

การพัฒนาแบบตัดสินใจการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อย ในโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย

นพธาดา ไชยบัง^{*1)} และกาญจนา เศรษฐนันท์²⁾

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเกษตรอ้อยมีส่วนสำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง อย่างเช่น อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย ซึ่งสร้างงานและนำรายได้เข้าสู่ประเทศจำนวนมาก เมื่อพิจารณาระบบ โลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย (Inbound Logistics) ตั้งแต่ การเพาะปลูกอ้อย การเก็บเกี่ยวอ้อย การขนส่งอ้อยมายังโรงงาน และการบริหารจัดการหน้าลานของโรงงาน พบว่ายังขาดความต่อเนื่อง และมีการบริหารจัดการที่ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกษตรกรและโรงงานต้องแบกรับต้นทุนและได้ผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจากการสำรวจภาคสนามจากการสัมภาษณ์เกษตรกรและโรงงานผลิตน้ำตาล พบว่ากระบวนการที่เป็นคอขวดที่สร้างความไม่ต่อเนื่อง ในโลจิสติกส์ขาเข้ามากที่สุดกระบวนการหนึ่งคือ กระบวนการการเก็บเกี่ยวอ้อย เนื่องจากการเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย ส่วนมากจะใช้แรงงานคน ทำให้ยากต่อการบริหารจัดการ รวมทั้งในปัจจุบันแรงงานในภาคการเกษตรกรค่อนข้างขาดแคลน มีการโยกย้ายไปทำงานในภาคอุตสาหกรรมและเป็นแรงงานก่อสร้างจำนวนมาก ดังนั้นหากมีการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยที่ไม่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลให้ไม่สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยเข้าสู่โรงงานได้เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานในแต่ละวันส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของรายได้ของเกษตรกรชาวไร่ บทความนี้จึงได้นำเสนอแนวทางในการบริหารจัดการแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยอย่างมีระบบ ด้วยการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ และการพัฒนาวิธีปัญหาแบบฮิวริสติกส์ร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มที่เรียกว่า Capacitated Clustering ด้วยวิธีสเปนนิงทรี (Spanning Tree) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดระยะทางในการขนย้ายแรงงานจากแคมป์แรงงานไปยังแปลงแต่ละแปลงต่ำที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบกับการจัดสรรแรงงานในสถานการณ์จริงที่ปัจจุบันเกษตรกรชาวไร่อ้อยมีการจัดสรรแรงงานอย่างสุ่ม ซึ่งพิจารณาเพียงปริมาณอ้อยที่ต้องไปตัดในแต่ละแปลง แต่ไม่ได้คำนึงถึงระยะทางและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เมื่อทำการทดลองและเปรียบเทียบในทางสถิติด้วยการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มสัมพันธ์ (Paired Samples t-test) ระหว่างปัญหาขนาดเล็กที่สามารถแก้ไขด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์เทียบกับสถานการณ์จริงพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% กล่าวคือวิธีทางคณิตศาสตร์ให้ระยะทางเก็บเกี่ยวที่ต่ำกว่าในทุกกรณี ในการเปรียบเทียบปัญหาค่าที่ใหญ่นักวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระยะทางเก็บเกี่ยวระหว่างวิธีฮิวริสติกส์ที่ได้พัฒนาขึ้นกับปัญหาสถานการณ์จริงโดยทำการออกแบบการทดลองด้วย 2^2 Factorial Design จากการทดลองพบว่าวิธี Capacitated Clustering ที่นำเสนอมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% กับปัญหาในสถานการณ์จริง และพบว่าปัจจัยจำนวนแปลงอ้อยและจำนวนโควตาที่นำมาพิจารณามีผลต่อระยะทางในการขนย้ายกลุ่มแรงงาน

คำสำคัญ: การจัดสรรแรงงาน การแบ่งกลุ่มตามกำลังการผลิต รูปแบบทางคณิตศาสตร์ สเปนนิงทรี

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

อีเมลล์: nopcp_sb-fanclub@hotmail.com

²⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

อีเมลล์: skanch@kku.ac.th

*Corresponding Author

Development of Decision-Making System for Allocating Cane Harvesting Laborers In Inbound Logistics of Sugar Cane and Sugar Industry

Noptada Chaibung^{*1)} and Kanchana Sethanan²⁾

Abstract

Agricultural industry is one of the significant industries contributing to Thai economic expansion. Sugar cane and sugar industry both creates jobs and brings enormous revenues into the country. The inbound logistics of sugar cane and sugar industry—from cane cultivation, harvest, transportation to factories, and ground management in front of factories—is still found to lack continuity and efficient administration. As a result, costs of investment are still a burden on both farmers and factories, and productivity is not very good. The field survey conducted through interviewing farmers and factories revealed that one of the bottle-neck problems causing flow intermittence in inbound logistics is cane harvesting, which, most of the part is done by laborers in Thailand. The problem in this respect lies in management. On top of this, Thailand also sees shortage of farm laborers at present due to their shifting to jobs in industrial and construction sectors. Hence, if sugar cane harvest labor allocation is not efficient, the quantity of sugar cane produce sent to factories will not be sufficient for factories' daily requirement, and farmers' incomes are inconsistent. This article presents a systematic method to administer sugar cane harvest labor which is based on a mathematic model and a heuristic problem solution, the so-called "Capacitated Clustering," performed by means of "Spanning Tree." The objective was to minimize the distance of laborers transport from their camp to the cane plantation. The distance obtained was compared to the real situation where farm laborers were allocated randomly by considering only the amount of cane to be cut in each plantation without taking into account the distance from camp and costs incurred. This comparative study was conducted statistically to see the difference in the averages of two related population groups (Paired Samples t-test). The small-scale problem which was solvable by a mathematical model was compared to the real situation and the result showed a significant difference at 95%. The mathematical model yielded lower costs for all cases investigated. In order to study a bigger problem, we compared the distance obtained from the developed heuristic and that of the real situation by means of 2² Factorial Design. The result showed a 95% significant difference between the Capacitated Clustering and the real situation. It was also found that plantation number and quotas affected the distance of laborers transportation.

