



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีระบบเกษตร)
ปริญญา

เทคโนโลยีระบบเกษตร เกษตรกลวิธาน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาเข้าสู่โรงงานผลิต
พลังงานชีวมวล (กรณีศึกษา ยอดและใบอ้อย)

Development of Harvesting and Transportation Plan to Supply the Field-based Residue
Biomass to Bioenergy Plant (A Case Study of Sugarcane Trash)

นามผู้วิจัย นางสาวพรอร แก้วเจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์, Dr.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงจิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาเข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล
(กรณีศึกษา ขอดและใบอ้อย)

Development of Harvesting and Transportation Plan to Supply the Field-based Residue Biomass
to Bioenergy Plant (A Case Study of Sugarcane Trash)

โดย

นางสาวพชรอร แก้วเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีระบบเกษตร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พชรอร แก้วเจริญ 2557: การพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา
เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล (กรณีศึกษา ยอดและใบอ้อย) ปรินญาวิทยาศาสตร์
มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีระบบเกษตร) สาขาเทคโนโลยีระบบเกษตร ภาควิชาเกษตรกล
วิธาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์,
Ph.D. 144 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งยอดและใบ
อ้อย เพื่อช่วยลดต้นทุนในการนำชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นามาผลิตเป็นพลังงานชีวมวล จึงได้ศึกษา
และวิเคราะห์โครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งยอดและใบอ้อย ทำการ
ทดสอบภาคสนามเพื่อหาความสามารถเชิงไร่ของเครื่องจักรกลเกษตร ศึกษาถึงตัวแปรด้านเวลาที่
เกี่ยวข้อง รวมทั้งวิเคราะห์ต้นทุนและการลงทุนในกระบวนการดังกล่าว จากนั้นจึงนำผลการศึกษา
ที่ได้มาทำการออกแบบและพัฒนาแผนการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตร
ที่ใช้ในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย โดยได้ออกแบบแผนไว้จำนวน 2 แผน คือ แผนที่ 1
แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (VRP) และ
แผนที่ 2 ที่ใช้หลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) ซึ่งปัญหาการจัดลำดับ
เส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวดังกล่าว เป็นปัญหาที่มีคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนมาก
จำเป็นต้องใช้เวลาคำนวณหาคำตอบที่นาน จึงได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มา
ใช้ในการแก้ปัญหานี้ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและใช้เวลาในการคำนวณที่ไม่นานเกินไป

ผลการทดสอบแผนการจัดลำดับเส้นทางที่พัฒนาพบว่า แผน VRP เหมาะกับการจัดลำดับ
เส้นทางในกรณีที่รถอัดฟางข้าวต้องกลับไปจอดพักที่โรงงานภายหลังจากเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละ
วัน โดยหากภายในหนึ่งวันมีจำนวนแปลงที่รถอัดฟางข้าวต้องปฏิบัติงานตั้งแต่ 50 แปลงขึ้นไป
จะต้องทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงก่อน แล้วค่อยทำการจัดลำดับเส้นทาง จึงจะทำให้ระยะ
ทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวมีค่าน้อยที่สุด สำหรับแผน TSP นั้นเหมาะกับการจัดลำดับ
เส้นทางในกรณีที่ต้องการให้รถอัดฟางข้าวทำงานไปในแต่ละวัน โดยไม่ต้องย้อนกลับมาจอดพักที่
โรงงาน ซึ่งแผน TSP แบบจัดลำดับเส้นทางที่ละ 1 วัน จะให้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัด
ฟางข้าวที่น้อยกว่า แต่จะใช้เวลาในการคำนวณที่นานกว่าการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 7 วัน โดย
หากต้องการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 7 วัน ควรทำการปรับค่าอัตราการปรับเปลี่ยนโครโมโซม
ให้อยู่ในช่วง 0.2-0.99 จึงจะทำให้ได้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวที่มีค่าน้อยที่สุด

Pacharaon Kaeocharean 2014: Development of Harvesting and Transportation Plan to Supply the Field-based Residue Biomass to Bioenergy Plant (A Case Study of Sugarcane Trash). Master of Science (Agricultural Systems Technology), Major Field: Agricultural Systems Technology, Department of Farm Mechanics. Thesis Advisor: Assistant Professor Kriengkri Kaewtrakulpong, Ph.D. 144 pages.

In this study, harvesting and transportation plan to supply the field-based residue biomass to bioenergy plant was designed and developed in attempt to reduce the logistics cost of such biomass that has relatively huge potential for the second generation of biofuel production, which does not involve the use of human food. Then the logistics structure of such process including collecting, baling, and handling operations of cane trash biomass was studied. The field test and time studies were conducted in order to find out the field capacity of the agricultural machinery used in the processes. Also, the operating cost and investment analysis in baling process of sugarcane trash were studied. Consequently, two plans for routing the moving of baling machine were designed. In attempt to get the route that minimize the total travelling distance of the baling machine, the Vehicle Routing Problem (VRP) and the Travelling Salesman Problem (TSP) concepts were used for developing the first and the second plans, respectively. Genetic Algorithm (GA), a search heuristic that mimics the process of natural selection, was used to generate to get the optimal solutions to such problems in proper calculating time.

The results shown that the VRP plan is suitable to route the moving of baling machine in case that the baling machines have to return to starting points after finish their daily operations. When the machines have to work on number of 50 plots or greater, clustering the plots is necessary to be done prior to use the VRP plan. In case of the machines finish their daily works and have not come back to starting points, the TSP plan is suitable to route the moving of the machines. When the TSP plan used to get the optimal routes for one day, the minimized total travelling distance obtained was shorter but spent longer calculating time when compared with the TSP plan used for one week. In order to get the minimized total travelling distance of all machines operating for one week, the mutation rated should be changed in range of 0.20 to 0.99.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.เกรียงไกร แก้วตะกุดพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้ความรู้และมุมมองต่างๆในการเรียนและการทำงาน คอยชี้แนะแนวทางในการค้นคว้าวิจัย และแนะนำวิธีการในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งให้กำลังใจ ตั้งแต่เริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ในการค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิรัช ออาจหาญ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ รศ.ดร.บัญญัติ เศรษฐฐิติ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเกษตรกลวิธานทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเกษตรกลวิธานทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยของจังหวัดสุพรรณบุรี มาใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรกำแพงแสน และศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบภาคสนาม จนทำให้เกิดความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ และมอบความดีหรือประโยชน์ใดๆ เนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้แก่ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนในทุกๆด้าน รวมทั้งกัลยาณมิตรทุกท่านที่มีส่วนในการช่วยเหลือให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

พชรอร แก้วเจริญ

ธันวาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	43
ผล	43
วิจารณ์	69
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	76
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย	79
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อย	113
ภาคผนวก ค การใช้โปรแกรมย่อย Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เวอร์ชัน 2013	120
ภาคผนวก ง คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม	127
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ขั้นตอนการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นประเภทการเกาะกลุ่ม	10
2 ขั้นตอนการจัดกลุ่มโดยวิธีจัดระบบด้วยตนเองของโคโฮเนน	16
3 ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน	19
4 การเปรียบเทียบระหว่างคำศัพท์เฉพาะทางชีววิทยาและศัพท์ทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรม	27
5 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย	48
6 ความสามารถในการทำงานเชิงไรและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย	49
7 การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย	52
8 ผลการคำนวณระยะทางและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของการจัดเส้นทางรถเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 1	62
9 เปรียบเทียบผลการคำนวณระยะทางที่เป็นไปได้ที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าน้อยที่สุดของการจัดลำดับเส้นทางรถเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 1	63
10 ระยะทางของการจัดลำดับเส้นทางรถเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 1 เมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนของข้อมูลในการคำนวณ	64
11 ผลการจัดลำดับกลุ่มแปลงของรถอัดฟางข้าวแต่ละคัน ด้วยวิธี Linear Programming และวิธีการเชิงพันธุกรรม	65
12 ผลการคำนวณระยะทางและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของการจัดลำดับเส้นทางรถเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 2	66
13 เปรียบเทียบผลการคำนวณระยะทางที่เป็นไปได้ที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าน้อยที่สุดของการจัดลำดับเส้นทางรถเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 2	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	การเปรียบเทียบระยะทางของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยใช้แผนที่ 2 เมื่อมีการปรับค่าอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation rate) ในระดับค่าต่างๆ	68
ตารางผนวกที่		
ก1	ตัวอย่างของชุดข้อมูลแปลงปลูกอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรี ปี 2557 จำนวน 100 แปลง	80
ก2	ข้อมูลปริมาณการหีบอ้อยรายวันของโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่ง ในจังหวัดสุพรรณบุรี ปีการผลิต 2556/2557	84
ก3	ข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยในแต่ละแปลง (เฉพาะแปลงขนาดเล็ก) ตั้งแต่อายุวันเก็บเกี่ยววันที่ 1 ถึงวันที่ 7 ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ด้วยวิธีมอนติคาร์โล	89
ง1	คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 1 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนการจัดลำดับเส้นทาง ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (VRP -Cluster) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อย วันที่ 1-7	128
ง2	คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 1 โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (VRP – without Cluster) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อย วันที่ 1-7	132
ง3	คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 2 โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อย วันที่ 1-7	136
ง4	คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 2 โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อย วันที่ 1-7	140

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การรวมกลุ่มแบบ Single Linkage	11
2	การรวมกลุ่มแบบ Complete Linkage	12
3	การรวมกลุ่มแบบ Average Linkage Between Groups	12
4	การรวมกลุ่มแบบ Centroid Clustering	13
5	การรวมกลุ่มแบบ Median Clustering	14
6	ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบลำดับขั้นประเภทการเกาะกลุ่ม	15
7	การทำงานของระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ SOM	16
8	ขั้นตอนการจัดกลุ่มโดยวิธีจัดระบบด้วยตนเองของโคโฮเนน	18
9	ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน	20
10	องค์ประกอบของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย	21
11	องค์ประกอบของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	22
12	องค์ประกอบของโครโมโซม	27
13	ลักษณะของโครโมโซมแบบ Binary Encoding	28
14	ลักษณะของโครโมโซมแบบ Value Encoding	28
15	ลักษณะของโครโมโซมแบบ Permutation Encoding	29
16	การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover)	31
17	การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover)	31
18	การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบ Uniform Crossover	32
19	การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมแบบอินเวอร์ส (Inversion Mutation)	33
20	การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมด้วยการแทรก (Insertion Mutation)	33
21	การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมแบบ Binary Mutation	34
22	ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	โครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งยอดและใบอ้อย	44
24	ขั้นตอนการรวบรวมยอดและใบอ้อย	45
25	ขั้นตอนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย	46
26	แบบจำลองของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งยอดและใบอ้อย	47
27	โครงสร้างต้นทุนในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งยอดและใบอ้อย	50
28	จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของการอัดก้อนยอดและใบอ้อยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว	53
29	ขั้นตอนวิธีการในการหาคำตอบของแผนที่ 1	55
30	ตัวอย่างการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลง ที่แบ่งตามจำนวนรถอัดฟางข้าว 5 คัน	56
31	ขั้นตอนวิธีการในการหาคำตอบของแผนที่ 2	57
32	ลำดับของการวิเคราะห์หาลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว 1 คัน โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน	58
33	การวิเคราะห์หาลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว 1 คัน โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน	59
34	ผลการจำลองอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยในแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด	61

ภาพผนวกที่

ข1	การใส่ข้อมูลที่อยู่ใน Data View	114
ข2	ขั้นตอนในการเลือกวิธีที่ใช้วิเคราะห์การจัดกลุ่ม ด้วย K-Means Cluster	115
ข3	ขั้นตอนการใส่ข้อมูลในการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม ด้วย K-Means Cluster	115
ข4	กำหนดค่า Iterate ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster	116
ข5	กำหนดค่า Save ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster	116
ข6	กำหนดค่า Option ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster	117
ข7	กำหนดค่า Number of Cluster ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข8 ผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วย K-Means Cluster	118
ข9 การแสดงคำตอบของการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster	119
ค1 ไดอะแกรมบล็อกซ์ Solver Parametters	121
ค2 การกำหนด Solver Parametters	122
ค3 กำหนดค่า Options ในแท็บ All Methods	123
ค4 กำหนดค่า Options ในแท็บ Evolutionary	124
ค5 การแสดงผลของ Solver	125
ค6 รายงานคำตอบของการ Solver	126

**การพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา
เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล
(กรณีศึกษา ยอดและใบอ้อย)**

**Development of Harvesting and Transportation Plan to Supply
the Field-based Residue Biomass to Bioenergy Plant
(A Case Study of Sugarcane Trash)**

คำนำ

ปัจจุบันชีวมวลได้กลายเป็นแหล่งทางเลือกทางหนึ่งของการผลิตพลังงานทดแทน ซึ่งชีวมวลที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน ได้แก่ แกลบ, ชานอ้อย, เศษไม้ และกะลาปาล์ม เป็นต้น ชีวมวลส่วนหนึ่งถูกนำมาใช้ประโยชน์เกือบหมดแล้ว เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าในโรงงานไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนชีวมวลประเภทที่ยังไม่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว เหง้ามัน ลำปะหูลัง ทะลายปาล์มเปล่า ทางใบและก้านปาล์ม จัดเป็นชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา ซึ่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นานี้มีศักยภาพและมีปริมาณคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาจึงถือได้ว่าเป็นทางเลือกใหม่ที่จะนำมาใช้ในการผลิตพลังงานชีวมวลต่อไป

ชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นานี้มีปริมาณมากและอยู่กันอย่างกระจัดกระจาย ทำให้รวบรวมได้ยาก ดังนั้นการนำชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นามาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องทำการเก็บเกี่ยวจากแปลง ต้องมีการแปรรูปชีวมวลให้มีลักษณะที่เหมาะสมก่อน ต้องมีการรวบรวมชีวมวลจากแหล่งผลิตที่หลากหลาย และต้องมีการขนส่งเพื่อนำมาป้อนเข้าโรงงานผลิตพลังงาน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ต้นทุนการผลิตพลังงานจากชีวมวลมีค่าเพิ่มขึ้น (เกรียงไกร และคณะ, 2554) โดยเฉพาะต้นทุนค่าขนส่งนั้นนับเป็นต้นทุนที่มีสัดส่วนค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับต้นทุนทั้งหมด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาแผนปฏิบัติการสำหรับบริหารจัดการในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่ง เพื่อให้การนำชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นามาใช้ประโยชน์มีต้นทุนดำเนินการในกระบวนการดังกล่าวที่ลดลง โดยหากมีการพัฒนาตารางการปฏิบัติงานของแรงงานคนและเครื่องจักรกลเกษตร รวมถึงการจัดลำดับแปลงที่จะเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา ก็น่าจะเป็นแผนปฏิบัติ

การหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและลดต้นทุนดำเนินการในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างด้านโลจิสติกส์ ตัวแปรด้านเวลา และต้นทุนดำเนินการในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา รวมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลเกษตรและแรงงานคนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดังกล่าว แล้วจึงนำผลการศึกษาวิเคราะห์และผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับใช้เป็นแผนปฏิบัติการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาเข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล รวมทั้งทำการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินศักยภาพและข้อจำกัดของแผนดังกล่าวด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างด้านโลจิสติกส์ ตัวแปรด้านเวลา และความสามารถเชิงไร่ของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล
2. วิเคราะห์ต้นทุนและการลงทุนของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย เพื่อการป้อนชีวมวลเหลือทิ้งในไร่นาเข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล
3. เพื่อออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่ง เพื่อรวบรวมชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาเข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล เพื่อการลดต้นทุนและปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการดังกล่าว

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่ง เพื่อรวบรวมชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล ซึ่งในกระบวนการรวบรวมชีวมวลจากหลายๆพื้นที่นั้น จำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตรจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งทำให้ต้นทุนของชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นานั้นสูงขึ้น จึงได้ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับชีวมวลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) และวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาแผนการจัดสรรทรัพยากร เพื่อรวบรวมชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวลในลำดับต่อไป

1. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับชีวมวล

1.1 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล คือ สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ โดยรวมถึงวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ หรือกากที่ได้จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม การเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ (ผลพลอยได้จากโรงสีข้าวเปลือก) ยอดและใบอ้อย กากอ้อย (ผลพลอยได้ที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลทราย) ทะลายปาล์ม กากปาล์ม (ผลพลอยได้ที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ) เศษไม้ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน เป็นต้น

1.2 องค์ประกอบของชีวมวล

สุพรชัย (2554) ได้แบ่งองค์ประกอบของชีวมวลหรือสารทั่วไป ออกเป็น ๓ ส่วนหลัก คือ

1) ความชื้น (Moisture) ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ระเหยลุกเผาไหม้ได้ง่าย (Volatiles matter) และส่วนที่เผาไหม้ยาก (Fixed Carbon Volatiles matter) ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่าระเหยสูง (Volatiles matter) สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

1.3 ศักยภาพชีวมวล

ในปัจจุบันชีวมวลบางประเภทมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย และมีปริมาณคงเหลือไม่มาก หรือบางชนิดขาดแคลน เช่น แกลบ และกากอ้อย ซึ่งชีวมวลเหล่านี้เป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร โดยทางผู้ประกอบการได้หาแนวทางในการกำจัดและลดต้นทุนในการผลิต ด้วยการนำชีวมวลดังกล่าวไปใช้แทนเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ จนปัจจุบันชีวมวลเหล่านี้ได้มีการซื้อ - ขาย และมีกลไกด้านการตลาดจนครบวงจรแล้ว ชีวมวลประเภทนี้จึงกลายเป็น เชื้อเพลิงชีวมวลเชิงพาณิชย์ (Commercialized Biomass) แต่ยังคงมีชีวมวลอีกประเภทหนึ่งที่มีการนำไปใช้อยู่ในวงจำกัด หรือยังไม่มีมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม เช่น ชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา ได้แก่ ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม เปล่า ทางใบและก้านปาล์ม เป็นต้น

1.4 ยอดและใบอ้อย

ยอดและใบอ้อย คือ ชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา ที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีตัดสด ซึ่งยอดและใบอ้อยนี้เป็นส่วนที่ถูกตัดออกจากลำต้นอ้อยก่อนส่งอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาล และเหลือทิ้งอยู่ภายในแปลงอย่างกระจัดกระจาย โดยทั่วไปฤดูกาลเก็บเกี่ยวอ้อยจะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายนของทุกปี ดังนั้นยอดและใบอ้อยจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวเช่นกัน แต่ในบางครั้งเกษตรกรหรือชาวไร่อ้อยจะใช้วิธีเก็บเกี่ยวอ้อยโดยการเผาแปลงอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้การเผาแทนการตัดยอดและใบอ้อยออกจากลำอ้อย และจะทำให้ไม่มียอดและใบอ้อยหลงเหลืออยู่ภายในแปลง แต่ในเกษตรกรบางรายที่ใช้วิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีตัดสด จะมียอดและใบอ้อยเหลือทิ้งอยู่ภายในแปลง ซึ่งยอดและใบอ้อยเหล่านี้เมื่อแห้งจะสามารถติดไฟได้ง่าย ดังนั้นเกษตรกรจึงนิยมนำยอดและใบอ้อยเหล่านี้มาทำเป็นแนวกันไฟ เพื่อป้องกันการเกิดไฟ

