตัวอย่าง โดยในการทดลองเปรียบ

ตารางที่ 1. แสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

วิธีการหาคำตอบ	รูปแบบการเก็บเกี่ยว					
	(A)		(B)		(C)	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Heu.	สม่ำเสมอ	ไม่สม่ำเสมอ	5 วัน	10 วัน	10 โควตา	20 โควตา
	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ
SA.	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ
LB.	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ	3 ซ้ำ

เทียบต้นทุนการจัดสรรแรงงานระหว่างเมตะฮิวริสติกส์อัลกอริทึมกับค่าคำตอบตั้งต้นในแต่ละรูปแบบการเก็บเกี่ยว
สามารถแสดงได้ดังสมการ

โดย DEP ร้อยละความแตกต่างของฮิวริสติกส์และค่าคำตอบตั้งต้น

$$DEP_HEU = \left(\frac{Int - Heu}{Int} \right) \times 100$$

Int ค่าคำตอบตั้งต้น

Heu ค่าคำตอบของเมตะฮิวริสติกส์แบบชิมมูเลเตด แอลเนลิ่ง

ซึ่งต้นทุนการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวของวิธีเมตะฮิวริสติกส์อัลกอริทึมกับค่าคำตอบตั้งต้น
แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. แสดงต้นทุนทั้งหมดของค่าคำตอบตั้งต้นและปรับปรุงด้วยเมตะฮิวริสติกส์

No	ปัจจัย			รูปแบบที่ 1			รูปแบบที่ 2			รูปแบบที่ 3		
	A	B	C	Int.	Heu.	DEP.	Int.	Heu.	DEP.	Int.	Heu.	DEP.
1	-	-	-	36,448	32,005	12.19	32,059	27,075	15.547	36,473	32,005	12.25
2	-	-	-	35,327	31,077	12.031	33,712	28,755	14.706	34,263	30,255	11.699
3	-	-	-	33,873	29,880	11.79	33,431	29,075	13.03	35,305	30,775	12.83
4	-	-	+	34,754	34,000	2.17	35,309	33,005	6.74	35,802	35,000	2.24
5	-	-	+	36,635	34,705	5.27	34,582	32,445	6.18	37,163	35,554	4.33
6	-	-	+	35,429	35,065	1.03	34,005	34,005	0	35,358	34,570	2.23
7	-	+	-	36,112	31,775	12.01	33,145	29,824	10.02	33,704	30,458	9.63
8	-	+	-	33,428	29,972	10.34	33,145	27,001	18.04	35,214	29,340	16.68
9	-	+	-	37,282	32,794	12.04	32,944	29,345	12.67	34,994	31,453	10.12
10	-	+	+	37,895	35,326	6.78	33,602	37,453	9.68	35,365	35,365	0
11	-	+	+	37,453	37,453	0.000	41,467	35,246	10.41	41,049	37,092	9.64
12	-	+	+	35,623	35,623	0.000	39,341	34,364	0.82	38,092	37,453	1.678
13	+	-	-	56,344	54,170	3.86	34,648	53,143	7.11	55,144	55,144	0
14	+	-	-	55,930	55,930	0.000	57,211	52,003	6.93	57,760	53,214	7.87
15	+	-	-	59,594	56,007	6.02	55,875	54,245	7.69	52,362	52,362	0
16	+	-	+	76,731	75,478	1.634	58,764	72,245	2.924	75,543	75,543	0
17	+	-	+	77,234	76,803	5.58	74,421	73,820	9.14	80,212	77,124	3.85
18	+	-	+	75,346	75,346	0.000	81,246	72,997	6.75	76,693	74,147	3.32
19	+	+	-	52,374	52,374	0.000	78,281	51,794	11.53	57,390	53,252	7.21
20	+	+	-	57,063	56,247	1.43	58,544	54,231	8.52	57,683	55,237	4.24
21	+	+	-	57,864	57,864	0.000	59,282	55,477	6.29	55,577	54,788	1.42
22	+	+	+	74,232	73,983	0.335	59,201	73,203	0	73,245	73,023	0.303
23	+	+	+	75,233	75,233	0.000	73,203	73,243	0.751	74,120	74,120	0
24	+	+	+	77,349	77,349	0.000	73,797	75,005	0.308	77,021	77,021	0
Average				51,065	49,384	4.355	49,217	47,458	7.74	51,064	48,929	5.06
Max				77,349	77,349	12.19	81,246	75,005	18.04	80,212	77,124	16.68
Min				33,428	29,880	0.00	32,059	27,001	0.00	33,704	29,340	0.00