Key words: Labor allocation, Capacitated clustering, Mathematical model, Spanning tree

¹⁾ Graduate student, Department of Industrial Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002
email: nopcp_sb-fanclub@hotmail.com

²⁾ Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002
email: skanch@kku.ac.th

*Corresponding Author

1. บทนำ

โลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistics) ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายมีความสำคัญต่อต้นทุนการผลิตโดยตรง (Higgins et al., 2004) การบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดต้นทุนบริหารจัดการโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งส่วนที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการที่มีความสำคัญมากที่สุด กระบวนการหนึ่ง คือ การเก็บเกี่ยวอ้อย โดยกระบวนการเก็บเกี่ยวอ้อยของเกษตรกร ชาวไร่มีการวางแผนการโดยจัดเตรียมแรงงาน จ่ายมัดจำแรงงาน จัดเตรียมรถและเครื่องมือการเก็บเกี่ยว ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคนเกือบทั้งหมด โดยหัวหน้าโควตาจะทำหน้าที่หาแรงงานและทำการจัดสรรแรงงานเพื่อที่จะทำการเก็บเกี่ยวอ้อยของลูกไร่ แต่ละคนให้ได้ปริมาณอ้อยที่เพียงพอที่จะส่งให้แก่โรงงานตามสัญญาต้นที่ได้ทำไว้กับโรงงาน ซึ่งแรงงานที่ใช้จะเป็นลูกไร่ที่สังกัดอยู่กับหัวหน้าโควตาที่อาจจะเป็นทั้งแรงงานท้องถิ่นและแรงงานจากแหล่งอื่น แต่เนื่องจากในปัจจุบันมีจำนวนแรงงานลดลงส่งผลให้เกิดการขาดแคลนแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อย ทำให้ชาวไร่อ้อยมีค่าใช้จ่ายด้านแรงงานเพิ่มขึ้นทั้งด้านการจ่ายค่ามัดจำแรงงานล่วงหน้า ค่าขนส่งแรงงาน ค่าที่พักและสวัสดิการ และเกิดปัญหาแรงงานผิดสัญญาไม่มาตัดอ้อยตามที่ตกลงกันไว้ ทำให้ชาวไร่ต้องสูญเสียเงินเป็นจำนวนมาก ปัญหาดังกล่าวนี้ส่งผลต่อความสอดคล้องของปริมาณอ้อยที่จะส่งเข้าสู่โรงงานกับกำลังการผลิตของโรงงานในแต่ละวัน เนื่องจากหากการเก็บเกี่ยวอ้อยในปริมาณที่มากเกินไปจะเกิดอ้อยที่เหลือค้างไว้ ซึ่งเมื่อระยะเวลารอคอยนาน จะทำให้ค่าความหวานของอ้อยมีค่าลดลง (Semenzato, 1995) และหากมีการเก็บเกี่ยวอ้อยได้ในปริมาณที่น้อยเกินไปเนื่องมาจากแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยที่มีจำนวนไม่เพียงพอ จะส่งผลให้ปริมาณอ้อยที่จะเข้าหีบน้อยกว่ากำลังหีบต่อวันของโรงงาน อีกทั้งเป้าหมายหลักของโลจิสติกส์ขาเข้าคือ ผลผลิตรวมของระบบมากที่สุด โดยมีผู้ทำการศึกษาระบบการตัดสินใจเพื่อทำการคัดเลือกแปลงอ้อยและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยให้มีความเหมาะสมทั้งในด้านปริมาณและให้ได้อ้อยที่มีคุณภาพมากที่สุด (พรธรรณิก

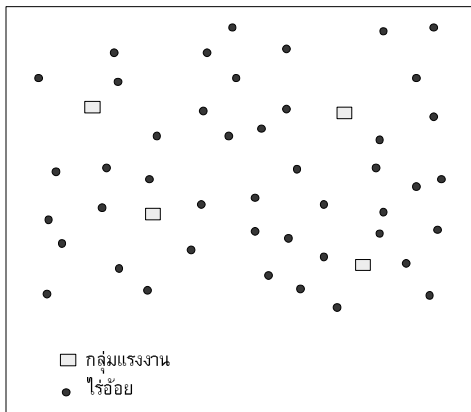
เตชะสุข, 2551) ซึ่งหมายถึงจะต้องทำการเก็บเกี่ยวอ้อยในช่วงของวันที่อ้อยให้ผลผลิตน้ำตาลที่สูงที่สุด แต่ในความเป็นจริง เนื่องจากข้อจำกัดในด้านปริมาณแรงงานเก็บเกี่ยวที่มีอยู่อย่างจำกัดและปัจจัยด้านสภาพอากาศและสังคมทำให้ไม่สามารถเก็บเกี่ยวในลักษณะอย่างนั้นได้ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของระบบและไม่สามารถสนองต่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้

ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ พบว่าการจัดสรรแรงงานในภาคเกษตรยังไม่เป็นที่แพร่หลายส่วนมากจะพบในภาคอุตสาหกรรมและภาคการขนส่งซึ่งส่วนมากจะใช้หลักการจัดตาราง (Scheduling) ในการแก้ปัญหา แต่สำหรับปัญหาการจัดสรรแรงงาน พบว่าแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาจะคล้ายคลึงกับลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางแบบพิจารณากำลังการขนส่ง (Capacitated Vehicle Routing Problem) เช่นในปัญหาการจัดตารางการขนส่งตามเวลาที่ลูกค้าต้องการด้วยการพิจารณาให้เกิดระยะทางที่สั้นที่สุด (Frizzell and Giffin, 1995) ในการวิจัยนี้ยานพาหนะมีมากกว่า 1 คัน วิธีที่ใช้ในการจัดตารางการขนส่งมี 3 วิธีคือวิธีที่ 1 รูปแบบทางคณิตศาสตร์ วิธีที่ 2 ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบแบ่งปัญหาเส้นทางและตารางการขนส่งสินค้าโดยมีเงื่อนไขด้านช่วงเวลากำหนดส่งวิธีที่ 3 วิธีการย้ายลูกค้าระหว่างเส้นทางการขนส่ง (Move Customer) โดยการนำคำตอบที่ได้จากวิธีที่ 2 มาใช้เป็นคำตอบเริ่มต้นซึ่งจะนำตำแหน่งของลูกค้ามาสลับจุดกันเพื่อหาระยะทางขนส่งรวมที่ต่ำที่สุด และเทคนิคการจัดกลุ่มที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาคือการจัดกลุ่มที่เรียกว่า Capacitated Clustering ซึ่งเป็นเทคนิคในการจัดกลุ่มตามความสามารถในการรองรับได้ของกลุ่มโดยใช้ข้อมูลในการพิจารณาการรวมกลุ่ม ซึ่งข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกัน (Similarity) จะถูกจัดอยู่ในกลุ่ม (Cluster) เดียวกัน และสำหรับส่วนข้อมูลที่แตกต่างกัน (Dissimilarity) จะถูกจัดให้อยู่คนละกลุ่ม อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม (Clustering Algorithm) สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือการแบ่งกลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical Clustering) และการแบ่งกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับขั้น (Non-hierarchical Clustering) หรือเรียกว่า การแบ่งกลุ่มแบบ

สัดส่วน (Partitional Clustering) จากเทคนิคที่ว่านี้ ผู้วิจัยจึงได้นำมาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดสรรแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยโดยในหัวข้อที่ 2 จะกล่าวถึงลักษณะของปัญหา หัวข้อที่ 3 จะเป็นส่วนของการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ หัวข้อที่ 4 จะกล่าวถึงการพัฒนาวิธีการที่นำเสนอ สำหรับหัวข้อที่ 4 และ 5 จะเป็นการออกแบบการทดลองและสรุปผลการทดลองที่ได้

2. ลักษณะของปัญหา

จากการศึกษาขั้นต้นพบว่า แรงงานตัดอ้อยจะกระจายตัวเป็นกลุ่มย่อยในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่เพาะปลูกอ้อย (ดังแสดงในรูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการกระจายตัวของกลุ่มแรงงาน

เนื่องจากในกรณีศึกษาลักษณะการเก็บเกี่ยวอ้อยเป็นแบบแปลงรวมของโรงงาน (Plantation) โดยมีปริมาณอ้อยที่ต้องทำการเก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงเวลาจำนวนมาก ประกอบกับมีกลุ่มแรงงานที่กระจายตัวตามหมู่บ้านรอบบริเวณแปลงเพาะปลูกอ้อยที่จำนวนแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะทำการตัดสินใจว่าต้องทำการจัดสรรแรงงานกลุ่มใดเพื่อไปเก็บเกี่ยวอ้อยในบริเวณใด ทั้งนี้เนื่องจากหากมีการจัดสรรที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจทำให้เกิดการแบกรับต้นทุนที่สูงเกินความจำเป็น เช่น ต้นทุนการขนส่งแรงงาน รวมทั้งผลตอบแทนค่าจ้างตัดที่แรงงานตัดอ้อยแต่ละคนจะได้รับนั้นน้อยกว่าที่ควร

ในปัจจุบันการบริหารจัดการแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยมี 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การจัดสรรแรงงานโดยแรงงานในกลุ่มไม่สามารถแยกกลุ่มกันได้นั้นคือ เมื่อมีการเก็บเกี่ยว

ต้องมีการเคลื่อนย้ายกันไปทั้งกลุ่ม รูปแบบที่ 2 การจัดสรรแรงงานโดยแรงงานสามารถแยกกลุ่มกันเพื่อไปเก็บเกี่ยวอ้อยช่วยกลุ่มแรงงานอื่นได้ ตามจำนวนคนงานที่ต้องการ และรูปแบบที่ 3 แบบผสม ซึ่งในการศึกษาจะทำการพิจารณาเฉพาะรูปแบบที่ 2 เพราะเป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นมากที่สุด