ใหม่ในกายแปลงอ้อย หรือในเกษตรกรบางรายจะนำยอดและใบอ้อยไปใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือไถกลบทำเป็นปุ๋ยเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน แต่อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากยอดและใบอ้อยดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นยังคงไม่กว้างขวางนัก

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)

การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติวิธีหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถจัดกลุ่มคุณสมบัติของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ โดยที่การวิเคราะห์นี้มีหลักการคือ แบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยแบ่งข้อมูลที่คล้ายกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยความคล้ายกันอาจเป็นคุณสมบัติของข้อมูลที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น (ยุทธ, 2556) ซึ่งไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มข้อมูลมาก่อน หรือไม่จำเป็นต้องทราบว่าแต่ละข้อมูลอยู่กลุ่มใดมาก่อน นิยมนำเทคนิคนี้มาใช้กับงานด้านการตลาด ด้านการแพทย์ ด้านการศึกษา และด้านสังคมศาสตร์

การวิเคราะห์กลุ่มข้อมูลนั้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ (1) การวัดระยะห่างหรือความคล้ายและ (2) เทคนิควิธีการแบ่งกลุ่ม ซึ่งในปัจจุบันนั้นได้มีการพัฒนาจนมีหลากหลายเทคนิควิธี

2.1.1 การวัดระยะห่างหรือความคล้าย

ในการจัดกลุ่มข้อมูลนั้นจะมีการวัดระยะห่างของกลุ่มข้อมูลที่ละคู่ โดยจะแบ่งวิธีการวัดระยะห่างตามชนิดของข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพ

กำหนดให้ x_{ia}, x_{ja}

แทนข้อมูลตัวแปรที่ a หน่วยที่ i และ j ตามลำดับ เมื่อ $i, j = 1, 2, \dots, n$

$E(x_{ia}), E(x_{ja})$

แทนค่าคาดหวังของข้อมูลตัวแปรที่ a หน่วยที่ i ที่ j ตามลำดับ

$Z_{ia}, Z_{ja},$

แทนค่ามาตรฐานของข้อมูลตัวแปรที่ a
หน่วยที่ i ที่ j ตามลำดับ

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\hat{\sigma}_x}$$

 x_i

แทนข้อมูลหน่วยที่ i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$

 $\bar{x}$

แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูล

 $\hat{\sigma}_x$

แทนค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบน

มาตรฐานของข้อมูล

 D_{ij}

แทนระยะห่างระหว่างข้อมูล

 S_{ij}

แทนค่าความคล้ายของข้อมูล

 p

แทนจำนวนตัวแปรทั้งหมดของข้อมูล

1. การวัดระยะห่างสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ

ข้อมูลเชิงปริมาณ คือข้อมูลชนิดอันตรภาคหรือแบบช่วง และข้อมูลชนิดอัตราส่วน ใช้ในการหาระยะห่างระหว่างข้อมูล 2 หน่วย คือหน่วย ที่ i และ หน่วยที่ j วิธีคำนวณหาระยะห่างมีหลายวิธี ได้แก่

1) ค่าระยะห่างแบบยุคลิด (Euclidean Distance) เป็นวิธีมาตรฐานและเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในการหาค่าระยะห่าง คำนวณได้ดังนี้

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{a=1}^p (x_{ia} - x_{ja})^2} \quad (1)$$

2) ค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสอง (SquareEuclidean Distance)

$$D_{ij} = \sum_{a=1}^p (x_{ia} - x_{ja})^2 \quad (2)$$

3) ระยะห่างแบบชิตีบล็อก (City-block)

$$D_{ij} = \sum_{a=1}^p |x_{ia} - x_{ja}| \quad (3)$$

4) ค่าความคล้ายโคไซน์ (Cosine)

$$S_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^p (x_{ia} x_{ja})}{\sqrt{(\sum_{a=1}^p x_{ia}^2)(\sum_{a=1}^p x_{ja}^2)}} \quad (4)$$

5) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) เป็นการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ 2 เวกเตอร์ ใช้ในการวัดค่าความคล้ายได้ ดังนี้

$$S_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^p Z_{ia} Z_{ja}}{n - 1} \quad (5)$$

2. การวัดระยะห่างสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพ ข้อมูลเชิงคุณภาพ คือ ข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่ ได้แก่

1) ค่าระยะห่างไคสแควร์ (Chi-square measure) เป็นการนำหลักการทดสอบของหลักการไคสแควร์ ในการทดสอบความเท่ากันของความถี่ของข้อมูล 2 หน่วย คำนวณได้ดังนี้

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{a=1}^p \frac{(x_{ia} - E(x_{ia}))^2}{E(x_{ia})} + \sum_{a=1}^p \frac{(x_{ja} - E(x_{ja}))^2}{E(x_{ja})}} \quad (6)$$

2) ค่าระยะห่างไพลสแควร์ (Phi-square measure)

$$D_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^p \frac{(x_{ia} - E(x_{ia}))^2}{E(x_{ia})} + \sum_{a=1}^p \frac{(x_{ja} - E(x_{ja}))^2}{E(x_{ja})}}{n}} \quad (7)$$

2.1.2 เทคนิควิธีการแบ่งกลุ่ม

เทคนิควิธีการแบ่งกลุ่มนั้นมีหลากหลายวิธี ได้แก่

- 1) วิธีการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical Cluster Analysis)
 - 2) อัลกอริทึมจัดกลุ่มแบบเคมีน (K – Means Cluster Analysis)
 - 3) วิธีการจัดระบบด้วยตัวเองของโคโฮเนน (Kohonen's Self-Organizing Maps method, SOM)
 - 4) อัลกอริทึมจัดกลุ่มแบบเคเมดอยด์ (K-Medoids clustering algorithm)
- 1) วิธีการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical Cluster Analysis)

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการจัดกลุ่ม Case หรือจัดกลุ่มตัวแปร เนื่องจากคำนวณได้ง่าย โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. ในกรณีที่ใช้ในการแบ่ง Case นั้น จำนวน Case ต้องไม่มากนัก (จำนวน Case ควรต่ำกว่า 200) และจำนวนตัวแปรต้องไม่มากเช่นกัน
2. ไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มมาก่อน
3. ไม่จำเป็นต้องทราบว่าตัวแปรใดหรือ Case ใดอยู่กลุ่มใดก่อน

วิธีการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical Cluster) สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การเกาะกลุ่ม (Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis) มีหลักการทำงาน คือ เริ่มจากการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวน n กลุ่ม จากข้อมูลทั้งหมด n ตัว กลุ่ม

ข้อมูล 2 กลุ่มไหนที่มีระยะห่างสั้นที่สุด หรือคล้ายกันมากที่สุดจะรวมเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มก่อน จึงเหลือ $n-1$ กลุ่มย่อย จากนั้นหาระยะห่างหรือความคล้ายจาก $n-1$ กลุ่มย่อยใหม่ แล้วดูว่ากลุ่มย่อยใดมีระยะห่างสั้นที่สุด หรือคล้ายกันมากที่สุดก็รวมกลุ่มย่อยนั้นเข้าด้วยกัน ทำเช่นนี้ต่อ ๆ ไป ในท้ายที่สุดแล้วจะมีเพียง 1 กลุ่มซึ่งประกอบด้วยสิ่งของ n สิ่ง

2. การแตกกลุ่ม (Divisive Hierarchical Cluster Analysis) เป็นวิธีที่รวมเอาทุกข้อมูลเข้าด้วยกัน โดยเริ่มจากการทำให้เป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว จากนั้นจะค่อยแบ่งหรือแยกข้อมูลแต่ละข้อมูลออกจากกลุ่มใหญ่ จนกระทั่งกลายเป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่สมบูรณ์ (ยุทธ, 2556) ซึ่งวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณนานกว่าวิธีการเกาะกลุ่ม (ปิยธิดา, 2552)

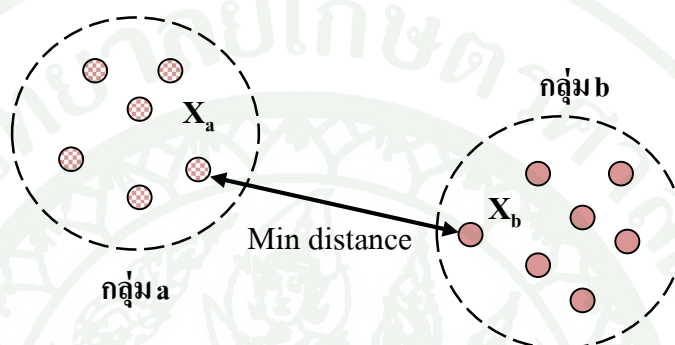
ขั้นตอนวิธีการคำนวณของการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น โดยการเกาะกลุ่มมีวิธีการ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นประเภทการเกาะกลุ่ม

ขั้นตอนที่	การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นประเภทการเกาะกลุ่ม
1	แบ่งข้อมูล ออกเป็น n กลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่มจะมีสมาชิกเพียง 1 ตัว เท่านั้น
2	รวมกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม เข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน โดยพิจารณาจากค่าระยะห่าง และใช้หลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่มตามที่กำหนด
3	พิจารณาว่าควรรวมกลุ่มข้อมูลกลุ่มที่ 3 เข้ากับข้อมูล 2 กลุ่มแรกหรือรวมเข้ากับข้อมูลกลุ่มใหม่อีกกลุ่มหนึ่ง โดยพิจารณาจากค่าระยะห่าง และใช้หลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่มตามที่กำหนดเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2
4	ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลทุกกลุ่มอยู่ในกลุ่มเดียวกัน นั้นคือสุดท้ายเหลือข้อมูลเพียง 1 กลุ่ม และกลุ่มข้อมูลใดที่ถูกจัดกลุ่มแล้วจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงอีก
5	สร้างเดนไดรแกรม
6	กำหนดค่าระยะห่าง แล้วนำมาลากเส้นผ่านเดนไดรแกรมเพื่อแบ่งกลุ่มข้อมูล

หลักเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มสำหรับวิธีการเกาะกลุ่มนั้นมีหลายวิธี ได้แก่

1) Single Linkage หรือ Nearest Neighbor คือ การหาระยะห่างระหว่าง 2 กลุ่มข้อมูลใดๆ และรวม 2 กลุ่มข้อมูลที่มีระยะห่างที่ใกล้กันมากที่สุด โดยเลือกใช้ระยะห่างระหว่างข้อมูลหน่วยที่ใกล้กันที่สุดจากแต่ละกลุ่มมาพิจารณา



ภาพที่ 1 การรวมกลุ่มแบบ Single Linkage

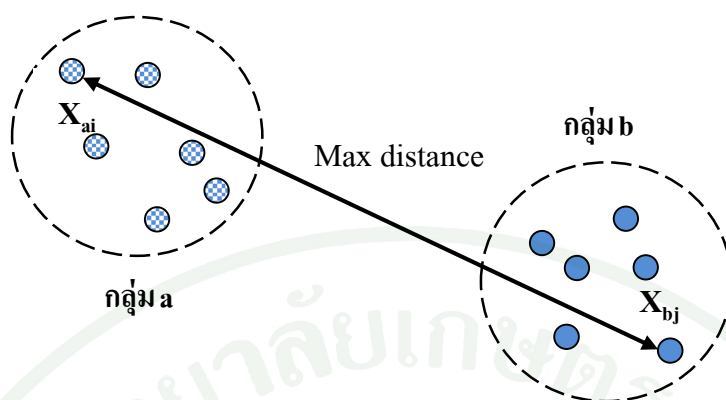
คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$d(a, b) = \min(\text{dist}(x_{ai}, x_{bj})) \quad (8)$$

โดยที่ x_{ai} แทนข้อมูลหน่วยที่ i กลุ่ม a

x_{bj} แทนข้อมูลหน่วยที่ j กลุ่ม b

2) Complete Linkage หรือ Furthest Neighbor Technique เป็นวิธีที่ตรงข้ามกับวิธี Single Linkage คือ เลือกใช้ระยะห่างระหว่างข้อมูลหน่วยที่ใกล้กันที่สุดจากแต่ละกลุ่มมาพิจารณา แล้วจึงรวมกลุ่มข้อมูลที่มีระยะห่างใกล้กันที่สุดเข้าด้วยกัน โดยวิธีนี้จะมีสิ่งรบกวน (Noise) มาก หรือ อาจมีข้อมูลที่ผิดปกติ (Outlier) ทำให้การคำนวณโดยวิธีนี้ใช้เวลานาน



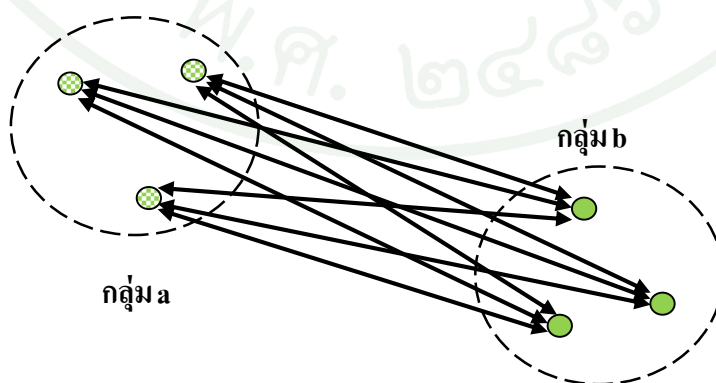
ภาพที่ 2 การรวมกลุ่มแบบ Complete Linkage

คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$d(a, b) = \max(\text{dist}(x_{ai}, x_{bj})) \quad (9)$$

โดยที่ x_{ai} แทนข้อมูลหน่วยที่ i กลุ่ม a
 x_{bj} แทนข้อมูลหน่วยที่ j กลุ่ม b

3) Average Linkage Between Groups หรือ Between – groups Linkage คือ การหาค่าระยะห่างเฉลี่ยของทุกคู่ข้อมูล ระหว่างกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่มใดๆ โดยรวม 2 กลุ่มข้อมูลที่มีระยะห่างเฉลี่ยใกล้กันที่สุดเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 3 การรวมกลุ่มแบบ Average Linkage Between Groups

คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$d(a, b) = \frac{1}{n_a n_b} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} \text{dist}(x_{ai}, x_{bj}) \quad (10)$$

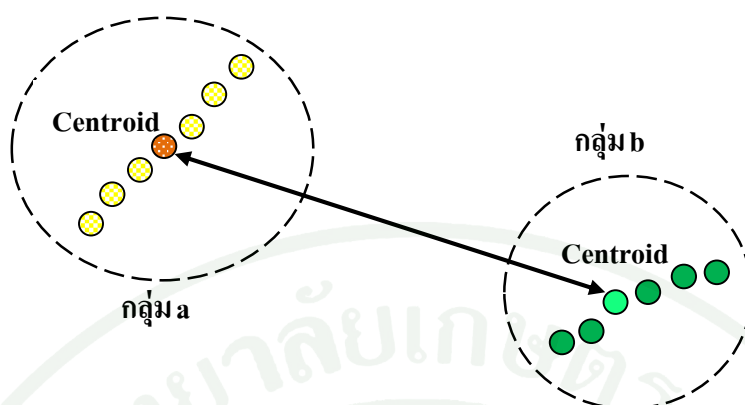
โดยที่ x_{ai} แทนข้อมูลหน่วยที่ i กลุ่ม a
 x_{bj} แทนข้อมูลหน่วยที่ j กลุ่ม b
 n_a แทนจำนวนข้อมูลในกลุ่ม a
 n_b แทนจำนวนข้อมูลในกลุ่ม b

4) Centroid Clustering คือ การพิจารณาระยะห่างของจุดกลางของกลุ่ม วิธีการนี้จะคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของกลุ่ม (Centroid) ที่ละคู่ ถ้าระยะห่างระหว่าง Centroid ของกลุ่มคู่ใดต่ำจะรวม กลุ่มคู่นั้นเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน



ภาพที่ 4 การรวมกลุ่มแบบ Centroid Clustering

5) Median Clustering คือ วิธีที่จะรวมกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม เข้าด้วยกัน โดยให้แต่ละกลุ่ม มีสำคัญเท่ากัน (ให้น้ำหนักเท่ากัน) ในขณะที่วิธีของ Centroid Clustering จะให้ความสำคัญแก่ กลุ่มข้อมูลมีขนาดใหญ่มากกว่า กลุ่มข้อมูลที่มีขนาดเล็ก (ให้น้ำหนักไม่เท่ากัน) Median Clustering จะใช้ค่า Median เป็นค่ากลางของกลุ่ม (Centroid) ถ้าระยะห่าง ระหว่างค่า Median ของกลุ่มคู่ใดต่ำ จะรวมกลุ่มคู่นั้นเข้าด้วยกัน



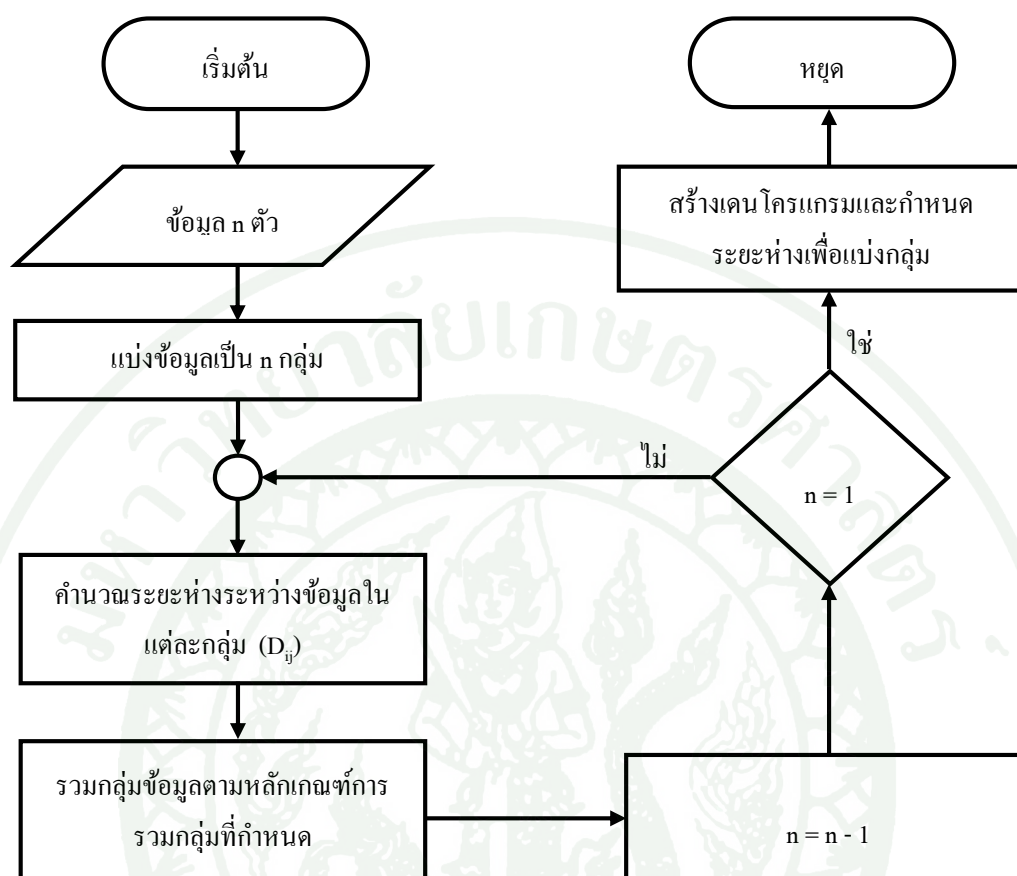
ภาพที่ 5 การรวมกลุ่มแบบ Median Clustering