คำตอบตั้งต้นกับการปรับปรุงค่าคำตอบด้วย SA รูปแบบที่ 1 มีค่าระหว่างร้อยละ 0.00-12.19 โดยค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.35 รูปแบบที่ 2 มีค่าระหว่างร้อยละ 0.00-18.04 โดยค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 7.74 และรูปแบบที่ 3 มีค่าระหว่างร้อยละ 0.00-16.68 โดยค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 5.06 ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 2 สามารถปรับปรุงค่าคำตอบได้ดีกว่ารูปแบบอื่น และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบตั้งต้นกับการปรับปรุงค่าคำตอบด้วย SA ของทั้ง 3 รูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อย โดยใช้สถิติ แฟกทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial design) หรือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง (Three way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 3 - 5

ตารางที่ 3. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของรูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบที่ 1

Dependent Variable: DEP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	461.231(a)	7	65.890	13.388	.000
Intercept	455.098	1	455.098	92.466	.000
A	185.882	1	185.882	37.767	.000
B	14.477	1	14.477	2.941	.106
C	144.609	1	144.609	29.382	.000
A * B	6.018	1	6.018	1.223	.285
A * C	110.039	1	110.039	22.358	.000
B * C	.094	1	.094	.019	.892
A * B * C	.112	1	.112	.023	.882
Error	78.748	16	4.922		
Total	995.077	24			
Corrected Total	539.980	23			

a. R Squared = .854 (Adjusted R Squared = .790)

ตารางที่ 4. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของรูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบที่ 2

Dependent Variable: DEP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	447.676(a)	7	63.954	6.570	.001
Intercept	1438.185	1	1438.185	147.744	.000
A	103.750	1	103.750	10.658	.005
B	2.476	1	2.476	.254	.621
C	255.976	1	255.976	26.296	.000
A * B	14.387	1	14.387	1.478	.242
A * C	20.141	1	20.141	2.069	.170
B * C	5.823	1	5.823	.598	.451
A * B * C	45.122	1	45.122	4.635	.047
Error	155.749	16	9.734		
Total	2041.610	24			
Corrected Total	603.425	23			

a R Squared = .742 (Adjusted R Squared = .629)

ตารางที่ 5. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของรูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบที่ 3

Dependent Variable: DEP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	439.318(a)	7	62.760	6.502	.001
Intercept	615.499	1	615.499	63.769	.000
A	176.660	1	176.660	18.303	.001
B	.004	1	.004	.000	.984
C	183.474	1	183.474	19.009	.000
A * B	.679	1	.679	.070	.794
A * C	66.081	1	66.081	6.846	.019
B * C	3.375	1	3.375	.350	.563
A * B * C	9.045	1	9.045	.937	.347
Error	154.431	16	9.652		
Total	1209.248	24			
Corrected Total	593.749	23			

a R Squared = .740 (Adjusted R Squared = .626)

สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ร้อยละความแตกต่างของต้นทุนการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยที่ได้จากค่าคำตอบตั้งต้นกับการปรับปรุงค่าคำตอบด้วย SA มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P < 0.05$) ทั้ง 3 รูปแบบการเก็บเกี่ยว โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยคือ ความสม่ำเสมอของค่าแรงงานตัดและจำนวนโคไคตาของเกษตรกรผู้เพาะปลูกอ้อยที่นำมาจัดสรร รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอของค่าแรงงานตัดและจำนวนโคไคตา นอกจากนี้การทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณที่ระดับแตกต่างกันของทั้งสองปัจจัยพบว่าผลกระทบต่อต้นทุนการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อย โดยที่ในระดับค่าของแต่ละปัจจัยมีค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองหรือร้อยละการปรับปรุงค่าคำตอบที่สูงกว่าในระดับสูงซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่าในกรณีที่ขนาดปัญหาที่มีความสม่ำเสมอของค่าแรงงานตัดและจำนวนโคไคตาของเกษตรกรผู้เพาะปลูกอ้อยที่นำมาจัดสรรในขนาดที่น้อยกว่าจะสามารถปรับปรุงค่าคำตอบด้วย SA ได้ดีขึ้นกว่าเช่นในปัญหาที่มีจำนวนโคไคตา 10 โคไคตา จะปรับปรุงค่าคำตอบด้วย SA ได้ดีกว่าปัญหาที่มีจำนวนโคไคตา 20 โคไคตา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องมาจากในปัญหขนาดเล็กมีพื้นที่ในการหาคำตอบที่แคบกว่าทำให้ SA สามารถสู่ค่าคำตอบที่เหมาะสมได้ดีกว่า