3. รูปแบบทางคณิตศาสตร์

การหาผลเฉลยที่มีค่าเหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) เป็นผลจากการแก้ปัญหาโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดระยะทางในการขนย้ายแรงงานต่ำที่สุดและมีความสอดคล้องกับแผนการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยที่ถูกลงแผนไว้ซึ่งเหมาะสำหรับการแก้ขนาดปัญหาที่ไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 สมมติฐานของปัญหา

- ค่าความหวานของอ้อยไม่มีค่าลดลงตามระยะเวลารอคอยการเข้าสู่กระบวนการผลิต
- ค่าความหวานของอ้อยในแต่ละแปลงเพาะปลูกมีค่าเท่ากันอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งแปลง
- อ้อยที่ถูกจัดลำดับให้มีการเก็บเกี่ยวจากแต่ละแปลงเพาะปลูกในแต่ละช่วงเวลา ถือว่าสามารถเก็บเกี่ยวได้จริง นั่นคือ ไม่คำนึงถึงสภาวะปัญหาน้ำท่วม หรือสภาพแปลงที่ไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้
- การเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลงเพาะปลูกแต่ละแปลงมีความเป็นอิสระต่อกัน
- ปริมาณรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน มีจำนวนเพียงพอต่อความต้องการ
- แรงงานที่ถูกนำมาจัดสรรให้ต้องได้รับค่าแรงมากกว่าหรือเท่ากับค่าแรงงานขั้นต่ำตามที่กฎหมายกำหนด
- แปลงอ้อยในกลุ่มโคเวตาสามารถแยกให้แรงงานในกลุ่มโคเวตาอื่นมาช่วยตัดได้

3.2 สัญลักษณ์ ตัวแปรในรูปแบบทางคณิตศาสตร์

i ดัชนีแปลงเพาะปลูกอ้อยแปลงที่ i ; $i=1,2,\dots, m$

j ดัชนีกลุ่มแรงงานโคเวตาอ้อยที่ j ; $j=1,2,\dots, n$

D_{ij} ระยะทางจากแปลงอ้อยที่ i ไปยังกลุ่มโคเวตาแรงงานอ้อยที่ j

VG_j ปริมาณที่กลุ่มแรงงานโคเวตาที่ j นั้นสามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้

V_j ปริมาณอ้อยของแปลงที่ j

n จำนวนกลุ่มโคเวตาแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยทั้งหมด

m จำนวนแปลงเพาะปลูกอ้อยทั้งหมด

RC ปริมาณอ้อยรวมทั้งหมดที่กลุ่มโคเวตาแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยรวมทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้

X_{ij} เพอร์เซ็นต์ปริมาณการเก็บเกี่ยวอ้อยที่ต้องเก็บเกี่ยวในแปลงที่ i จากกลุ่มแรงงานของโคเวตาที่ j

$$S_{ij} = \begin{cases} 1 ; \text{เมื่อเลือกจัดสรรแปลงเพาะปลูกอ้อยแปลงที่ } i \\ \text{ให้ถูกเก็บเกี่ยวโดย กลุ่มแรงงานในโคเวตาที่ } j \\ 0 ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

3.3 สมการเป้าหมาย

สมการเป้าหมายมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางในการขนย้ายแรงงานต่ำที่สุด

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} D_{ij} \quad (1)$$

สมการที่ (1) แสดงสมการเป้าหมายเพื่อให้ระยะทางรวมระหว่างแปลงเพาะปลูกอ้อยกับกลุ่มแรงงานของโคเวตาน้อยที่สุดซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าต้นทุนการขนส่ง (Transportation Cost) แรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อยต่ำที่สุด

3.4 สมการข้อจำกัด

ประกอบด้วย 4 สมการข้อจำกัด ดังนี้

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} \leq 1 ; \forall i \quad (2)$$

สมการ (2) แสดงแปลงเพาะปลูกอ้อยแปลงที่ i อาจไม่ถูกจัดให้กลุ่มแรงงานโคเวตาทั้งหมดก็ได้

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n V_j X_{ij} \leq RC \quad (3)$$

สมการ (3) แสดงผลรวมปริมาณอ้อยในแปลงเพาะปลูกอ้อยแปลงที่ i อาจจะน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณอ้อยที่กลุ่มแรงงานของโคเวตาทั้งหมดสามารถเก็บเกี่ยวได้

$$\sum_{j=1}^m VG_j \geq \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n V_j X_{ij} \quad (4)$$

สมการ (4) แสดงผลรวมของปริมาณอ้อยแปลงที่ i ซึ่งถูกเก็บเกี่ยวโดยแรงงานของกลุ่มโคเวตาที่ j ทั้งหมดที่ถูกตัดจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการตัดของกลุ่มแรงงานของโคเวตาทั้งหมดรวมกัน

3.5 ตัวอย่างการแก้ปัญหาโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์

การแก้ปัญหาโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปสำหรับการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ คือเอ็มพีแอล (MPL 4.2) โดยเชื่อมโยงการป้อนเข้าและนำออกของข้อมูลจากไมโครซอฟต์เอกเซล (Microsoft Excel)

3.5.1 โจทย์ตัวอย่างเพื่อทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยมีข้อมูลดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงที่ตั้งและปริมาณของแปลงอ้อย