6) Ward Linkage คือ การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรในกลุ่ม หลังจากนั้นจะคำนวณหาความห่างยูคลิเดียนกำลังสอง (square euclidean distance) จากค่าเฉลี่ยของกลุ่มของแต่ละสมาชิก แล้วจึงรวม 2 กลุ่มข้อมูลที่ทำให้ค่าระยะห่างของผลรวมกำลังสองภายในกลุ่มเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$d(a, b) = \left(\frac{n_a n_b}{n_a + n_b} \right)^{\frac{1}{2}} \text{dist} \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_a} x_{ai}}{n_a}, \frac{\sum_{j=1}^{n_b} x_{bj}}{n_b} \right) \quad (11)$$

โดยที่ x_{ai} แทนข้อมูลหน่วยที่ i กลุ่ม a
 x_{bj} แทนข้อมูลหน่วยที่ j กลุ่ม b
 n_a แทนจำนวนข้อมูลในกลุ่ม a
 n_b แทนจำนวนข้อมูลในกลุ่ม b

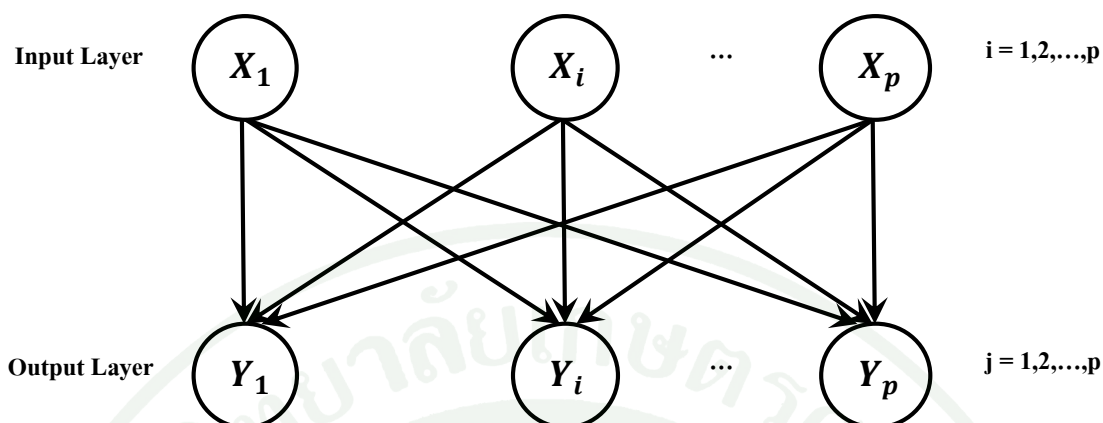


ภาพที่ 6 ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบลำดับขั้นประเภทการเกาะกลุ่ม

ที่มา: ปิยธิดา (2552)

2) วิธีจัดระบบด้วยตัวเองของโคโฮเนน (Kohonen's Self-Organizing Maps method, SOM)

วิธีจัดระบบด้วยตัวเองของโคโฮเนน ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1982 โดยได้แนวคิดมาจากอัลกอริทึมระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks Algorithm) มีความสามารถคล้ายคลึงกับระบบสมองของมนุษย์ เช่น ด้านการพยากรณ์ ขั้นตอนของการเรียนรู้คือการอาศัยข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต วิธีจัดระบบด้วยตนเองของโคโฮเนนเป็นระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่มีเพียง 2 ชั้น คือ ชั้นนำเข้าข้อมูล (Input Layer) และชั้นผลลัพธ์ที่ได้ (Output Layer) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การทำงานของระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ SOM

วิธีจัดระบบด้วยตนเองของโคโฮเนนเป็นระบบโครงข่ายประสาทเทียมนี้เป็นการทำซ้ำข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูล เพื่อหาค่าของน้ำหนักของข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดตามจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่ง และขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการจัดกลุ่มโดยวิธีจัดระบบด้วยตนเองของโคโฮเนน

ขั้นตอนที่	วิธีจัดระบบด้วยตนเองของโคโฮเนน
1	สุ่มน้ำหนัก (w) ให้กับข้อมูล โดยกำหนดให้ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (α) มีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 0
2	เลือกข้อมูลนำเข้า เพื่อคำนวณค่าระยะห่างของข้อมูลกับน้ำหนัก (D_j) ดังสมการ
3	เปรียบเทียบค่าระยะห่างของข้อมูลกับน้ำหนัก (D_j) ของแต่ละกลุ่ม ว่าค่าของกลุ่มใดมีค่าน้อยที่สุด
4	นำข้อมูลของกลุ่มที่มีค่าระยะห่างน้อยที่สุดมาคำนวณหาน้ำหนักใหม่ดังสมการ
5	ปรับค่า α
6	ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 จนกว่าจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนัก (w)

คำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลกับน้ำหนักได้ดังนี้

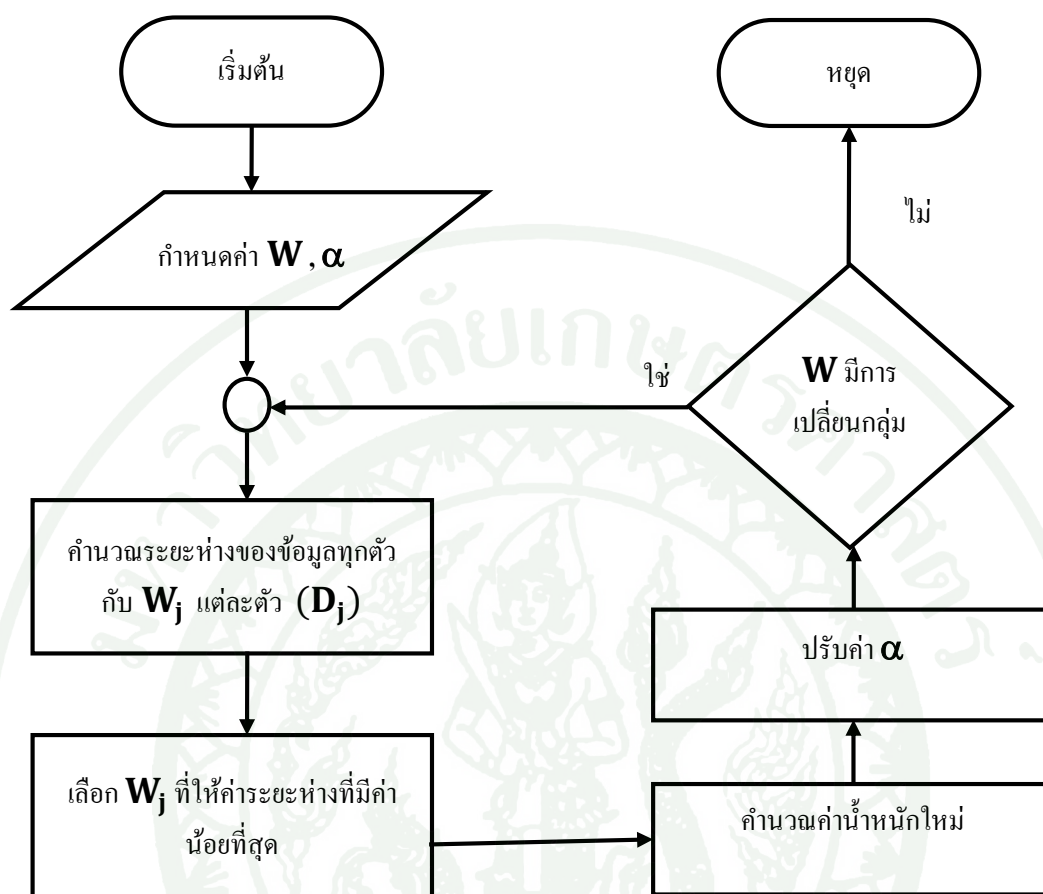
$$D_j = \sqrt{\sum_{i=1}^p (W_{ij} - x_i)^2} \quad ; j = 1, 2, \dots, k \quad (12)$$

โดยที่ D_j แทนระยะทางระหว่างข้อมูลกับค่าน้ำหนัก
 W_{ij} แทนน้ำหนักของข้อมูลกลุ่มที่ j ตัวแปรที่ i
 x_i แทนค่าของข้อมูลในตัวแปรที่ i
 p แทนจำนวนกลุ่มทั้งหมด

และสามารถคำนวณน้ำหนักใหม่ ได้ดังนี้

$$W_{ij}(\text{new}) = W_{ij}(\text{old}) + \alpha(x_i - W_{ij}(\text{old})) \quad (13)$$

โดยที่ $W_i(\text{new})$ แทนค่าน้ำหนักใหม่ของกลุ่มที่ j ตัวแปรที่ i
 $W_{ij}(\text{old})$ แทนน้ำหนักเก่าของข้อมูลกลุ่มที่ j ตัวแปรที่ i
 x_i แทนค่าของข้อมูลในตัวแปรที่ i
 α แทนค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้มีค่าอยู่ในช่วง
 0 ถึง 1



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการจัดกลุ่มโดยวิธีจัดระบบด้วยตนเองของโคโฮเนน

ที่มา: ปิยธิดา (2552)

3) อัลกอริทึมจัดกลุ่มแบบเคมีน (K – Means Cluster Analysis)

อัลกอริทึมจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-Means Cluster Analysis) หรือที่เรียกอีกอย่างว่า การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis) หรือ การแบ่งส่วน (Partioning) โดยสมาชิกแต่ละตัวภายในกลุ่มจะมีระยะใกล้จุดศูนย์กลางหรือตัวแทนของกลุ่ม (Centroid) นั้นมากที่สุด ซึ่งขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมจัดกลุ่มแบบเคมีนนี้นั้น ประกอบด้วย การกำหนดจำนวนกลุ่มเริ่มต้น การสุ่มตัวแทนกลุ่ม การจัดข้อมูลแต่ละตัวเข้ากลุ่ม และการปรับปรุงตัวแทนกลุ่มในแต่ละกลุ่ม สรุปขั้นตอนได้ดังนี้

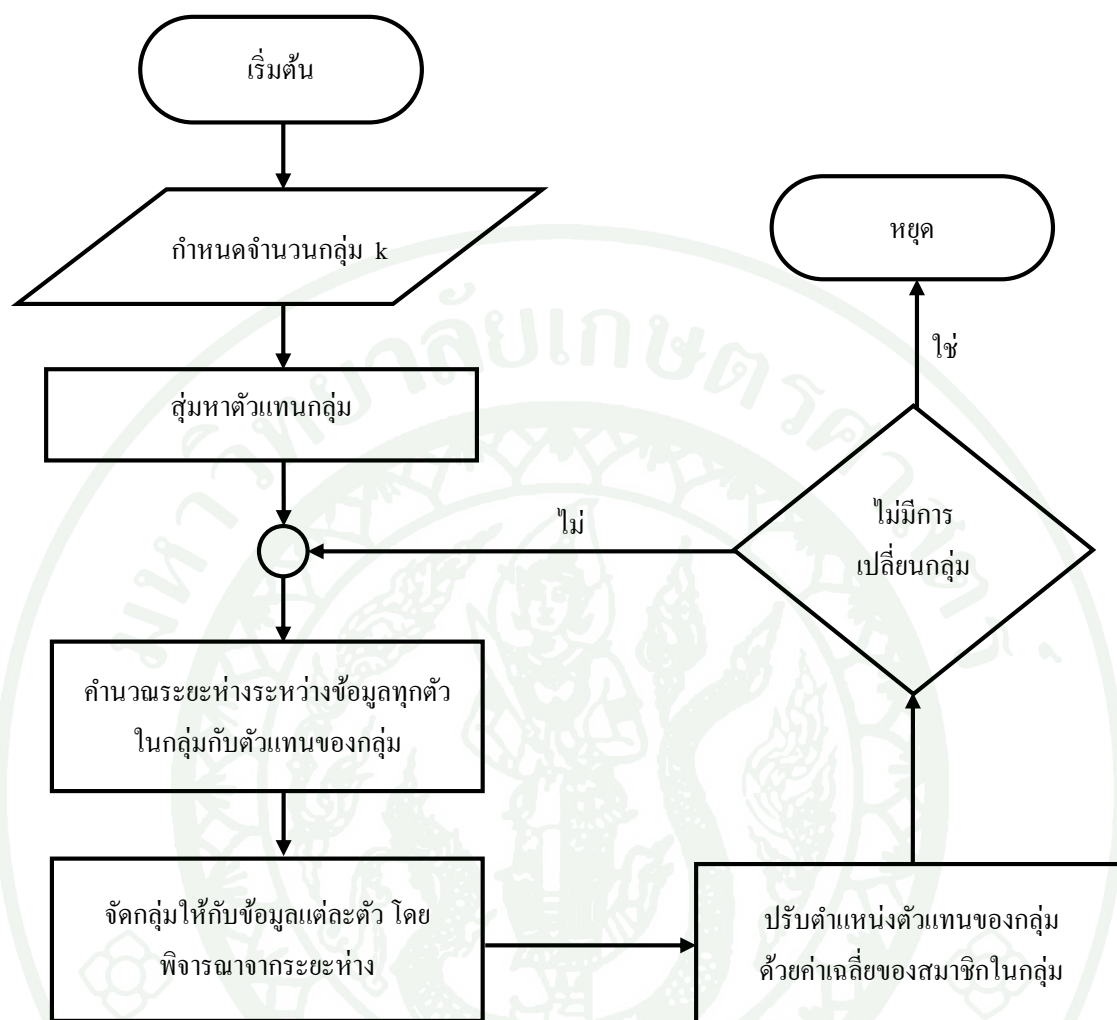
ตารางที่ 3 ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means Cluster Analysis)

ขั้นตอนที่	อัลกอริทึมจัดกลุ่มแบบเคมีน
1	กำหนดจำนวนกลุ่ม (k) ที่ต้องการจะแบ่ง
2	สุ่มจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม
3	คำนวณระยะห่างของข้อมูลทุกตัวกับตัวแทนของกลุ่มในแต่ละกลุ่มว่าข้อมูลตัวนั้นสมควรที่จะจัดให้อยู่ในกลุ่มใด โดยพิจารณาระยะห่างที่น้อยที่สุด
4	ปรับปรุงจุดศูนย์กลางของข้อมูลแต่ละกลุ่มใหม่ โดยคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลภายในแต่ละกลุ่ม เพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มใหม่
5	ทำขั้นตอนที่ 3 และ 4 ซ้ำ จนกระทั่งสมาชิกทุกตัวภายในกลุ่มในแต่ละกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปยังกลุ่มอื่นๆ

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภายในกลุ่ม คำนวณได้ดังนี้

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} x_{ij} \quad ; i = 1, 2, \dots, n_i ; j = 1, 2, \dots, k \quad (14)$$

โดยที่ n_i แทนจำนวนข้อมูลในกลุ่มแต่ละครั้งของการแบ่งกลุ่ม
 x_{ij} แทนข้อมูลหน่วยที่ i กลุ่มที่ j
 $\bar{x}_j$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลในกลุ่มที่ j
 k แทนจำนวนกลุ่มทั้งหมด



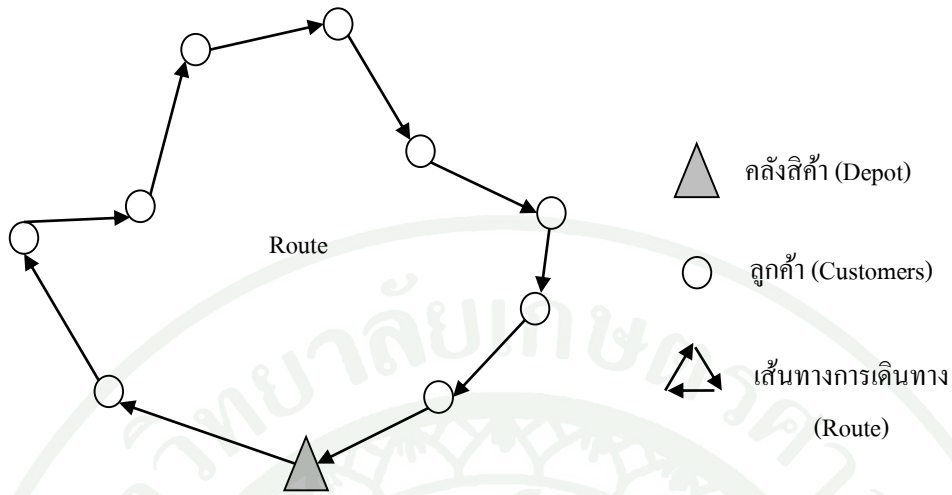
ภาพที่ 9 ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means Cluster Analysis)

ที่มา: ปิยธิดา (2552)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่ง

2.2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) เป็นรูปแบบหนึ่งของวิธีในการดำเนินการแก้ปัญหาการขนส่ง ที่มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาเส้นทางที่ทำให้การเดินทางไปยังลูกค้าทุกคนนั้นมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุด โดยที่ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากพนักงานขายเพียงครั้งเดียว (สุทธิชา และ เสรี, 2554)



ภาพที่ 10 องค์ประกอบของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

โดยแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

Minimize

$$\sum_{i,j \in N} X_{ij} D_{ij} \quad (15)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (16)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (17)$$