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อการเชื่อมโยงห่วงโซ่คุณค่าของโลจิสติกส์เข้าในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยห่วงโซ่คุณค่าของโลจิสติกส์เข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลจะเริ่มตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน ซึ่งการจัดการที่มีประสิทธิภาพของห่วงโซ่คุณค่าต้องมีความต่อเนื่องกันเพื่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุดและได้รับอ้อยที่มีคุณภาพและก่อให้เกิดผลิตผลที่มากที่สุด พบว่าในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีผู้ทำการศึกษาทั้งในส่วนการหาทำเลการเพาะปลูกอ้อยที่เหมาะสม ระบบการขนส่งอ้อยเข้าโรงงาน หรือการจัดตารางเก็บเกี่ยวอ้อยเพื่อให้ได้ค่าความหวานที่มากที่สุด เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาในส่วนแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยหากมีความไม่เพียงพอหรือมีการจัดการที่ไม่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลให้ตารางลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยดังกล่าวไม่สามารถดำเนินการให้บรรลุผลได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนด้านแรงงานที่ต่ำที่สุด และการคงไว้ซึ่งค่าความหวานของตารางตั้งต้นให้ได้มากที่สุดโดยนำเสนอวิธีที่การพัฒนาอวิริสติกส์อัลกอริทึม ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่มี

ขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของปัญหาประกอบด้วย 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เป็นขั้นตอนการหาคำคำตอบตั้งต้น และระยะที่ 2 เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการปรับปรุงคำตอบที่ดีขึ้นจากคำตอบเดิมด้วยวิธี SA (Simulated Annealing) โดยพิจารณา 3 ปัจจัยคือ จำนวนเก็บเกี่ยวที่สนใจ ความสม่ำเสมอของค่าแรงตัดอ้อย และจำนวนโควตา โดยทำการเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างโดยเฉลี่ยของคำตอบของ SA และคำตอบตั้งต้น พบว่ารูปแบบที่ 1 มีค่าระหว่างร้อยละ 0.00-12.19 โดยค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.35 รูปแบบที่ 2 มีค่าระหว่างร้อยละ 0.00-18.04 โดยค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 7.74 และรูปแบบที่ 3 มีค่าระหว่างร้อยละ 0.00-16.68 โดยค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 5.06 นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ด้วยทางทดสอบทางสถิติ พบว่าจำนวนโควตาเก็บเกี่ยวอ้อยมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของต้นทุนการเก็บเกี่ยวอ้อย กล่าวคือ ในปัญหาที่มีจำนวนโควตาจำนวนน้อยกว่าจะสามารถทำการปรับปรุงคำตอบตั้งต้นด้วยวิธีเมตาสวิริสติกส์ได้ดีกว่าเนื่องจากมีความซับซ้อนของคำตอบที่น้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าความสม่ำเสมอของค่าแรงงานตัดอ้อยก็มีผลต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบด้วย SA กล่าวคือการจ่ายค่าจ้างตัดที่เท่ากันทุกโควตา จะส่งผลให้ผลคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบด้วยเมตาสวิริสติกส์ในรูปแบบที่ 1 มีผลดีกว่ากรณีที่ไม่มีความสม่ำเสมอของค่าแรงงานตัดอ้อย ซึ่งเป็นผลจากการลดความแปรปรวนด้านผลกระทบที่เกิดจากค่าแรงงานขึ้นค่าตามที่กฎหมายกำหนด