แปลง	x	y	ปริมาณ(ตัน)
1	13	17	1
2	18	15	2
3	6	17	3
4	13	6	1
5	13	10	2
6	9	3	1
7	11	2	1
8	4	6	2
9	12	2	1
10	5	20	1
11	5	17	1
12	14	2	1
	รวม		17

ตารางที่ 2 แสดงที่ตั้งกลุ่มแรงงาน

กลุ่ม	x	y	ความสามารถในการตัด (ตัน)
1	5	10	3
2	3	10	2
3	14	13	7
4	15	6	3
5	16	1	2
	รวม		17

โดยความสามารถในการตัดของแรงงานเท่ากับ 2 ต้น ต่อ 1 คนต่อ 1 วัน

3.5.2 ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดในโจทย์ปัญหา ตัวอย่างเมื่อทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปสำหรับการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เอ็มพีเอล (MPL 4.2) ซึ่งจะได้ผลเฉลยดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ผลเฉลยที่เหมาะสม

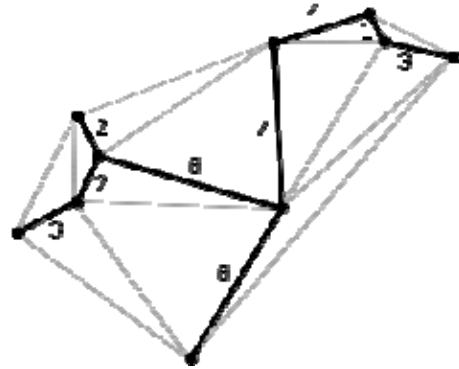
แปลง	cluster1	cluster2	cluster3	cluster4	cluster5
1			1		
2			2		
3	3				
4				1	
5			2		
6				1	
7				1	
8		2			
9					1
10			1		
11			1		
12					1
Total	3	2	7	3	2

จากตารางที่ 3 จะพบว่า กลุ่มแรงงานที่ 1 ต้องทำการเก็บเกี่ยวอ้อยแปลงที่ 3 กลุ่มแรงงานที่ 2 ต้องทำการเก็บเกี่ยวอ้อยแปลงที่ 8 กลุ่มแรงงานที่ 3 ต้องทำการเก็บเกี่ยวอ้อยแปลงที่ 1, 2,5,10 และ 11 กลุ่มแรงงานที่ 4 ต้องทำการเก็บเกี่ยวอ้อยแปลงที่ 4,6 และ 7 สำหรับกลุ่มแรงงานที่ 5 ต้องทำการเก็บเกี่ยวอ้อยแปลงที่ 9 และ 12 โดยมีปริมาณอ้อยที่ต้องเก็บเกี่ยวดังตารางที่ 3 และให้ค่าตามสมการเป้าหมายคือผลรวมของระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 64.93 กิโลเมตร

4. การพัฒนาฮิวริสติกส์

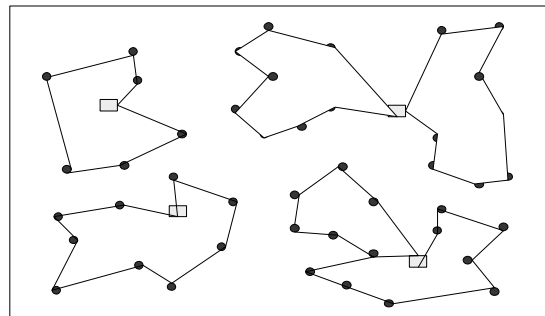
เนื่องจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลเพราะหากปัญหาขนาดใหญ่เกินไปอาจต้องใช้เวลาในการประมวลผลที่ค่อนข้างนานจึงได้มีพัฒนาวิธีทางฮิวริสติกส์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ โดยการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มแบบ Capacitated

Clustering ด้วยวิธี Spanning Trees ในการจัดแปลงอ้อยที่มีระยะเวลาใกล้เคียงกันมากที่สุดมาไว้ในกลุ่มเดียวกัน (Gower and Ross, 1969)



รูปที่ 2 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโหนดเข้าหากันด้วยน้ำหนักรวมน้อยที่สุดตามหลักการของ Spanning Tree

เมื่อทำการจัดกลุ่มแปลงอ้อยแล้วจะทำการจัดสรรแรงงานเพื่อเข้าไปทำการเก็บเกี่ยวอ้อยกลุ่มดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการจัดกลุ่มแรงงานในการตัดแปลงอ้อยในพื้นที่ต่างๆ

4.1สัญลักษณ์ ตัวแปรในการพัฒนาฮิวริสติกส์

- j ดัชนีแปลงเพาะปลูกอ้อยที่ $j; j=1,2,\dots, m$
- i ดัชนีกลุ่มแรงงานของโควตาที่ $i; i=1,2,\dots, n$
- L รอบการคำนวณซ้ำ
- V_j ปริมาณอ้อยที่ยังไม่ได้เก็บเกี่ยวของแปลงเพาะปลูกอ้อยที่ $j; j=1,2,\dots, m$
- C_i กำลังการเก็บเกี่ยวที่เหลือของกลุ่มแรงงานโควตาที่ $i; i=1,2,\dots, n$
- d_{ij} ระยะทางระหว่างแปลงเพาะปลูกอ้อยแปลงที่ j และกลุ่มแรงงานโควตาที่ i