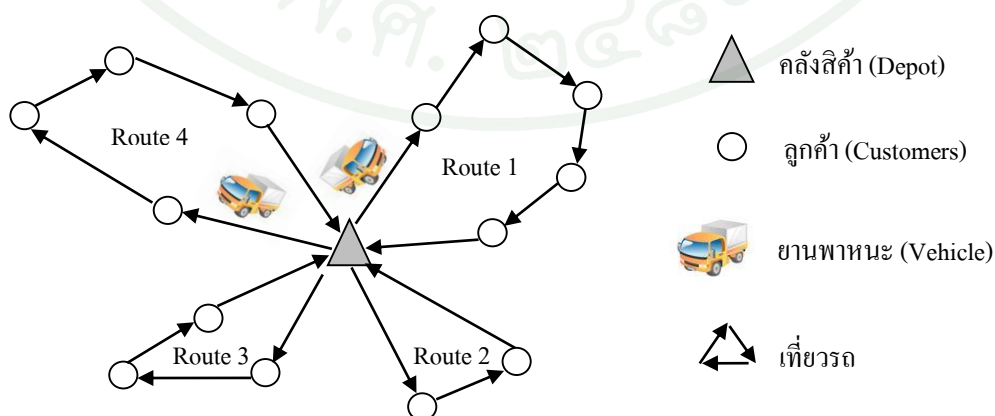
$$\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1 \quad S \subset N, 2 \leq |S| \leq n - 2 \quad (18)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad (19)$$

โดยที่	N	แทน	จำนวนลูกค้าทั้งหมด ; $N=\{0,1,2,3,...,n\}$
	n	แทน	จำนวนลูกค้า
	S	แทน	จำนวนลูกค้าที่อยู่ในเส้นทาง
	i,j	แทน	ลูกค้ารายที่ i หรือ j $i,j = 1,2,2,...,n$
	D_{ij}	แทน	ระยะทางจากตำแหน่ง i ไปยังตำแหน่ง j
	X_{ij}	แทน	$\begin{cases} 1 & \text{เมื่อมีการเดินทางจาก ตำแหน่ง } i \text{ และ } j \\ 0 & \text{เมื่อไม่มีการเดินทางจาก ตำแหน่ง } i \text{ และ } j \end{cases}$

2.2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ถูกกล่าวถึงครั้งแรกตั้งแต่ปีค.ศ.1959 โดย Dantzing and Ramser ซึ่งพัฒนามาจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) โดยเพิ่มข้อจำกัดในการขนส่งต่างๆเข้าไป เช่น ความจุ (Capacity) หรือระยะทาง (distance) ในการขนส่งแต่ละเที่ยว ดังนั้น ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะจึงเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเดินทางไปยังจุดขนส่งสินค้าที่กระจายอยู่หลายๆจุด เริ่มจากท่ารถหรือคลังสินค้าไปยังจุดรับในที่แตกต่างกัน โดยที่จุดรับในแต่ละจุดสามารถรับบริการได้เพียงครั้งเดียว และปริมาณความต้องการของจุดรับในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินความจุของรถหรือยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง และมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้มีความใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางรวมน้อยที่สุด ซึ่งการจัดเส้นทางการการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นานี้จัดว่าเป็นปัญหาแบบ VRP เหมือนกัน เนื่องจากจะต้องหาเส้นทางในการเดินทางเพื่อจะเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดหรือเหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 11 องค์ประกอบของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

โดยแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

Minimize

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} D_{ij} X_{ij}^v \quad (20)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v \quad (j = 2, \dots, n) \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v \quad (i = 2, \dots, n) \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ip}^v - \sum_{i=1}^n X_{pj}^v = 0 \quad (v = 1, \dots, NV ; p = 1, \dots, n) \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left(\sum_{j=1}^n X_{ij}^v \right) \leq Q_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (23)$$

$$\sum_{j=2}^n X_{1j}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (24)$$

$$\sum_{i=2}^n X_{i1}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (25)$$

$$X \in S \quad (26)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad (27)$$

โดยที่	NV	แทน	จำนวนยานพาหนะ
	n	แทน	จำนวนลูกค้า
	Q_v	แทน	ความจุของยานพาหนะ
	D_{ij}	แทน	ระยะทางจากตำแหน่ง j ไปยังตำแหน่ง i
	d_i	แทน	ปริมาณความต้องการของลูกค้า
	i, j	แทน	ลูกค้ารายที่ i หรือ j $i, j = 1, 2, \dots, n$
	D_{ij}	แทน	ระยะทางจากตำแหน่ง j ไปยังตำแหน่ง i
	X_{ij}	แทน	$\begin{cases} 1 & \text{เมื่อมีการเดินทางจาก ตำแหน่ง i และ j} \\ 0 & \text{เมื่อไม่มีการเดินทางจาก ตำแหน่ง i และ j} \end{cases}$

2.2.3 วิธีการแก้ปัญหการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

Dantzing and Ramser (1959) กล่าวว่าปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะเป็นปัญหาในส่วนของการขนส่ง และกระบวนการกระจายสินค้า ถ้าหากมีการจัดการและแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพจะสามารถลดต้นทุนลงได้ อยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 20 ของต้นทุนค่าขนส่งทั้งหมด โดยวิธีการในการแก้ปัญหการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่นิยม มีดังนี้

1) วิธีหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method)

วิธีการนี้จะทำการคำนวณแก้ไขปัญหามากมายที่สามารถเป็นไปได้ จนกว่าจะพบผลเฉลยที่ดีที่สุด เนื่องจากการปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะเป็นปัญหาโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) การแก้ปัญหานั้นมีหลายวิธี เช่น Branch and Bound ซึ่งเหมาะสมกับปัญหา VRP ที่มีจำนวนลูกค้าไม่เกิน 100 จุด, วิธี Branch and Cut, วิธี Column Generation เป็นต้น Laporte (1992) กล่าวว่าข้อด้อยของวิธี Exact Method คือ เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น วิธีการนี้อาจไม่สามารถรับประกันการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ และวิธีดังกล่าวนี้จะใช้เวลาในการคำนวณเป็นเวลานาน หรือต้องการคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้เหมาะกับการแก้ปัญหามีขนาดเล็ก

2) วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics Method)

เป็นวิธีที่กำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมาเพื่อใช้แก้ไขปัญหา ข้อดีของวิธีฮิวริสติกส์ คือ สามารถแก้ปัญหาได้รวดเร็วและสามารถใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ แม้ผลเฉลยที่ได้จะไม่ใช่ว่าผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ก็ยังเป็นผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกส์นั้น มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น

1. Saving Algorithm ถูกนำเสนอโดย Clarke and Wright ในปี 1964 เป็นอัลกอริทึมแบบประหยัดของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว ไปยังลูกค้าต่างๆ โดยพิจารณาหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมจากระยะทางที่ประหยัดที่สุด ของแต่ละคู่ของลูกค้า

2. ขั้นตอนวิธีการ 2 ช่วง (Two-Phase Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการที่แบ่งปัญหา VRP ออกเป็น 2 ส่วน คือ การแบ่งกลุ่มลูกค้าเข้าสู่เส้นทางที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไข และการจัดลำดับเส้นทางเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ขั้นตอนวิธีการนี้แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

2.1 การจัดกลุ่มจัดรับสินค้าก่อนแล้วจึงจัดเส้นทางเดินรถ (Cluster First-Route Second) เป็นการจัดเส้นทางเดินรถโดยเริ่มจากการกำหนดกลุ่มลูกค้าก่อน โดยใช้ความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นตัวกำหนด แล้วจึงจัดลำดับเส้นทางในการจัดส่งสินค้าที่เหมาะสม ซึ่งเทคนิคนี้มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การจัดกลุ่มแบบกวาด (Sweep Algorithm) การจัดกลุ่มแบบกลีบดอกไม้ม้วน (Petal Algorithm) เป็นต้น

2.2 การจัดเส้นทางเดินรถก่อนแล้วจึงแบ่งกลุ่มรับสินค้า (Route First-Cluster Second) เป็นการจัดเส้นทางเดินรถโดยเริ่มจากการหาเส้นทางที่เชื่อมระหว่างลูกค้าแต่ละรายที่เหมาะสมก่อน แล้วจึงแบ่งเส้นทางที่ได้ออกเป็นหลายเส้นทางย่อย ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ เช่น ความจุของรถ, ระยะเวลาในการขนส่ง เป็นต้น วิธีการนี้ในปี 1983 Golden et al. ได้นำมาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ปัญหา VRP ในกรณีที่มีรถขนส่งหลายขนาด

วิธีฮิวริสติกส์เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจ ในแต่ละปัญหา วิธีฮิวริสติกส์ที่มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของปัญหานั้น ไม่อาจสามารถหา

ผลเฉลยในปัญหาอื่นๆ ได้ หรือแม้กระทั่งการนำไปใช้หาผลเฉลยของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาที่เปลี่ยนแปลงไป

3) วิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta Heuristics Method)

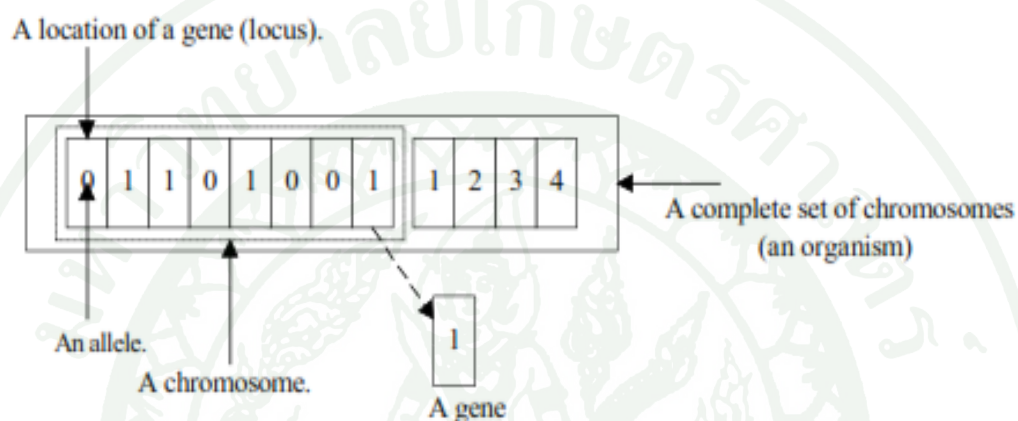
วิธีเมตาฮิวริสติกส์ นี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกส์ให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยมีระเบียบวิธีในการค้นหาผลเฉลยของปัญหาที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (ระพีพันธุ์, 2554) ถึงแม้ผลเฉลยอาจจะไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุด แต่ผลเฉลยที่ได้เป็นที่ยอมรับและใช้เวลาในการคำนวณหาผลเฉลยภายในระยะเวลาอันสั้น จึงเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในงานวิจัยทุกแขนง และวิธีที่ได้รับความนิยมในการแก้ไขปัญหา VRP ได้แก่ วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (Simulated Annealing Algorithm) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีระบบอนาณิกมมด (Ant Colony Algorithm) และวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นต้น

2.3 วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ถูกคิดค้นขึ้นโดย John Holland และคณะเมื่อปี ค.ศ.1975 ซึ่งเป็นแนวความคิดการค้นหาคำตอบบนพื้นฐานของกลไกการคัดเลือกทางธรรมชาติ (natural selection) และธรรมชาติของพันธุศาสตร์ (natural genetic) (Goldberg, 1989) โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมนี้ เป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ที่จำลองการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตมาไว้ในกลไกของวิธีการ เพื่อให้มีการคัดเลือkcำตอบที่ดีหรือไม่ดี และมีวิวัฒนาการจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด (ระพีพันธุ์, 2554)

เนื่องจากวิธีการเชิงพันธุกรรมมีพื้นฐานมาจากระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตทางชีววิทยา ดังนั้นคำศัพท์ที่ใช้จึงเป็นคำศัพท์ที่ใช้ทางด้านชีววิทยา วิธีการเชิงพันธุกรรมนี้จะเริ่มจากการสุ่มประชากรที่ถูกเข้ารหัสเป็นสายอักขระ (String) หรือในทางชีววิทยาจะเรียกว่า โครโมโซม (Chromosome) โดยที่โครโมโซมนี้จะใช้สำหรับแทนคำตอบที่ได้จากปัญหา โดยในแต่ละโครโมโซมจะประกอบไปด้วยกลุ่มของอักขระ (Characters) หรือยีน (Gene) โนแต่ละยีนจะอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนของโครโมโซมที่เรียกว่า โลคัส (Locus) และสถานะของยีน ณ ตำแหน่งที่

แน่นอนบนโครโมโซมนั้นเรียกว่า อัลลีล (Allele) โดยลักษณะที่เฉพาะของโครโมโซมที่ถูกเข้ารหัสเหล่านี้เรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) ของคำตอบ และเมื่อมีการถอดรหัสโครโมโซมแล้วจะได้คำตอบที่แท้จริงของปัญหานั้น เรียกว่า ฟิโนไทป์ (Phenotype) ของคำตอบ ดังนั้นเราสามารถอธิบายองค์ประกอบต่างๆของโครโมโซมได้ดังภาพที่ 1 และสามารถเปรียบเทียบคำศัพท์ที่ใช้ในทางชีววิทยาและศัพท์ทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรมได้ ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 12 องค์ประกอบของโครโมโซม

ที่มา: วนิดา และ สุภชัย (2546)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างคำศัพท์เฉพาะทางชีววิทยาและศัพท์ทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรม

คำศัพท์เฉพาะทางชีววิทยา	ศัพท์ที่ใช้ในวิธีการเชิงพันธุกรรม
Chromosome	String or Code of a solution
Gene	Character or Encoding
Allele	A binary or digit number
Locus	A location of a gene
Genotype	Fitness or a value of an objective function
Phenotype	A series of decision variables

ที่มา: วนิดา และ สุภชัย (2546)

2.3.1 องค์ประกอบหลักของวิธีการเชิงพันธุกรรม

1) การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) เป็นขั้นตอนการออกแบบโครโมโซมเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาจริง โดยในขั้นตอนนี้ต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดว่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหามีอะไรบ้าง เพื่อจะได้นำตัวแปรเหล่านั้นมากำหนดเป็นลักษณะของโครโมโซม ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งโครโมโซมที่ได้นี้จะคำตอบของปัญหานั้นเอง

รูปแบบโครโมโซมที่ได้จากปัญหาในการถอดรหัสจะขึ้นอยู่กับปัญหา ซึ่งในปัจจุบันมีปัญหาหลากหลายรูปแบบ จึงทำให้รูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามปัญหานั้นๆ ได้แก่

1.1) Binary Encoding เป็นรูปแบบโครโมโซมเริ่มแรกที้นำมาใช้แก้ไขปัญหของวิธีการเชิงพันธุกรรม ลักษณะของรูปแบบโครโมโซมนี้คือ ทุกตำแหน่งยีนบนโครโมโซมมีค่าเป็น bit 0 หรือ 1 เท่านั้น

Chromosome A	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Chromosome B	1	1	1	0	1	0	0	0	1

ภาพที่ 13 ลักษณะของโครโมโซมแบบ Binary Encoding

1.2) Value Encoding หรือ Direct Encoding เป็นรูปแบบโครโมโซมที่ใช้เลขจำนวนจริง คำสั่ง หรือใช้ตัวอักษรที่เป็นตัวแทนของคำตอบจริงๆมาใช้ในการแทนค่าในโครโมโซม รูปแบบโครโมโซมแบบนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อนได้

Chromosome A	1.2	2.4	3.5	5.6	7.2	8.8	9.3
Chromosome B	A	B	R	D	H	K	L
Chromosome C	Back	Right	Left	Green	Red	Forward	Black

ภาพที่ 14 ลักษณะของโครโมโซมแบบ Value Encoding

1.3) Permutation Encoding เป็นรูปแบบโครโมโซมที่ใช้เป็นตัวเลขทั่วไป ซึ่งตัวเลขแต่ละตัวบอกลำดับขั้นตอนในการทำงาน

Chromosome A	3	7	5	2	4	5	9	8	1
Chromosome B	1	3	7	8	5	4	2	9	6

ภาพที่ 15 ลักษณะของโครโมโซมแบบ Permutation Encoding

2) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) เป็นการสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยประชากรกลุ่มแรกหรือประชากรเริ่มต้นจะเกิดจากการสุ่มประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ขึ้นมา เพื่อให้ได้ประชากรต้นแบบจำนวนหนึ่ง โดยจำนวนของประชากรต้นแบบที่สร้างขึ้นมานี้เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องตั้งขึ้นมาก่อนที่จะเริ่มกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยในการสุ่มเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้

3) ฟังก์ชันวัดค่าความเหมาะสม (Fitness Function) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness value) ของแต่ละโครโมโซม เปรียบเสมือนกับค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม กล่าวได้ว่าโครโมโซมทุกตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตัวเองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่า โครโมโซมตัวนั้นเหมาะสมที่ถูกคัดเลือกนำมาใช้ในการสืบทอดพันธุกรรม สำหรับสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่หรือไม่ โดยฟังก์ชันวัดค่าความเหมาะสมนั้นจะใช้สมการที่สอดคล้องกับแต่ละปัญหา

4) ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator) เป็นตัวดำเนินการต่างๆ เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดจากประชากรรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง ได้แก่ การคัดเลือก (Selection), การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) และการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation)

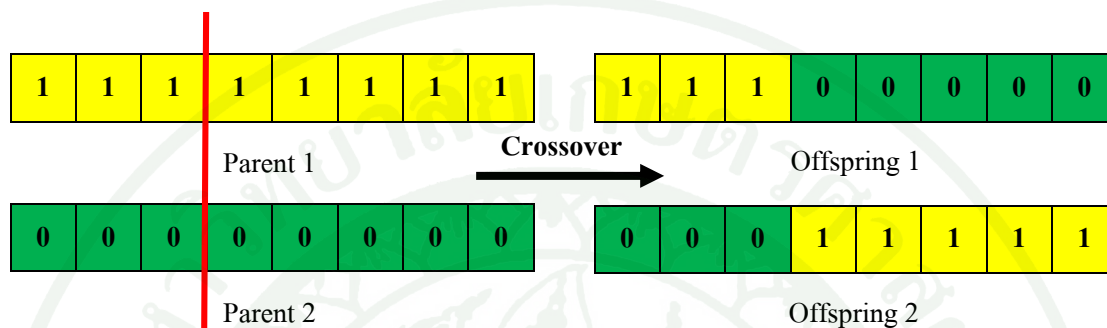
4.1) การคัดเลือก (Selection) เป็นการคัดเลือกเพื่อให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต ซึ่งวิธีการเชิงพันธุกรรมนี้จะมีกลไกการทำงานที่ต้องการให้โครโมโซมที่มีความเหมาะสมสามารถสืบทอดไปยังรุ่นต่อไปได้โดยใช้กระบวนการคัดเลือก รูปแบบของการคัดเลือกโครโมโซมนั้นมีมากมาย ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้ในการคัดเลือกลักษณะนี้มี 2 รูปแบบ ได้แก่ Roulette Wheel Selection และ Stochastic Universal Sampling Selection สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