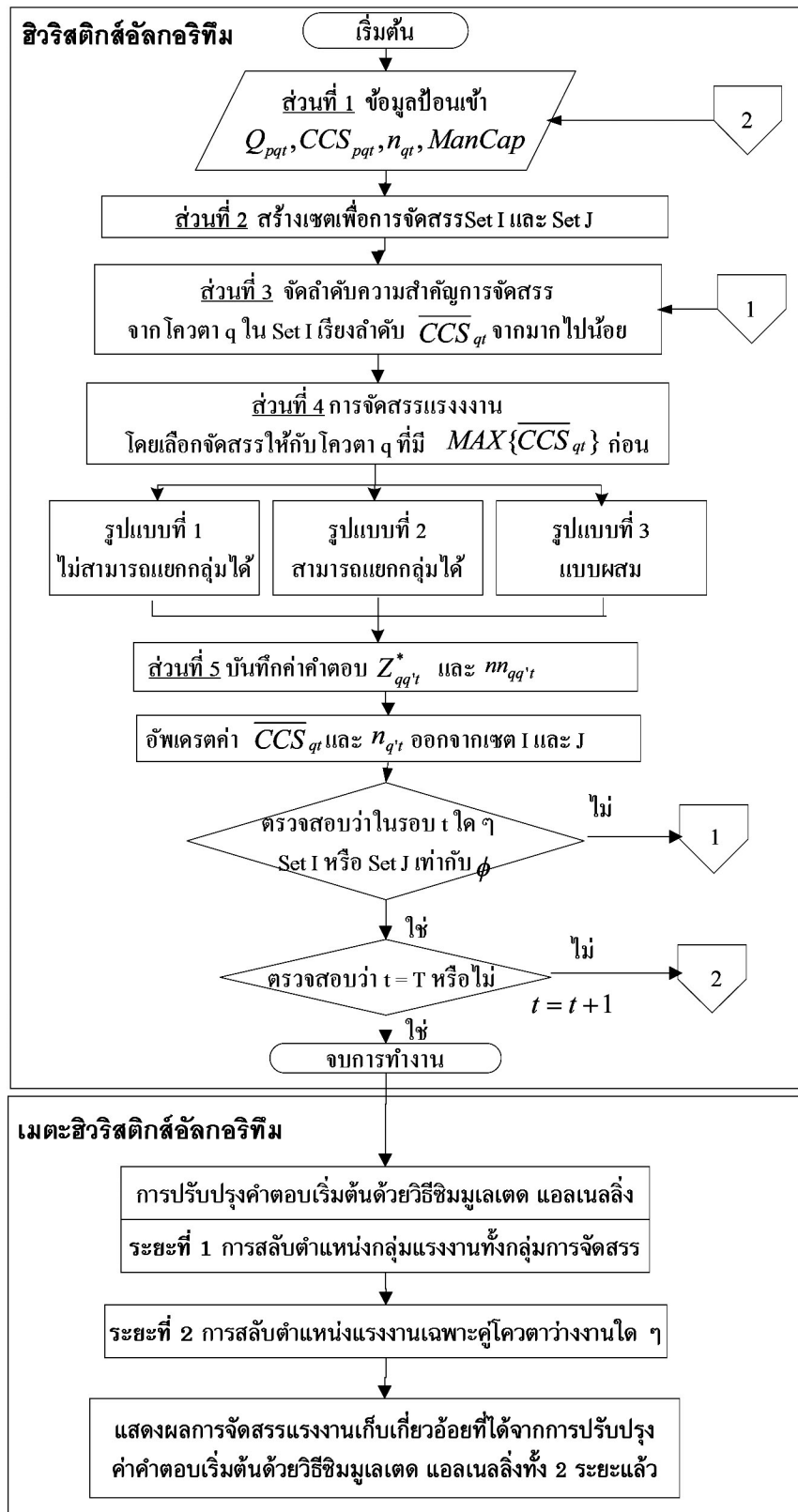
5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) สัญญาทุนเลขที่ DIG 518 0037

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Panwipa T. A Decision Support System for Sugar Cane Harvest in Inbound Logistics of Mill Region [MSc thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2009. Thai.

- (2) Suppakrit C. Feasibility study of labor management in sugarcane harvest system: A case study of Mitr Phu Viang Sugar Mill [MSc thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2008. Thai.
- (3) Altieri M, Faeth P. Sustainable agriculture. Encyclope dia of Agricultural Science. 1994; 4: 239–247.
- (4) Easton F, Mansour N. Distributed Genetic Algorithm for Deterministic and Stochastic Labor Scheduling Problems. European Journal of Operational Research. 1999; 118(3): 505–523.
- (5) Higgins A, Antony G, Sandell G, Davies I, Prestwidge D, Andrew B. A framework for integrating a complex harvesting and transport system for sugar production. Agricultural Systems. 2004; 82: 99-115.
- (6) Semenzato R. A simulation study of sugar cane harvesting. Agricultural Systems. 1995; 47: 427-437.
- (7) Thompson GM. Labor Scheduling Using NPV Estimates of the Marginal Benefit of Additional Labor Capacity. Journal of Operations Management. 1995; 13(1): 67–86.
- (8) Yom Din G, Zugman Z. Incorporating changes in cherry quality into a model of storage and selling schedules. ActaHorticulturae. 2003; 604: 677–682.
- (9) Brusco MJ, Jacobs LW. A Simulated Annealing Approach to Flexible Labor Scheduling Problems. Journal of the Operational Research Society. 1993b; 44(12): 1191–1200.
- (10) Thompson GM. Labor Scheduling Using NPV Estimates of the Marginal Benefit of Additional Labor Capacity. Journal of Operations Management. 1995a; 13(1): 67-86.



รูปที่ 1. สรุปภาพรวมกระบวนการคิด (Flowchart) วิธีการหาคำคำตอบของวิธีที่นำเสนอ