- $node_i$ ตำแหน่งของกลุ่มแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยของกลุ่มโคเวตาที่ i
- $node_j$ ตำแหน่งของแปลงเพาะปลูกอ้อยที่ j
- A เซตของแปลงเพาะปลูกอ้อยที่ยังไม่ได้ถูกจัดสรรให้เก็บเกี่ยวหรือยังเหลืออ้อยที่ต้องเก็บเกี่ยวอยู่
- B เซตของโคเวตากลุ่มแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยที่ยังไม่ได้ถูกจัดสรรเพื่อไปเก็บเกี่ยวอ้อยแปลงใดๆหรือยังคงเหลือกำลังการเก็บเกี่ยวอยู่
- n จำนวนกลุ่มโคเวตาแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยทั้งหมด
- m จำนวนแปลงเพาะปลูกอ้อยทั้งหมด
- Cen_i ระยะห่างระหว่างกลุ่มแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยของกลุ่มโคเวตาที่ i กับจุดศูนย์กลางน้ำหนักของพิกัดที่ตั้งแปลงอ้อยทั้งหมด
- M_i เซตสมาชิกแปลงเพาะปลูกอ้อยใดๆ ที่กลุ่มแรงงานโคเวตาที่ i ใกล้ที่สุด
- n_i จำนวนสมาชิกแปลงเพาะปลูกอ้อยใดๆ ที่กลุ่มแรงงานโคเวตาที่ i ใกล้ที่สุด
- D_L ระยะทางรวมทั้งหมดระหว่างสมาชิกแปลงเพาะปลูกอ้อยใดๆ กับกลุ่มแรงงานโคเวตาที่ i ใกล้ที่สุดในรอบการคำนวณที่ L
- W_{ij} ปริมาณอ้อยของแปลงเพาะปลูกอ้อยแปลงที่ j ซึ่งถูกเก็บเกี่ยวโดยกลุ่มแรงงานในโคเวตาที่ i
- $X_i = \begin{cases} 1 & ; \text{เมื่อเลือกจัดสรรแปลงเพาะปลูกอ้อยแปลงที่ } j \\ \text{ให้ถูกเก็บเกี่ยวโดย กลุ่มแรงงานในโคเวตาที่ } i \\ 0 & ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

4.2 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยวิธีวิริสติกส์

ขั้นตอนที่ 1 ป้อนข้อมูล $V_p, C_p, node_i$ และ $node_j$

ขั้นตอนที่ 2 หา Center of gravity

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m v_j x_j}{\sum_{j=1}^m v_j}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^m v_j y_j}{\sum_{j=1}^m v_j}$$

ขั้นตอนที่ 3 หาเซต M_i โดยพิจารณาจาก $Min\{d_{ij}\}$ ซึ่งหากแปลงอ้อย j ไตใกล้กลุ่มแรงงาน i โดมากที่สุดจะถูกจัดลงกลุ่มแรงงาน i นั้น แต่หากมีระยะทางเท่ากันจะเลือกจัดสรรให้กลุ่มแรงงานที่ใกล้จุด Center of Gravity ก่อน

ขั้นตอนที่ 4 เรียงลำดับเซต M_i ที่มี n_i จากมากไปน้อย และเลือกทำการจัดสรรเซต M_i ที่มี n_i มากที่สุดก่อน

ขั้นตอนที่ 5 จากเซต M_i ที่นำมาพิจารณาตรวจสอบว่า $\sum_j W_{ij} > C_i$ หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ไปขั้นตอนที่ 7 แต่ถ้าใช่ไปขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 พิจารณา M_i ในลำดับถัดไป จนครบ หากในเซต M_i ไม่มีกรณีที่ $\sum_j W_{ij} \leq C_i$ ให้พิจารณา M_i ในลำดับถัดไปโดยไม่ตรวจสอบ C_i

ขั้นตอนที่ 7 สุ่มเลือก $node_j$ ในเซต M_i ตัวแรกที่จะนำมาเชื่อมต่อกับ $node_i$ โดย $node_j$ ที่สุ่มเลือกมาต้องมี $d_{ij} > d_{i,j'}$ สุ่มเลือก $node_j'$ ถัดมาที่ใกล้กับ $node_j$ มากที่สุด หากมีมากกว่า 2 จุดให้เลือกจุดที่ไกลจากตำแหน่ง Center of gravity มาจัดสรรก่อน

ขั้นตอนที่ 8 ทำการจัดสรรแปลงอ้อยให้กับทุกกลุ่มแรงงาน

ขั้นตอนที่ 9 อัปเดตค่า $C_p, node_i$ ไว้ในเซต A และค่า $V_p, node_j$ ไว้ในเซต B และเก็บค่า X_{ij} และ W_{ij} ไว้ในเซตคำตอบ

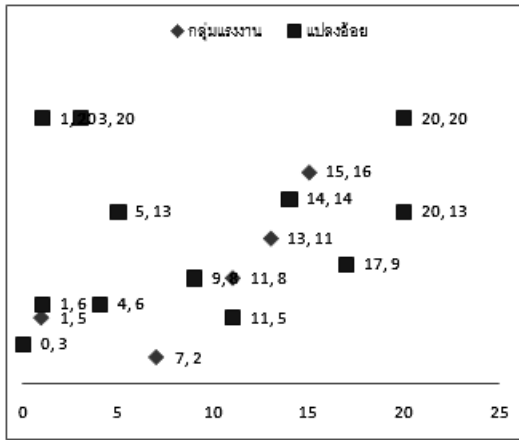
ขั้นตอนที่ 10 คำนวณหาระยะทางรวมทั้งหมด

$$D_L = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n d_{ij}$$

ขั้นตอนที่ 11 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 7-10 แล้วตรวจสอบ $D_{L+1} > D_L$ หรือไม่ ถ้าใช่เก็บค่าคำตอบไว้แทนที่คำตอบในรอบที่ L แต่ถ้าไม่ใช่ไปยังขั้นตอนที่ 12