(1) Roulette Wheel Selection เป็นรูปแบบการคัดเลือกที่ง่ายที่สุด โดยรูปแบบการคัดเลือกนี้สามารถเปรียบเทียบกับได้กับวงล้อ Roulette ที่มีช่อง Slot ซึ่งจะมีความไม่เท่ากัน โดยช่อง Slot ที่มีขนาดใหญ่จะเทียบได้กับโอกาสของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสม (Fitness value) มาก และทำให้มีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกไปสู่รุ่นถัดไปได้มาก ในขณะที่ช่อง Slot ที่มีขนาดเล็กจะเทียบได้กับโอกาสของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสม (Fitness value) น้อย และทำให้มีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกไปสู่รุ่นถัดไปได้น้อยนั่นเอง ซึ่งขนาดของช่อง Slot แต่ละช่องจะหาได้จากอัตราส่วนของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวกับค่าความเหมาะสมรวมของโครโมโซมทุกตัว ในการคัดเลือกแบบนี้จะเริ่มต้นจากการกำหนดจุดคงที่หนึ่งจุดแล้วจึงทำการหมุนวงล้อ Roulette โดยการสุ่ม เมื่อวงล้อ Roulette หยุดที่ช่อง Slot ใด โครโมโซมที่ใช้แทนที่ช่อง Slot นั้นจะถูกคัดเลือกไปสู่รุ่นถัดไป จากนั้นจะทำการหมุนวงล้อโดยการสุ่มต่อไปเพื่อคัดเลือกโครโมโซมจนครบตามจำนวนประชากรเริ่มต้น ข้อจำกัดของการคัดเลือกแบบนี้คือ จำนวนในการคัดเลือกจะต้องมีมากพอถึงจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากนั้นมีโอกาสที่จะถูกเลือกมาก ในทางตรงข้ามกันโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกน้อย เมื่อจำนวนครั้งของการหมุนวงล้อนี้ถูกจำกัดโดยจำนวนประชากรเริ่มต้นแล้ว ในกรณีที่ประชากรเริ่มต้นมีจำนวนน้อยการคัดเลือกจะไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากโอกาสที่ประชากรที่มีค่าความเหมาะสมน้อยอาจถูกเลือกได้เท่ากับหรือมากกว่าประชากรที่มีค่าความเหมาะสมมาก

(2) Stochastic Universal Sampling Selection เป็นรูปแบบการคัดเลือกที่ใช้แก้ไขปัญหาของการคัดเลือกแบบ Roulette Wheel Selection โดยรูปแบบการคัดเลือกนี้มีลักษณะที่คล้ายกับ Roulette Wheel Selection แต่จะต่างกันตรงที่การหมุนวงล้อเป็นมุมที่แน่นอนครั้งละ $360/n$ โดยที่ n คือจำนวนประชากรทั้งหมด การหมุนแบบมุมคงที่นี้จะทำให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสที่จะถูกเลือกมาก ในขณะที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกน้อย

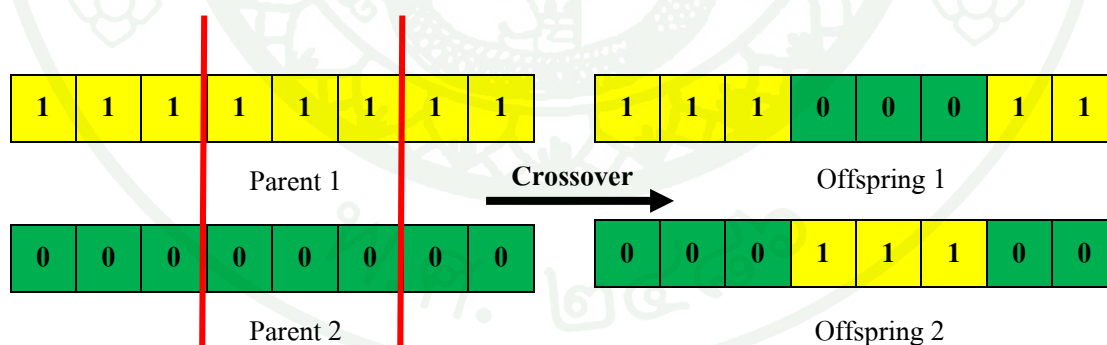
4.2) การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) เป็นกระบวนการที่สร้างโครโมโซมใหม่ (Offspring) ขึ้นมา โดยการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ (Parent) ที่ได้รับการคัดเลือก การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมสามารถทำได้หลายวิธี โดยขึ้นอยู่กับรูปแบบของโครโมโซมที่ใช้สำหรับปัญหานั้นๆ ซึ่งรูปแบบของการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมมีดังนี้

(1) การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover) เป็นการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมที่มีการสุ่มตำแหน่งจุดตัด (Crossover site) ขึ้นมาเพียง 1 ตำแหน่ง บนโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ เพื่อใช้เป็นจุดไขว้เปลี่ยน แล้วทำการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมกัน



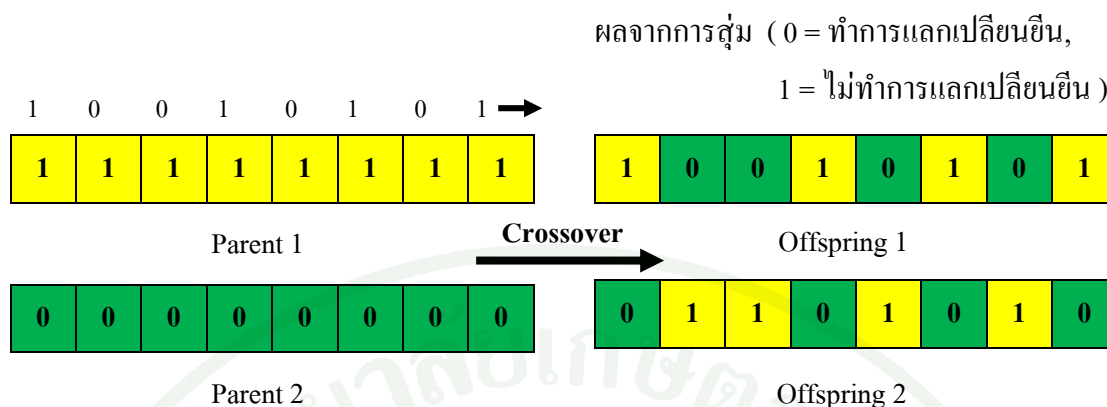
ภาพที่ 16 การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover)

(2) การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบสองจุด (Two Point Crossover) เป็นการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมที่มีการสุ่มตำแหน่งจุดตัด (Crossover site) ขึ้นมาเพียง 2 ตำแหน่ง บนโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ เพื่อใช้เป็นจุดไขว้เปลี่ยน แล้วทำการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมกัน



ภาพที่ 17 การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบสองจุด (Two Point Crossover)

(3) การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบ Uniform Crossover เป็นการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมที่พิจารณาโครโมโซมพ่อและแม่ที่ละอัลลีล (Allele) โดยใช้วิธีสุ่มหาความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนอัลลีลคู่หนึ่ง ถ้าอัลลีลใดได้รับอนุญาตให้แลกเปลี่ยนกันได้ อัลลีลของโครโมโซมพ่อก็จะมาแทนที่อัลลีลในโครโมโซมแม่ และอัลลีลของโครโมโซมแม่ก็จะมาแทนที่ในอัลลีลของโครโมโซมพ่อ

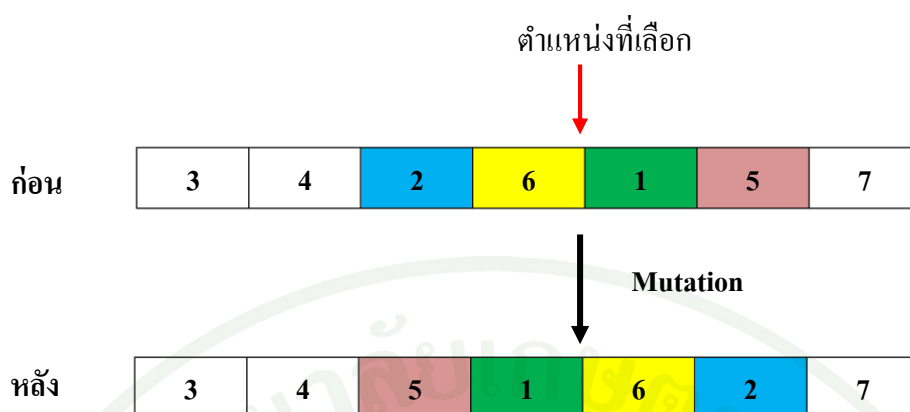


ภาพที่ 18 การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบ Uniform Crossover

สัดส่วนของประชากรที่จะมีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม สามารถกำหนดได้จากค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Probability crossover, P_c) โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมมีค่าประมาณ 0.6 - 0.95 ถ้าค่าที่สุ่มมามีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม จึงจะยอมให้เกิดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมขึ้น (ระพีพันธุ์, 2554)

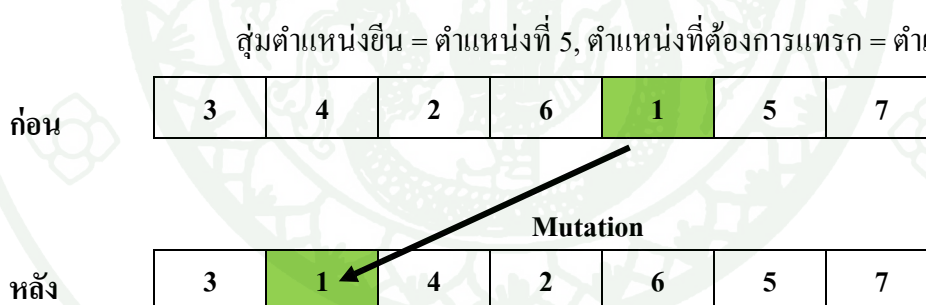
4.3) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซม (Mutation) เป็นการสร้างโครโมโซมใหม่ขึ้นมาโดยการเปลี่ยนแปลงค่ายีนบางยีนภายในโครโมโซมของตัวเอง โดยไม่ต้องอาศัยโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ (Parent) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมนี้จะเกิดขึ้นหลังจากการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) เสร็จสิ้น โดยจะทำการสุ่มประชากรที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงหลังจากการ Crossover แล้ว นำมาดำเนินการ Mutation ต่อไป ซึ่งการ Mutation ทางพันธุศาสตร์จะทำให้ได้ลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น ขั้นตอนของการ Mutation เริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการ Mutation แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้น การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมนี้มีหลายวิธี ดังนี้

(1) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมแบบอินเวอร์ส (Inversion Mutation) เป็นการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของยีนโดยสุ่มตำแหน่งที่จะทำการสลับ และเลือกจำนวนยีนที่ต้องการปรับเปลี่ยน จากนั้นทำการสลับปรับเปลี่ยนตำแหน่งของยีนภายในโครโมโซม เช่น มีการสุ่มตำแหน่งที่ 4 และจำนวนยีนที่ปรับเปลี่ยน เท่ากับ 4 การปรับเปลี่ยนจะเป็น ดังภาพที่ 19



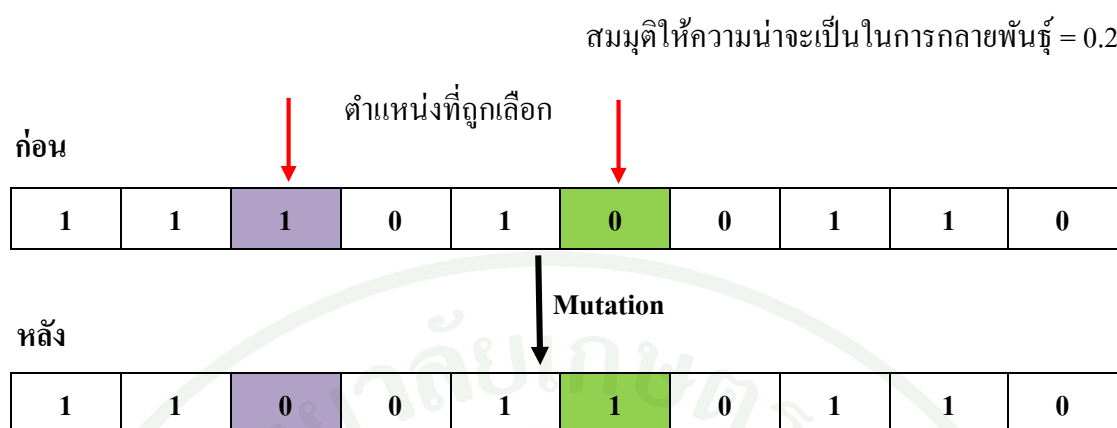
ภาพที่ 19 การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมแบบอินเวอร์ส (Inversion Mutation)

(2) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมด้วยการแทรก (Insertion Mutation) เป็นการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของยีนโดยการแทรก เริ่มจากกลุ่มตำแหน่งของยีนที่จะทำการย้าย และกลุ่มตำแหน่งที่ต้องการแทรก จากนั้นทำการย้ายยีนที่ถูกเลือกไปแทรกไว้ยังตำแหน่งที่ถูกเลือกภายในโครโมโซม



ภาพที่ 20 การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมด้วยการแทรก (Insertion Mutation)

(3) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมแบบ Binary Mutation เป็นการปรับเปลี่ยนโครโมโซมเลขฐานสอง เริ่มจากกลุ่มตำแหน่งของยีนที่จะปรับเปลี่ยน หลังจากนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนค่าของบิตของยีนภายในโครโมโซมนั้น



ภาพที่ 21 การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมแบบ Binary Mutation

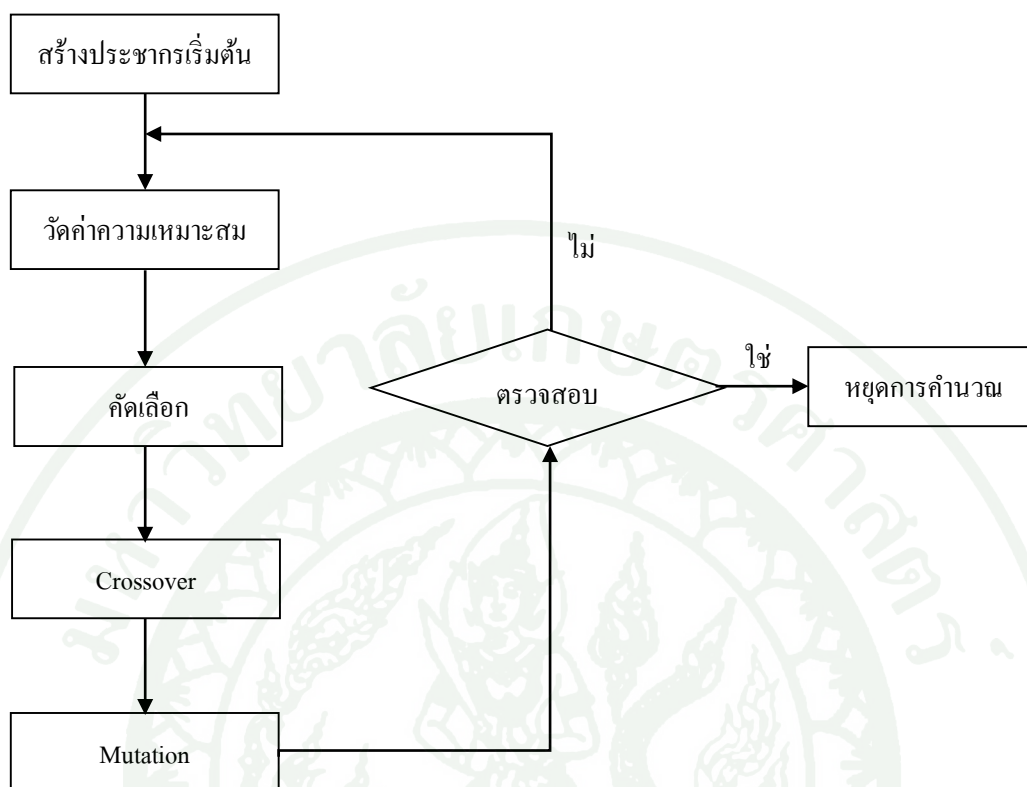
สัดส่วนของประชากรที่จะมีการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมสามารถกำหนดได้จากค่าความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Probability mutation, P_m) โดยทั่วไปค่าความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมจะถูกกำหนดไว้ในช่วง 0-1% ของจำนวนตำแหน่งภายในโครโมโซม หรือมีค่าอยู่ในช่วง 0-0.1 กล่าวคือถ้ามียีนในโครโมโซม 100 ยีน และมีความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีนเป็น 0.1 หมายความว่าจำนวนตำแหน่งยีนภายในโครโมโซมที่จะถูกปรับเปลี่ยนจากเดิมมีจำนวน 10 ตำแหน่ง การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมจะเกิดขึ้นได้เมื่อค่าที่สุ่มมามีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม จึงจะยอมให้เกิดการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมได้ และในกรณีที่ไม่มีค่าสุ่มมามีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม นั้นหมายความว่ามีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามในโครโมโซมอย่างเดียวน (ระพีพันธ์, 2554)

5) พารามิเตอร์ (Parameter) พารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการดำเนินงานต่างๆ ในวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ ขนาดของประชากร (Population size), ความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนยีนข้ามในโครโมโซม (Probability crossover), ความน่าจะเป็นของการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Probability mutation) และจำนวนรอบ เป็นต้น

2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithm) นี้ถูกอธิบายไว้โดย โกลด์เบิร์ก (Goldberg) ในปี ค.ศ.1989 ได้แสดงให้เห็นส่วนประกอบและกระบวนการพื้นฐานของวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ ซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ว่า

- 1) กระบวนการสร้างประชากร โดยเริ่มจากการสุ่มโครโมโซมจากกลุ่มของประชากรทั้งหมด ทำให้ได้ประชากรเริ่มต้น (Initial population)
- 2) คำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของแต่ละโครโมโซม โดยใช้ฟังก์ชันวัดค่าความเหมาะสม (Fitness function)
- 3) กระบวนการคัดเลือก (Selection)
- 4) กระบวนการสร้างประชากรรุ่นใหม่โดยใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม ได้แก่ การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) และการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation) ตามลำดับ
- 5) กระบวนการตรวจสอบเงื่อนไขคำตอบ ถ้าเจอคำตอบหรือตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ก็จะหยุดการทำงาน
- 6) ทำกระบวนการที่ 2 ถึง 5 ซ้ำ



ภาพที่ 22 ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม

การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis) สามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้ดี โดยมีจุดประสงค์เพื่อแบ่งกลุ่มข้อมูลหรือปัญหาออกเป็นกลุ่มๆ เพื่อให้ง่ายต่อการแก้ไขปัญหา จึงทำให้ทฤษฎีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย และงานวิจัยที่นำทฤษฎีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มมาประยุกต์ใช้มีดังนี้

สุทธิชา และ เสรี (2554) ศึกษาและวิจัยเพื่อสร้างและพัฒนาโปรแกรมการจัดขยะชุมชนในกรุงเทพมหานคร เพื่อวางแผนจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะชุมชนในกรุงเทพมหานคร โดยแบบจำลองที่ใช้มาจากการประยุกต์ทฤษฎี Vehicle Route Problem (VRP) โดยใช้วิธี Cluster First-Route Second Method ซึ่งทำการจัดกลุ่มจุดเก็บขยะให้กับรถเก็บขยะแต่ละคันก่อนจากนั้นก็

จัดเส้นทางเดินของรถขยะแต่ละคัน โดยใช้โปรแกรม Delphi 7 ในการพัฒนาโปรแกรม และใช้โปรแกรม SQL Server Express 2005 เป็นโปรแกรมจัดทำฐานข้อมูล พบว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์เส้นทางรถขยะ โดยทำการจัดกลุ่มรถขยะก่อนจากนั้นจึงจัดเส้นทางเดินรถขยะ ซึ่งสามารถนำข้อมูลและรายงานสรุปมาช่วยในการตัดสินใจวางแผนการเก็บขยะได้

วงศ์ (2551) ได้ศึกษาการจัดกลุ่มข้อมูลด้านความปลอดภัยของอาหารด้วยวิธีการแบบสองขั้นตอนโดยSOMและขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มตามคำสำคัญของการจัดเอกสารแบบสองขั้นตอน ระหว่างขั้นตอนวิธี SOM ซึ่งเป็นขั้นตอนทางโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการหาจำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหมาะสมกับข้อมูล จากนั้นนำจำนวนกลุ่มที่ได้มาทำการจัดกลุ่มเปรียบเทียบกันระหว่างขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) กับขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเค-มีน (K-Means) พบว่าการจัดกลุ่มที่ให้ผลการจัดกลุ่มที่ดีที่สุดคือ จำนวนกลุ่ม8 กลุ่ม และขั้นตอนวิธีที่ดีที่สุดคือ ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแบบ SOM และ Genetic Algorithm

3.2 การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (VRP) เป็นการจัดเส้นทางในการขนส่ง เพื่อหาเส้นทางที่มีระยะทางน้อยที่สุด ทำให้สามารถลดต้นทุนในด้านการขนส่งได้ โดยวิธีการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะนี้ มีหลากหลายวิธีและมีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เช่นงานวิจัยดังต่อไปนี้

ธารชุกดา และคณะ (2554) ได้ศึกษาการลดต้นทุนในการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และใช้โปรแกรม LINGO ในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (VRP) ภายใต้เงื่อนไขความต้องการของลูกค้าแต่ละรายที่แน่นอน และขนาดของการบรรทุกจำกัด เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าน้ำมันในการขนส่งของโรงงาน (กรณีศึกษา โรงงานอุบลลวดวาไรตี้ จ.อุบลราชธานี) พบว่าผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์และใช้โปรแกรม LINGO นี้ทำให้สามารถลดเส้นทางรถขนส่งได้ ซึ่งจากเดิมมีเส้นทางรถขนส่ง 8 เที่ยวต่อวัน ลดลงเหลือเพียง 7 เที่ยวต่อวันและทำให้สามารถลดระยะทางในการขนส่งจากเดิม 180.01 กิโลเมตรต่อวัน เหลือเพียง 143.39 กิโลเมตรต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่งพบว่า การจัดเส้นทางใหม่นี้จะช่วยประหยัดน้ำมันได้เดือนละ $20,791.2 - 16,561.5 = 4,229.7$ บาท ซึ่งคิดเป็นต้นทุนที่สามารถลดลงได้มากถึง 20.34 เปอร์เซ็นต์

บุริม และ พงษ์ชัย (2550) เสนอการวางแผนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพ ที่เกิดจากการวางแผนการใช้รถบรรทุกที่ไม่มีประสิทธิภาพ ไม่มีการกำหนดเลือกเส้นทางของรถบรรทุกแต่ละคัน รถบรรทุกจึงมาถึงโรงงานพร้อมกัน และทำให้เกิดปัญหาการรอคอยที่ยาวนาน ทำให้รถบรรทุกไม่สามารถไปรับอ้อยได้หลายเที่ยวตามประสิทธิภาพที่ควรจะทำให้ จึงทำการศึกษาหาแนวทางในการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ในพื้นที่ตัวอย่าง โดยใช้วิธี Saving Algorithm ในการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม Excel จากการศึกษาพบว่าจำนวนเที่ยวรถบรรทุกที่ต้องเดินทางไปเก็บอ้อยทั้งหมดเท่ากับ 26 เที่ยว ระยะทางรวม 233.27 กิโลเมตร เมื่อเทียบกับการวางแผนเส้นทางที่วิ่งที่ได้จากการกำหนดแบบสุ่ม สามารถลดระยะทางลงจากเดิมได้ถึง 39.25 กิโลเมตร ทำให้ประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้นถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนในการขนส่งลดลงด้วย

ธารชดา และคณะ (2554) เสนอว่าในความเป็นจริงลูกค้ามักมีความต้องการที่ไม่แน่นอนอยู่ตลอดเวลาทำให้การนำเส้นทางที่ได้ออกมาไว้ไปใช้ได้ยากในทางปฏิบัติ และได้เสนอความคิดเห็นว่าหากมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้รูปแบบของปัญหาสำหรับลูกค้าที่มีความต้องการไม่แน่นอน และอาจใช้เทคนิคอื่นๆ ในการแก้ปัญหา เช่น Simulation Heuristics และ Metaheuristics เพื่อให้สามารถวางแผนจัดเส้นทางได้ตรงตามความต้องการและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จิตินันท์ และ ระพีพันธุ์ (2554) ได้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหการจัดเส้นทางยานพาหนะกรณีศึกษาบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด จ.อุบลราชธานี โดยการประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมด และการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี Crossover Move และ 2-opt เพื่อจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะให้เหมาะสม พบว่าให้ผลเฉลยของระยะทางต่ำที่สุด โดยสามารถลดระยะทางจากเดิม 584.246 กิโลเมตร เป็น 443.477 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 24.09 เปอร์เซ็นต์

อุบลรัตน์ (2551) ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ เพื่อให้ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด และนำเสนอวิธีแก้ไขปัญหโดยใช้อัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) ในการจัดกลุ่มให้ลูกค้า และจัดเรียงลำดับของลูกค้าในแต่ละเส้นทาง โดยใช้วิธี Arbitrary Insertion ในการหาผลเฉลยเบื้องต้น จากนั้นจึงนำหลักการของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลย โดยใช้โปรแกรม Mathematica เป็นเครื่องมือในการประมวลผล พบว่าค่าที่ผ่านกระบวนการ Arbitrary Insertion แล้วระยะทางในระบบจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นเส้นทางจะถูกปรับปรุงโดยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมอีกครั้งหนึ่ง ค่าที่ได้จะ

ลดลงจากวิธี Arbitrary Insertion ในระดับหนึ่ง เนื่องจากค่าที่ใช้ในการคำนวณในอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนี้ถูกจำกัดโครงสร้างไว้

อุดม (2554) ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อการค้าให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด จึงได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสม โดยมีการใช้วิธีสลับสายพันธุ์ 4 วิธี และใช้วิธีกลายพันธุ์โดยการสลับคู่แบบสุ่ม พบว่า วิธี PBX (Position-Based Crossover) และวิธี PMX (Partially Matched Crossover) สามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมกว่าเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และมีค่าใช้จ่ายลดลงกว่าเดิม

สร้อยสุดา และ ธารธร (2550) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการบริหารจัดการการขนส่ง ในการแก้ปัญหานี้ใช้วิธี Saving Matrix เปรียบเทียบกับวิธีการประยุกต์หลักการเชิงพันธุกรรม พบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมให้ผลลัพธ์ที่เป็นระยะทางเดินทางของรถในการจัดส่งรวมน้อยกว่าวิธี Saving Matrix และใช้เวลาในการประมวลผล (500 รุ่น จำนวน 10 ครั้ง) เฉลี่ยเพียง 52 วินาที ดังนั้นวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถช่วยในการจัดเส้นทางและกำหนดตารางการขนส่งได้เป็นอย่างดี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาคสนาม กล้องบันทึกภาพ เทปวัดระยะทาง
2. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
 - ระบบปฏิบัติการ Windows 7 Home Premium
 - หน่วยประมวลผลกลาง Intel(R) Core(TM) CPU 2.5 GHz
 - หน่วยความจำ 4 GB
3. โปรแกรม Microsoft Excel 2013

วิธีการ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดลำดับเส้นทางของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล

จึงได้ทำการศึกษาภาคสนามและทดสอบความสามารถเชิงไร่ของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย พร้อมทั้งศึกษาตัวแปรด้านเวลาที่เกี่ยวข้อง จากนั้นได้จัดการเตรียมข้อมูล และใช้วิธีแบบมอดัลคาร์โลในการจำลองข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวของชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) ขึ้นมา หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองมาทำการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับเส้นทางเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) โดยใช้หลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหานี้ โดยใช้วิธีการ Evolutionary ใน Solver ซึ่งโปรแกรมย่อย (Add-in) หนึ่งของ โปรแกรม Microsoft Excel เวอร์ชัน 2013 เพื่อหาคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการจัดลำดับเส้นทางของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าว ตามแผนของการจัดลำดับเส้นทางที่ได้ออกแบบขึ้นมา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิเคราะห์หาโครงสร้างด้านโลจิสติกส์ในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล เช่น

- ขั้นตอนของกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล

- เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย)

2. ศึกษาข้อมูลด้านปริมาณของชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย)

- ปริมาณชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (กิโลกรัม/ไร่)

3. ศึกษาตัวแปรด้านเวลาที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลทางการเกษตรในกระบวนการดังกล่าว

4. ทดสอบความสามารถเชิงไร่และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักรกลเกษตรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา

5. ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนและการลงทุนของกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย)

5.1 ต้นทุนดำเนินการของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย

5.2 ต้นทุนรวมของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย

5.3 วิเคราะห์การลงทุนของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย

6. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาข้างต้น มาออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล โดยอาศัยหลักการดังต่อไปนี้

- ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP)
 - ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)
 - การวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (Cluster Analysis) โดยให้ผลรวมของค่าระยะห่างระหว่างแปลงทุกแปลงภายในกลุ่มกับศูนย์กลางของกลุ่มนั้นมีค่าน้อยที่สุด โดยใช้เทคนิควิธีการแบ่งกลุ่มแบบ K- Means
 - การจัดเส้นทางเคลื่อนย้ายของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล เพื่อหาลำดับเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตรในกระบวนการดังกล่าว โดยใช้วิธีการหาคำตอบหรือผลลัพธ์ ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)
7. จำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบและประเมินศักยภาพและข้อจำกัดของแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล ที่ได้จากการออกแบบและพัฒนาไว้

7.1 การเตรียมข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์

7.2 ทำการจำลองอายุวันเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) ในแต่ละแปลง ด้วยวิธีแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo)

7.3 ทดสอบแผนด้วยโปรแกรม Solver ซึ่งโปรแกรมย่อย (Add-in) หนึ่งของ โปรแกรม Microsoft Excel เวอร์ชัน 2013

8. นำผลการทดสอบมาปรับปรุงแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล

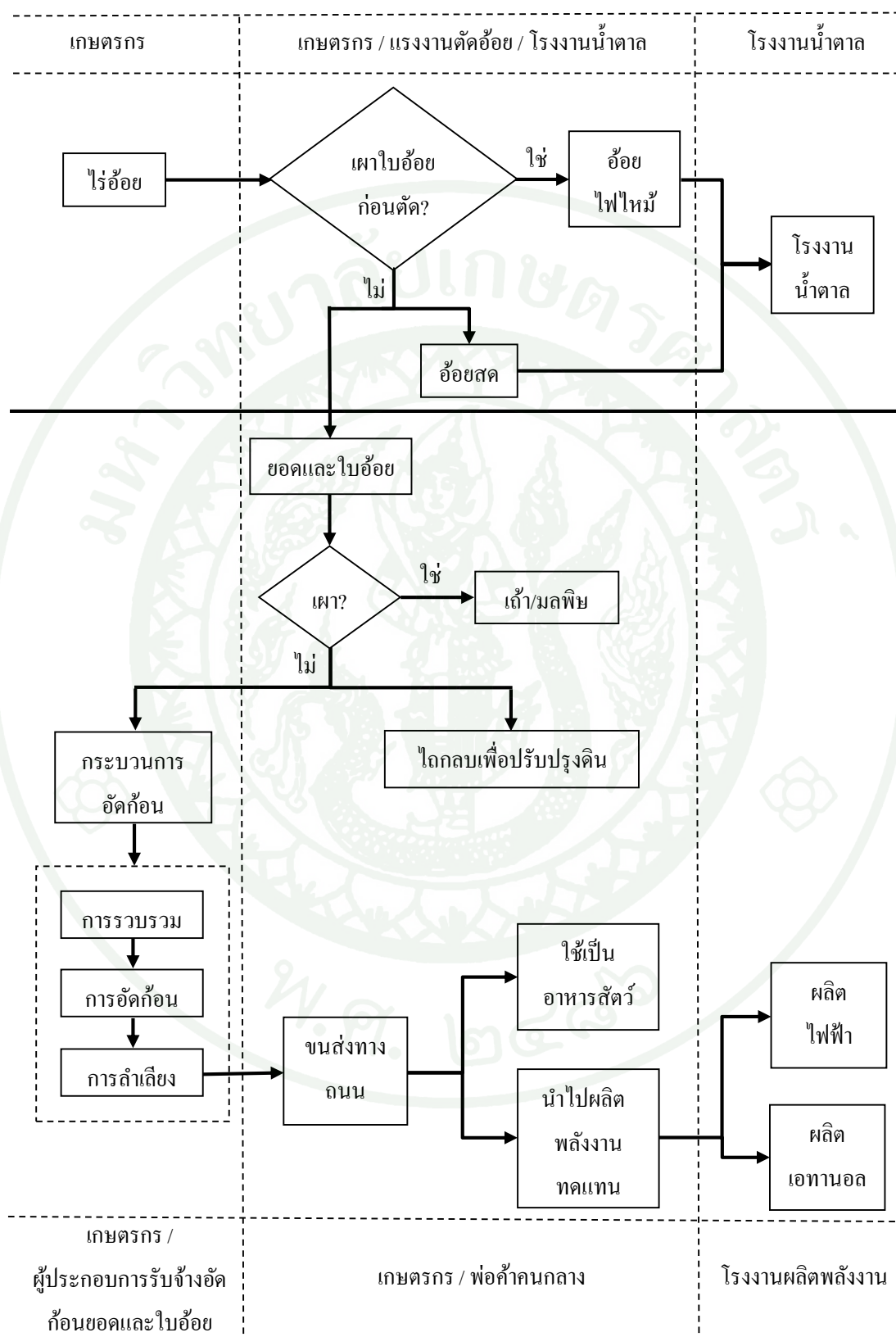
ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาข้อมูลพื้นฐานของกระบวนการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เพื่อสร้างความเข้าใจถึงโครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งยอดและใบอ้อย และความสามารถเชิงไร่ของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนและการลงทุนในกระบวนการดังกล่าว ซึ่งจะเป็นพื้นฐานนำไปสู่การออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวลต่อไป

1. ผลการศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิเคราะห์โครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งยอดและใบอ้อย เพื่อการป้อนชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาเข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งยอดและใบอ้อย พบว่า หากทำการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีการตัดสด จะทำให้ได้อ้อยสดและยอดและใบอ้อย โดยยอดและใบอ้อยจะเหลือทิ้งอยู่ภายในแปลงอย่างกระจัดกระจาย และจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งยอดและใบอ้อย พบว่า ที่ผ่านมามีการใช้ประโยชน์จากยอดและใบอ้อยในเชิงพาณิชย์ยังมีอยู่น้อย โดยในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะมีการนำยอดและใบอ้อยมาทำการอัดก้อนแล้วใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือปล่อยให้เน่าในแปลงแล้วทำการไถกลบเพื่อปรับปรุงดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งการนำยอดและใบอ้อยมาใช้ประโยชน์โดยทำการอัดก้อนนี้ จัดเป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อแปรรูปยอดและใบอ้อยให้อยู่ในลักษณะที่เหมาะสม เพื่อสะดวกในการขนส่ง ซึ่งในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าวนี้ จะประกอบด้วยขั้นตอนการรวบรวม การอัดก้อน และการลำเลียงก้อนยอดและใบอ้อยออกจากแปลง หลังจากนั้นเป็นการขนส่งทางถนนไปยังจุดหมายปลายทางต่อไป (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 โครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งขอและใบอ้อย

2. ผลการทดสอบภาคสนาม

2.1 ขั้นตอนของกระบวนการอัดก้อนและเครื่องจักรกลเกษตรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอัดก้อนและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย)

ขั้นตอนของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นตอนการรวบรวม

ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีตัดสด จะมียอดและใบอ้อยเหลือทิ้งอยู่ภายในแปลงอ้อย โดยมีลักษณะกระจัดกระจายอยู่บนผิวดิน หากต้องการเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยไปใช้ประโยชน์จำเป็นต้องมีขั้นตอนการรวบรวมยอดและใบอ้อยก่อน ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องใช้เครื่องรวบรวมยอดและใบอ้อย หรือที่เกษตรกรเรียกว่า เครื่องเกลี่ยรวมกอง เข้ามาช่วยงาน โดยใช้ร่วมกับรถแทรกเตอร์ ภายหลังจากการทดสอบภาคสนาม พบว่า เครื่องรวบรวมนี้นี้จะถูกติดตั้งไว้ข้างหลังของรถแทรกเตอร์ขนาด 35 แรงม้า (ภาพที่ 24) โดยที่เครื่องรวบรวมนี้นี้จะทำหน้าที่โกยยอดและใบอ้อยที่อยู่อย่างกระจัดกระจายบนผิวดินให้เข้ามารวมกันเป็นกอง ทำให้ได้กองยอดและใบอ้อยเป็นแถวเนาวยาว โดยขั้นตอนการรวบรวมยอดและใบอ้อยนี้จะทำให้เครื่องอัดก้อนฟางข้าวสามารถอัดก้อนยอดและใบอ้อยได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น และทำให้สามารถเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น