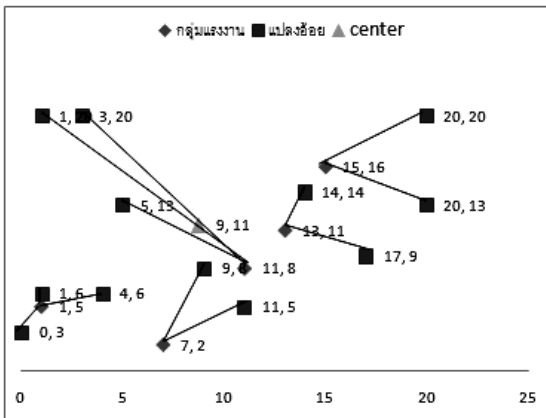
ขั้นตอนที่ 12 ตรวจสอบว่าไม่มีการปรับปรุงค่าคำตอบเกิน 100 รอบ หรือ $L=1,000$ หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ไปยังขั้นตอนที่ 7-11 แต่ถ้าใช่จบการทำงาน

4.3 ตัวอย่างผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยอิวิริสติกส์



รูปที่ 4 แสดงกลุ่มแรงงานและตำแหน่งแปลงข้อยที่ต้องทำการจัดสรร

จากรูปที่ 4 เมื่อทำการแก้ปัญหาด้วยอิวิริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นจะได้ผลเฉลยดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลเฉลยที่ได้จากอิวิริสติกส์ที่พัฒนาขึ้น

5. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองได้แยกเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองในการแก้ปัญหาขนาดเล็กและการทดลองในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การทดลองในปัญหาขนาดเล็ก

โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างปัญหาในสถานการณ์จริงกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์และ อิวิริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นโดยมีจำนวนกลุ่มแรงงานจำนวน 5 กลุ่ม และจำนวนแปลงข้อย 12 แปลง ที่ทำการทดลอง 10 ตัวอย่าง ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลทดลองในปัญหาขนาดเล็ก

การทดลองที่	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)			% ความแตกต่างจากสถานการณ์จริง	
	สถานการณ์จริง	รูปแบบทางคณิตศาสตร์	อิวิริสติกส์	รูปแบบทางคณิตศาสตร์	อิวิริสติกส์
1	88.94	74.88	77.68	15.81	12.66
2	121.16	93.64	97.03	22.72	19.92
3	93.2	69.57	69.57	25.35	25.35
4	89.91	66.63	66.63	25.89	25.89
5	86.43	63.08	68.12	27.02	21.18
6	112.55	64.93	64.93	42.31	42.31
7	46.79	29.34	29.34	37.29	37.29
8	42.41	25.2	25.2	40.6	40.6
9	174.4	72.02	78.12	58.7	55.21
10	108.32	92.81	97.51	14.32	9.99
Minimum				15.81	12.66
Maximum				58.7	55.21
Average				31	29.04

จากผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติด้วย Paired Samples T-test พบว่า คำตอบที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์และอิวิริสติกส์ เมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์จริงแล้วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.005 และ 0.006 ตามลำดับ โดยผลการทดลองพบว่าสามารถลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายแรงงานได้สูงสุดถึงร้อยละ 58.7 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 31 เมื่อพิจารณาคำตอบที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับ อิวิริสติกส์พบว่าได้คำตอบที่ใกล้เคียงกัน

5.2 การทดลองในปัญหาขนาดใหญ่

เนื่องจากในสถานการณ์จริงแปลงข้อยและจำนวนโควตามืออยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาจึงอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน จึงได้มีการพัฒนาวิธีทางอิวิริสติกส์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา โดยจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้วยการพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางที่เกิด

จากการจัดสรรแรงงานในสถานการณ์จริงเทียบกับผลเฉลี่ยที่ได้จากฮิวริสติกส์

ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบการทดลอง 2^2 Factorial Design ซึ่งจะพิจารณาปัจจัยต่างๆ โดยมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การออกแบบการทดลอง 4กรณี

คอม บิเนชัน	จำนวน ซ้ำ	ปัจจัยจำนวน กลุ่มแรงงาน(A)		ปัจจัยจำนวน แปลงอ้อย (B)	
		Low	High	Low	High
		30	60	60	90
1	10	√		√	
2	10	√			√
3	10		√	√	
4	10		√		√

จากข้อมูลในตารางที่ 5 จึงได้ทำการทดลองซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองทางฮิวริสติกส์

No.	(A)	(B)	ระยะทางโดยรวม (กิโลเมตร)		% ความ แตกต่าง
			สถานการณ์จริง	ฮิวริสติกส์	
1	L	L	349.63	189.37	45.84
2	L	L	269.34	149.76	44.4
3	L	L	282.29	161.79	42.69
4	L	L	369.57	193.36	47.68
5	L	L	283.66	165.46	41.67
6	L	L	258.89	131.01	49.4
7	L	L	306.26	125.38	59.06
8	L	L	287	147.37	48.65
9	L	L	293.72	213.13	27.44
10	L	L	268.87	166.13	38.21
11	L	H	280.16	140.7	49.78
12	L	H	281.57	153.67	45.42
13	L	H	250.99	167.65	33.21
14	L	H	259.55	185.8	28.42
15	L	H	265.88	168.22	36.73
16	L	H	256.15	155.14	39.43
17	L	H	272.24	125.72	53.82
18	L	H	266.93	142.81	46.5