ภาพที่ 24 ขั้นตอนการรวบรวมยอดและใบอ้อย

2) ขั้นตอนการอัดก้อน

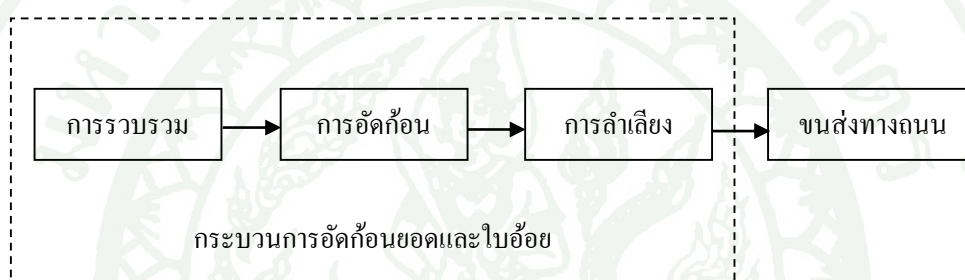
ขั้นตอนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย เป็นขั้นตอนที่จำเป็นจะต้องใช้เครื่องจักรกลเกษตรเข้ามาช่วยในการอัดก้อน โดยเครื่องอัดก้อนฟางข้าวนี้สามารถทำการอัดก้อนขอดและใบอ้อยได้ จากการทดสอบภาคสนามพบว่า เครื่องอัดก้อนฟางข้าวจะต้องทำงานร่วมกับรถแทรกเตอร์ โดยที่เครื่องอัดก้อนฟางข้าวนี้จะถูกติดพ่วงไว้ข้างหลังของรถแทรกเตอร์ขนาด 35 แรงม้า (ภาพที่ 25) และเครื่องอัดก้อนฟางข้าวนี้จะมีระบบการทำงานอยู่ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเก็บรวบรวม ระบบอัดก้อน และระบบมัดฟาง ในส่วนของระบบเก็บรวบรวม จะเป็นระบบที่ทำการเก็บรวบรวมเศษวัสดุ เช่น ฟางข้าว ขอดและใบอ้อย และหญ้าแห้ง ขึ้นมาจากพื้นแปลงแล้วป้อนเข้าตัวเครื่อง เพื่อเข้าสู่ระบบอัดก้อน โดยในระบบอัดก้อนนี้ ก็จะทำการอัดก้อนเศษวัสดุเหล่านี้ให้มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม และส่งเข้าสู่ระบบมัดฟางเพื่อ ทำการมัดก้อนฟางต่อไป หลังจากนั้นก้อนเศษวัสดุที่ถูกอัดจะถูกส่งออกมาทางด้านหลังเครื่องอัดฟางข้าวนี้ โดยหากทำการอัดก้อนขอดและใบอ้อยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว พบว่า เครื่องอัดก้อนฟางข้าวนี้จะทำหน้าที่โกยหรือรวบรวมขอดและใบอ้อยเข้ามาในเครื่องเพื่อทำการอัด ซึ่งเป็นขั้นตอนของการเปลี่ยนรูปขอดและใบอ้อยให้มีลักษณะเป็นฟ่อนหรือก้อนสี่เหลี่ยม ซึ่งขอดและใบอ้อยที่ถูกอัดเป็นก้อนนั้นจะมีปริมาตรลดลง ซึ่งจะทำให้การลำเลียง การขนส่ง รวมถึงการเก็บรักษาก้อนขอดและใบอ้อยทำได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 25 ขั้นตอนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย

3) ขั้นตอนการลำเลียง

ขั้นตอนการลำเลียงก้อนขอดและใบอ้อย คือ การลำเลียง หรือขนย้ายก้อนขอดและใบอ้อยที่อยู่ภายในแปลงออกไปยังรถบรรทุก หรือรถกระบะ ซึ่งจากการสัมภาษณ์เกษตรกรหรือผู้ประกอบการรับจ้างอัดก้อน พบว่า การลำเลียงก้อนขอดและใบอ้อยออกจากแปลงไปยังรถบรรทุก หากปฏิบัติงานโดยใช้แรงงานคน จำนวน 5-6 คน จะใช้เวลาในการลำเลียงประมาณ 15-20 นาที/ไร่ ภายหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการลำเลียงนี้แล้ว ในลำดับถัดไปจะเป็นการขนส่งทางถนน เพื่อขนส่งก้อนขอดและใบอ้อยไปยังจุดหมายปลายทางต่อไป



ภาพที่ 26 แบบจำลองของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งขอดและใบอ้อย

2.2 ข้อมูลด้านปริมาณขอดและใบอ้อย

หากทำการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด จะทำให้ได้อ้อยสดและขอดและใบอ้อย โดยขอดและใบอ้อยนี้จะเหลือทิ้งอยู่ภายในแปลงอย่างกระจัดกระจาย ซึ่งจากผลการทดสอบภาคสนามพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณขอดและใบอ้อยมีค่าสูงถึง 3,840 กิโลกรัม/ไร่ หากทำการอัดก้อนขอดและใบอ้อยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว จะสามารถอัดก้อนขอดและใบอ้อยขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ถึง 991.125 กิโลกรัม/ไร่ หรือประมาณ 45 ก้อน คิดเป็น 25.81 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขอดและใบอ้อยที่เหลืออยู่ในแปลงภายหลังจากการตัดอ้อยด้วยวิธีตัดสด โดยก้อนขอดและใบอ้อยที่ได้จากกระบวนการอัดนี้ จะมีลักษณะเป็นก้อนลูกบาศก์ทรงสี่เหลี่ยม โดยมีขนาดของก้อน กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 50cm×100cm×40cm ซึ่งแต่ละก้อนจะมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 22.03 กิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ภายหลังจากกระบวนการอัดก้อนยังคงมีปริมาณขอดและใบอ้อยเหลืออยู่ภายในแปลงสูงถึง 74.19 เปอร์เซ็นต์

2.3 ตัวแปรด้านเวลาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดก้อนและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ขอดและใบอ้อย)

ผลการศึกษาตัวแปรด้านเวลาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดก้อนและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ขอดและใบอ้อย) แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในกระบวนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย

รายการ	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ใน การกลับเลี้ยว (วินาที)	เวลารวมเฉลี่ย (นาทิจ/ไร่)
ขั้นตอนการรวบรวม	5.93	14.852	18.5
ขั้นตอนการอัดก้อน	1.32	41.714	24.5
กระบวนการอัดก้อน ขอดและใบอ้อย	-	-	43
ขั้นตอนการลำเลียง	-	-	15-20 (หากใช้แรงงานคน 5-6 คน)

หมายเหตุ ใช้ต้นกำลังแทรกเตอร์ ขนาด 35 แรงม้า รุ่น 354 SLX ยี่ห้อแฮมป์
เครื่องอัดฟาง รุ่น 376 ยี่ห้อ NEWHOLLAND

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า เวลารวมที่ใช้ในขั้นตอนการรวบรวมและการอัดก้อนขอดและใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 43 นาทิจ/ไร่ โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในขั้นตอนการรวบรวม เท่ากับ 18.5 นาทิจ/ไร่ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในขั้นตอนการอัดก้อนมีค่าเท่ากับ 24.5 นาทิจ/ไร่ และการลำเลียงก้อนขอดและใบอ้อยออกจากแปลงไปยังรถบรรทุก โดยใช้แรงงานคนจำนวน 5-6 คน จะใช้เวลาในการลำเลียง เท่ากับ 15-20 นาทิจ/ไร่

2.4 ความสามารถในการทำงานเชิงไร่ของเครื่องจักรกลเกษตรในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ขอดและใบอ้อย) และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของเครื่องจักรกลเกษตรในกระบวนการดังกล่าว

ผลการทดสอบความสามารถในการทำงานเชิงไร่ของเครื่องจักรกลเกษตรในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของเครื่องจักรกลเกษตรในกระบวนการดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสามารถในการทำงานเชิงไร่และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย

รายการ	เครื่องรวบรวม ยอดและใบอ้อย	เครื่องอัดก้อน ยอดและใบอ้อย	หน่วย
ความสามารถเชิงไร่	3.35	2.46	ไร่/ชั่วโมง
อัตราการสิ้นเปลือง น้ำมันเชื้อเพลิง	0.37	0.43	ลิตร/ไร่

หมายเหตุ ใช้ต้นกำลังแทรกเตอร์ ขนาด 35 แรงม้า รุ่น 354 SLX ยี่ห้อแฮมป์
เครื่องอัดฟาง รุ่น 376 ยี่ห้อ NEWHOLLAND

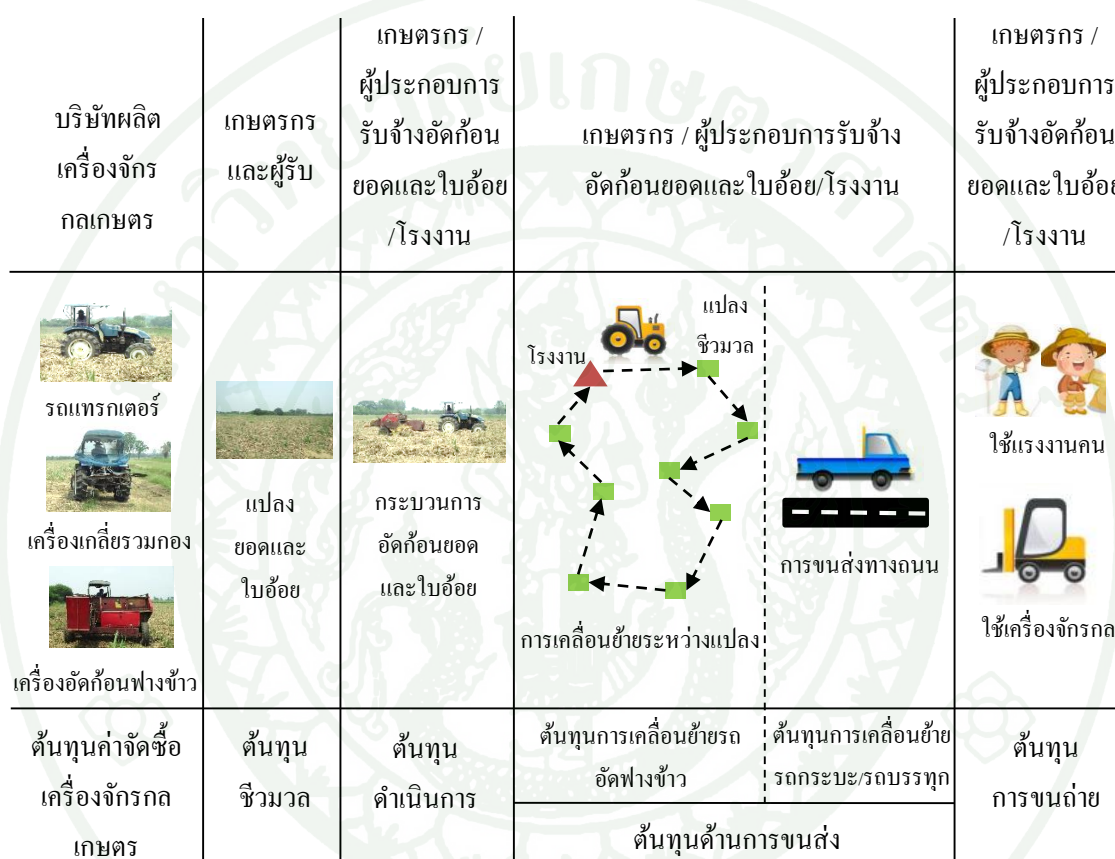
จากตารางที่ 6 พบว่า ความสามารถในการทำงานเชิงไร่ของเครื่องรวบรวมและเครื่องอัดก้อนยอดและใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 3.35 และ 2.46 ไร่/ชั่วโมง ตามลำดับ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถแทรกเตอร์ที่ทำงานร่วมกับเครื่องรวบรวมยอดและใบอ้อย และเครื่องอัดก้อนยอดและใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 0.37 และ 0.43 ลิตร/ไร่ ตามลำดับ

3. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและการลงทุนของกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย)

3.1 โครงสร้างต้นทุนในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งยอดและใบอ้อย

จากการศึกษาพบว่า ต้นทุนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งยอดและใบอ้อย ประกอบด้วย 1) ต้นทุนค่าจัดซื้อเครื่องจักรกลเกษตร 2) ต้นทุนชีวมวล (ยอดและใบอ้อย) 3) ต้นทุนดำเนินการในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย 4) ต้นทุนด้านการขนส่ง และ 5) ต้นทุนการขนถ่ายก้อนยอดและใบอ้อย โดยในส่วนของต้นทุนด้านการขนส่งนั้น ประกอบด้วย ต้นทุนการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว และต้นทุนการเคลื่อนย้ายรถกระบะหรือรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งก้อน

ยอดและใบอ่อนจากแปลงชีวมวลไปสู่โรงงาน ดังแสดงในภาพที่ 27 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนค่าจัดซื้อเครื่องจักรกลเกษตร ต้นทุนชีวมวล (ยอดและใบอ่อน) ต้นทุนดำเนินการในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ่อน และต้นทุนด้านการขนส่งในส่วน of ต้นทุนการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว



ภาพที่ 27 โครงสร้างต้นทุนในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งยอดและใบอ่อน

จากการศึกษาพบว่า ต้นทุนค่าจัดซื้อเครื่องจักรกลเกษตรจะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นกับราคาของบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรกลเกษตรกำหนดขึ้น ส่วนต้นทุนชีวมวลนั้นจะขึ้นอยู่กับราคาของเกษตรกรชาวไร่และผู้ที่รับซื้อตกลงซื้อขายกัน ด้านต้นทุนดำเนินการในกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ่อน จะขึ้นอยู่กับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละประเภทของเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการ ส่วนต้นทุนการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวขึ้นอยู่กัระยะทางที่ใช้การเคลื่อนย้ายระหว่างแปลง หากมีการเคลื่อนย้ายที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายมีค่ามากและส่งผลทำให้ต้นทุนของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวนี้มีค่าสูงไปด้วย

ดังนั้นหากต้องการลดต้นทุนในกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งยอดและใบอ้อย จึงควรมุ่งศึกษาและวิจัยเพื่อลดต้นทุนด้านการขนส่ง โดยนำหลักการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) มาใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณหาระยะทางรวมสั้นที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกที่จะศึกษาและลดต้นทุนด้านการขนส่งในส่วนของต้นทุนการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว

3.2 ต้นทุนดำเนินการของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย

ต้นทุนดำเนินการของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย ประกอบด้วย ค่าชีวมวล ยอดและใบอ้อย ค่าเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น และค่าแรงงาน เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนดำเนินการดังกล่าว พบว่า หากค่าใช้จ่ายในการเหมาซื้อชีวมวลยอดและใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 20-80 บาท/ไร่ ต้นทุนดำเนินการของทั้งกระบวนการ จะมีค่าเท่ากับ 242.98-302.98 บาท/ไร่ และมีต้นทุนดำเนินการในแต่ละขั้นตอน แสดงดังในตารางที่ 7

3.3 สมมติฐานประกอบการวิเคราะห์หาต้นทุนรวมและการลงทุน

ในการศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนและการลงทุนของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อยครั้งนี้ ได้ใช้หลักการของ Hunt (2007) มาใช้ในการวิเคราะห์ ภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

- ราคาเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการ
 - เครื่องอัดก้อนฟางข้าว 500,000 บาท
 - เครื่องรวบรวมยอดและใบอ้อย (เครื่องเกลี่ยรวมกอง) 170,000 บาท
 - รถแทรกเตอร์ 35 แรงม้า 460,000 บาท
- ฤดูกาลเก็บเกี่ยวอ้อยของประเทศไทย อยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายนของทุกปี (6 เดือน)
- ปริมาณการหีบอ้อยรายวันของประเทศไทย ในปีการผลิต 2556/2557 มีการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีการตัดสดประมาณ 34.25 เปอร์เซ็นต์
- จำนวนก้อนยอดและใบอ้อยที่สามารถเก็บเกี่ยวขึ้นมามีประโยชน์ได้ประมาณ 45 ก้อน/ไร่ (จากการทดสอบภาคสนาม ตามผลการศึกษาที่ได้รายงานไว้ในหัวข้อ 2.2)

3.4 ต้นทุนรวมของกระบวนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย

ต้นทุนรวมของกระบวนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย ประกอบด้วย ค่าจัดซื้อ เครื่องจักรกลเกษตร ค่าเสื่อมราคา ค่าดอกเบี้ย ค่าบำรุงและซ่อมแซม ค่าชีวมวลขอดและใบอ้อย ค่าเชื้อ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น และค่าแรงงาน และเมื่อนำข้อมูลจากการทดสอบ ภาศนาม (ตารางที่ 6) มาวิเคราะห์หาต้นทุนรวมของกระบวนการดังกล่าว พบว่า หากค่าใช้จ่ายในการเหมาซื้อชีวมวลขอดและใบอ้อยมีค่าเท่ากับ 20-80 บาท/ไร่ ต้นทุนรวมของกระบวนการดังกล่าว จะมีค่าเท่ากับ 583.42-643.42 บาท/ไร่ หรือ 0.58-0.65 บาท/กิโลกรัม และในกรณีที่มีการอัดก้อนขอดและใบอ้อยในแปลงของตนเองหรือไม่มีค่าใช้จ่ายในการเหมาซื้อชีวมวลขอดและใบอ้อย ต้นทุนรวมของกระบวนการอัดก้อนจะมีค่าเพียง 563.42 บาท/ไร่ หรือ 0.57 บาท/กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 7 โดยในขั้นตอนการอัดก้อนจะเป็นขั้นตอนที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุด คิดเป็น 50.97-58.20 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนรวมทั้งหมด (หากค่าใช้จ่ายในการเหมาซื้อชีวมวลขอดและใบอ้อยมีค่าเท่ากับ 0-80 บาท/ไร่) เนื่องจากราคาต้นทุนเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในขั้นตอนนี้มีราคาแพง