No.	(A)	(B)	ระยะทางโดยรวม (กิโลเมตร)		% ความ แตกต่าง
			สถานการณ์จริง	ฮิวริสติกส์	
19	L	H	245.48	162.14	33.95
20	L	H	263.05	131.57	49.98
21	H	L	276.33	64.06	76.82
22	H	L	298.03	74.96	74.85
23	H	L	325.13	72.59	77.67
24	H	L	322.13	71.73	77.73
25	H	L	314.72	68.56	78.22
26	H	L	247.4	70.28	71.59
27	H	L	342.61	66.42	80.61
28	H	L	276.01	63.53	76.98
29	H	L	272.07	64.15	76.42
30	H	L	375.74	73.52	80.43
31	H	H	597.41	312.52	47.69
32	H	H	474.17	208.17	56.1
33	H	H	457.4	158.28	65.4
34	H	H	424.98	165.17	61.13
35	H	H	656.14	202.38	69.16
36	H	H	576.04	325.29	43.53
37	H	H	481.38	186.7	61.22
38	H	H	456.64	184.53	59.59
39	H	H	418.96	140.85	66.38
40	H	H	479.93	174.65	63.61
Minimum			245.48	63.53	27.44
Maximum			656.14	325.29	80.61
Average			342.11	148.11	55.69

จากการทดลองจะพบว่า ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 10 ซ้ำเพื่อหาระยะทางรวมที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์จริงของการเก็บเกี่ยวอ้อยในพื้นที่เพาะปลูกขนาดเดียวกันจำนวน 10 เขตพื้นที่เพาะปลูกอ้อยของแต่ละระดับปัจจัยเพื่อระบุสภาพปัญหาได้ครอบคลุมพื้นที่ที่กรณีศึกษาและผลที่ได้จากกระบวนการทำงานของฮิวริสติกส์จะเท่ากันทุก Replication เนื่องจากกระบวนการทำงานของฮิวริสติกส์จะหาคำตอบแบบวนซ้ำอย่างน้อย 100 รอบ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจะพบว่าการปรับปรุงค่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกส์เปรียบเทียบกับสถานการณ์จริงมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 55.69 และเมื่อทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Univariate

Analysis พบว่าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบพหุคูณจะได้ค่า Mean Difference แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 2 ปัจจัย โดยจำนวนกลุ่มแรงงานที่ระดับสูง และจำนวนแปลงอ้อยที่ระดับต่ำจะมีค่าเฉลี่ยของร้อยละการปรับปรุงของอิวิริสติกส์เท่ากับ 68.26 และ 60.82 ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลให้ร้อยละการปรับปรุงของอิวิริสติกส์มีประสิทธิภาพที่ดี

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์และอิวิริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสรรแรงงานเพื่อให้ระยะทางรวมในการขนย้ายแรงงานมีค่าต่ำที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริงได้เป็นอย่างดี โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์เหมาะสำหรับในการแก้ปัญหาขนาดเล็ก ส่วนอิวิริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นเหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนแปลงเพาะปลูกและจำนวนกลุ่มแรงงานจำนวนมาก ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี 2^2 Factorial Design พบว่าจำนวนกลุ่มแรงงานที่ระดับสูง และจำนวนแปลงอ้อยที่ระดับต่ำ จะส่งผลให้ร้อยละการปรับปรุงของอิวิริสติกส์มีประสิทธิภาพที่ดี ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนกลุ่มแรงงานมีจำนวนมากจะกระจายอยู่รอบแปลงอ้อยทำให้การเข้าถึงแปลงอ้อยมีระยะทางที่สั้น ส่วนแปลงอ้อยที่มีจำนวนน้อยจะทำให้ง่ายต่อจัดสรร เพราะมีตัวเลือกน้อย ซึ่งสามารถลดระยะทางในการขนส่งแรงงานเก็บเกี่ยวอ้อยโดยรวมลงได้ จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อจัดสรรแรงงานการเก็บเกี่ยวอ้อยของเกษตรกรและกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถลดต้นทุนการเก็บเกี่ยวได้อย่างแท้จริง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ ML SC535010

เอกสารอ้างอิง

- Panwipa Taechasook (2551). Decision support system for sugar cane harvest in inbound logistics of mill region. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of master of engineer, Department of Industrial Engineering, Graduate school, Khon Kaen University. (In thai)
- Frizzell, P.W &Giffin, J.W. (1995).The split delivery vehicle scheduling problem with time windows and grid network distances.Computers & Operations Research. (22), 655-667.
- Gower, J.C., Ross, G .J.S. (1969). Minimum spanning trees and single linkage cluster analysis. Appl. S tat, (18). 54-64.
- Higgins, A., Antony, G., Sandell, G., Davies, I., Prestwidge, D., & Andrew, B. (2004).A framework for integrating a complex harvesting and transport system for sugar production .Agricultural Systems. (82), 99-115.
- Semenzato, R. (1995). A simulation study of sugar cane harvesting.Agricultural Systems. (47), 427-437.