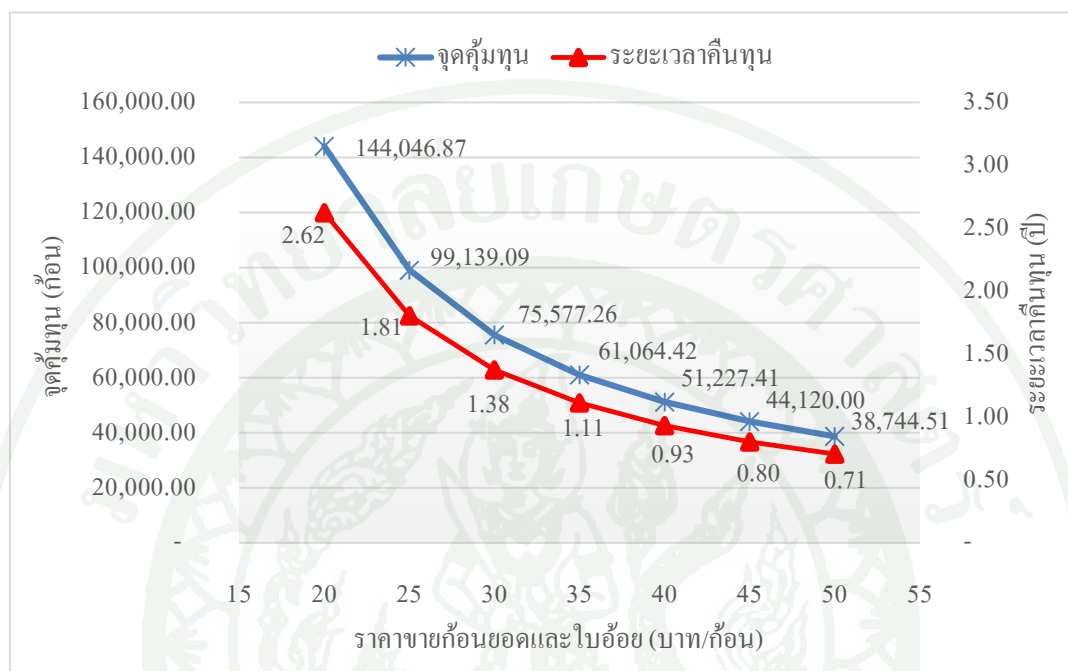
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย

ประเภท ของ ต้นทุน	ขอดและ ใบอ้อย (บาท/ไร่)	รวบรวม (บาท/ไร่)	อัดก้อน (บาท/ไร่)	ลำเลียง (บาท/ไร่)	รวม (บาท/ไร่)	รวม (บาท/กิโลกรัม)
ต้นทุน ดำเนินการ	0	27.39	119.36	76.22	222.98	0.23
	20	27.39	119.36	76.22	242.98	0.25
	50	27.39	119.36	76.22	272.98	0.28
	80	27.39	119.36	76.22	302.98	0.31
ต้นทุน รวม	0	159.27	327.93	76.22	563.42	0.57
	20	159.27	327.93	76.22	583.42	0.58
	50	159.27	327.93	76.22	613.42	0.62
	80	159.27	327.93	76.22	643.42	0.65

3.5 การวิเคราะห์การลงทุนของกระบวนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย

การวิเคราะห์การลงทุนของกระบวนการอัดก้อนขอดและใบอ้อย พบว่า หากกำหนดให้ราคาขายก้อนขอดและใบอ้อยอยู่ที่ก้อนละ 25 บาท จุดคุ้มทุนของการอัดก้อนขอดและใบอ้อยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว จะมีค่าเท่ากับ 99,139.09 ก้อน และเมื่อนำค่าความสามารถในการ

ทำงานเชิงไร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบภาคสนามมาวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุน ทำให้ทราบว่าจุดคุ้มทุนดังกล่าวจะอยู่ที่ 2,203.09 ไร่ โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.81 ปี ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของการอัดก้อนขุดและไถฮ้อยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว

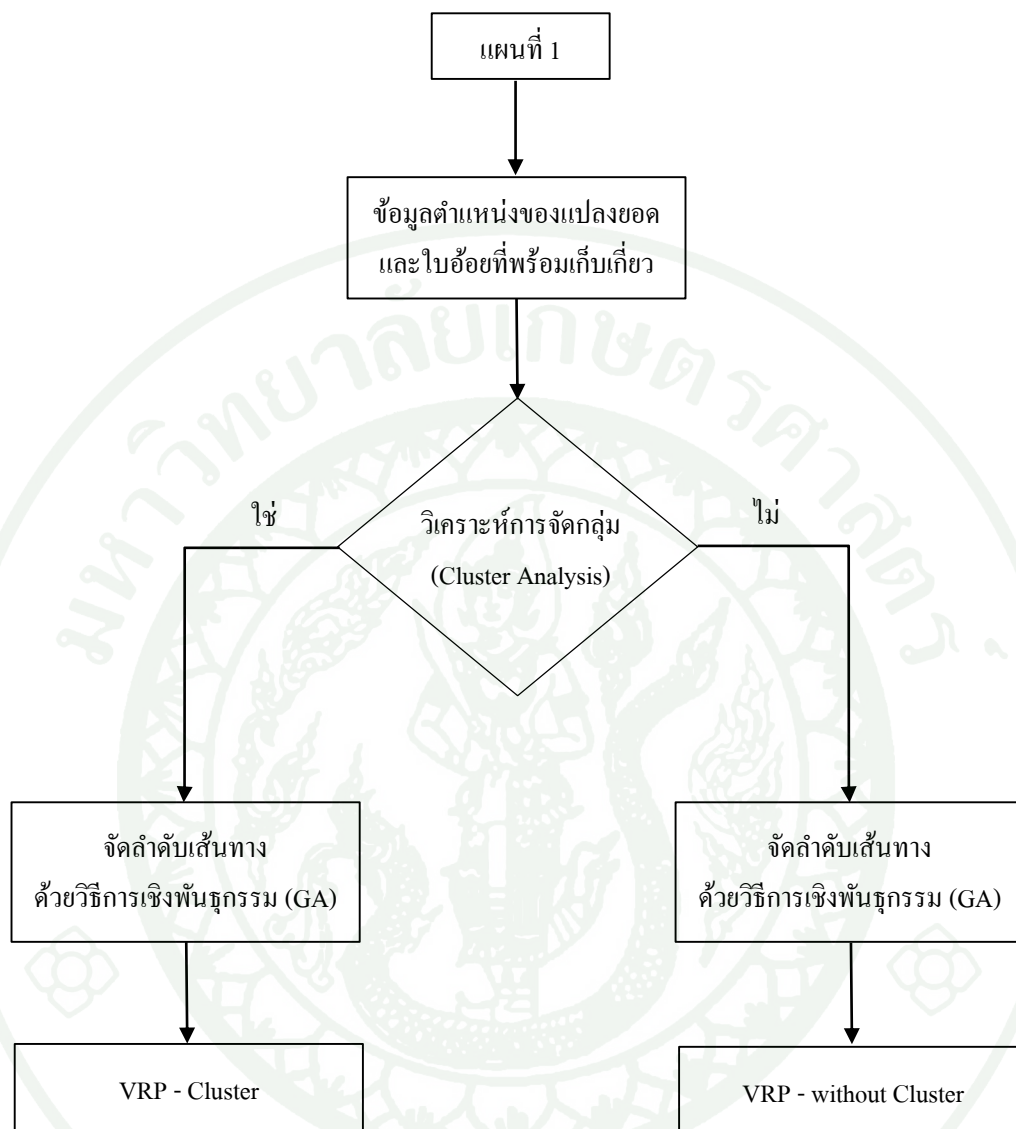
4. ผลของการออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ขุดและไถฮ้อย)

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาแผนการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวให้มีระยะทางที่สั้นที่สุด เพื่อจะลดต้นทุนในการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ขุดและไถฮ้อย) ซึ่งปัญหาแผนการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวดังกล่าว เป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน จึงได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการแก้ไขปัญหามา เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและใช้เวลาในการคำนวณที่ไม่นานเกินไป หากใช้วิธีการแก้ปัญหาก็ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) จะใช้เวลานานในการคำนวณเพื่อหาคำตอบ ยกตัวอย่างเช่น หากมีแปลงชีวมวลขุดและไถฮ้อย 50 แปลงที่ต้องการเก็บเกี่ยว จำนวนของเส้นทางหรือคำตอบที่เป็นไปได้ มีทั้งสิ้น $50!$ หรือเท่ากับ 3.0414×10^{64} คำตอบ หากต้องการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบทั้งหมดจะใช้เวลานาน

และถ้าจำนวนแปลงชีวมวลที่ต้องการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น จำนวนของคำตอบที่เป็นไปได้ก็จะมากขึ้น และทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่หากใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้ ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมและสั้นกว่า

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบแผนไว้ทั้งหมด 2 แผน คือ แผนที่ 1 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) และ แผนที่ 2 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) ซึ่งทั้ง 2 แผนนี้จะใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการจัดลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยรายละเอียดของแต่ละแผนแสดงดังต่อไปนี้

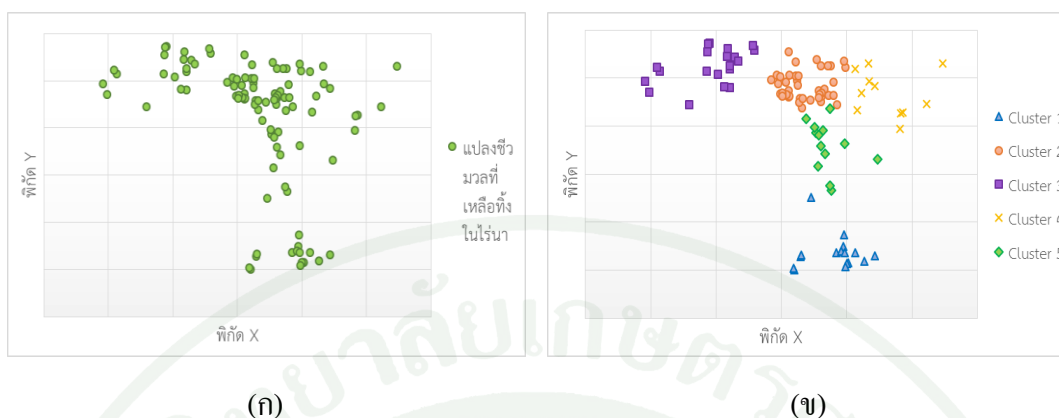
4.1 แผนที่ 1 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นแผนที่เหมาะสำหรับการจัดลำดับเส้นทางในกรณีที่รถอัดฟางข้าวต้องกลับมาจอดพักที่โรงงานภายหลังจากปฏิบัติงานเสร็จสิ้นในแต่ละวัน โดยในแผนที่ 1 นี้สามารถแบ่งวิธีการในการหาคำตอบออกเป็น 2 วิธี ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ขั้นตอนวิธีการในการหาคำตอบของแผนที่ 1

1) วิธีที่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนการจัดลำดับเส้นทาง (VRP – Cluster)

เป็นวิธีที่เริ่มต้นจากการนำข้อมูลตำแหน่งของแปลงยอดและใบอ้อยที่มีอายุการเก็บเกี่ยวในวันเดียวกันมาทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแบบ K-Means เพื่อแบ่งแปลงยอดและใบอ้อยที่มีอายุการเก็บเกี่ยวในวันเดียวกันนี้ออกเป็นกลุ่ม ตามจำนวนของรถอัดฟางข้าวหรือจำนวนทีมของเครื่องจักรกลเกษตรที่โรงงานมี (ภาพที่ 30) หลังจากนั้นจึงทำการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวในแต่ละกลุ่ม ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม



ภาพที่ 30 ตัวอย่างการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลง ที่แบ่งตามจำนวนรถอัดฟางข้าว 5 คัน

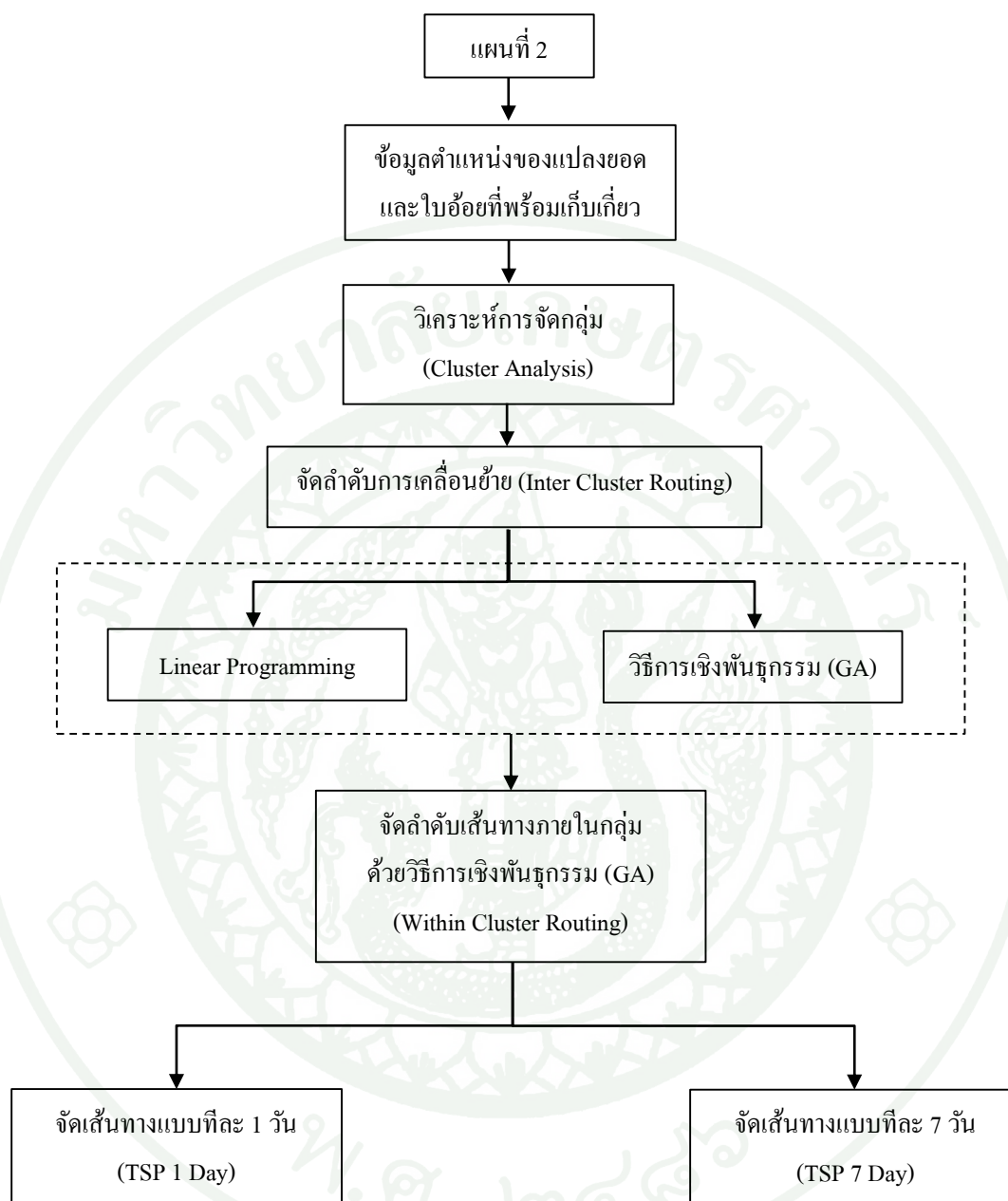
(ก) ตำแหน่งของแปลงก่อนทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม

(ข) การวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธี K-Means

2) วิธีที่ไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อย (VRP – without Cluster)

วิธีนี้จะเป็นการนำข้อมูลตำแหน่งของแปลงยอดและใบอ้อยที่มีอายุการเก็บเกี่ยวในวันเดียวกันมาทำการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวในแต่ละวัน และใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบโดยไม่ต้องมีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อยก่อน

4.2 แผนที่ 2 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) แผนที่นี้เป็นแผนที่เหมาะสำหรับการจัดลำดับเส้นทางในกรณีที่ต้องการให้รถอัดฟางข้าวทำงานไปอย่างต่อเนื่องในแต่ละวัน โดยไม่ต้องย้อนกลับมาจอดพักที่โรงงาน ซึ่งในแผนที่ 2 นี้ แบ่งวิธีการในการหาคำตอบออกเป็น 2 วิธี ดังแสดงในภาพที่ 31



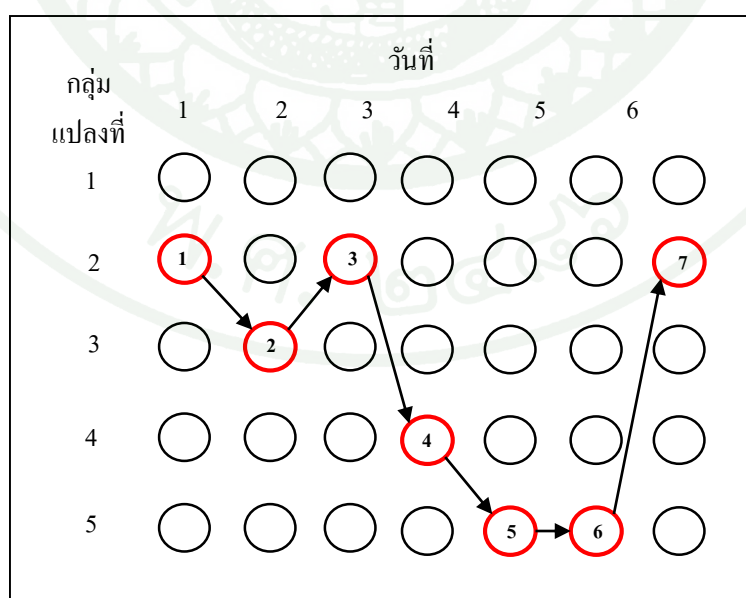
ภาพที่ 31 วิธีการในการหาคำตอบของแผนที่ 2

การจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยใช้แผนที่ 2 นี้ จะเริ่มจากการนำข้อมูลตำแหน่งของแปลงยอดและใบอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยวในแต่ละวัน มาทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลง โดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนของรถอัดฟางข้าวหรือแบ่งตามจำนวนทีมของเครื่องจักรกลเกษตรที่โรงงานมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแบบ K-Means ซึ่งจะทำให้ได้กลุ่มของแปลงยอดและใบอ้อยภายในแต่ละวัน จากนั้นทำการจัดลำดับกลุ่มแปลงให้กับรถอัดฟางข้าวแต่ละคัน

(Inter Cluster Routing) การจัดลำดับกลุ่มแปลงนี้ทำได้โดยนำค่าจุดกึ่งกลางของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละวัน มาจัดลำดับการเคลื่อนย้ายด้วยวิธี Linear Programming และวิธีการเชิงพันธุกรรม แล้วเปรียบเทียบว่าวิธีใดทำให้ระยะทางรวมมีค่าน้อยที่สุด แสดงว่าวิธีนั้นเป็นวิธีที่ให้คำตอบที่ดีกว่า หลังจากนั้นนำลำดับกลุ่มแปลงที่ได้มาทำการจัดลำดับเส้นทางภายในกลุ่มของแต่ละกลุ่มแปลงด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 1 วัน (TSP 1 Day) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 7 วัน (TSP 7 Day) ในลำดับต่อไป

1) วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 1 วัน (TSP 1 Day)

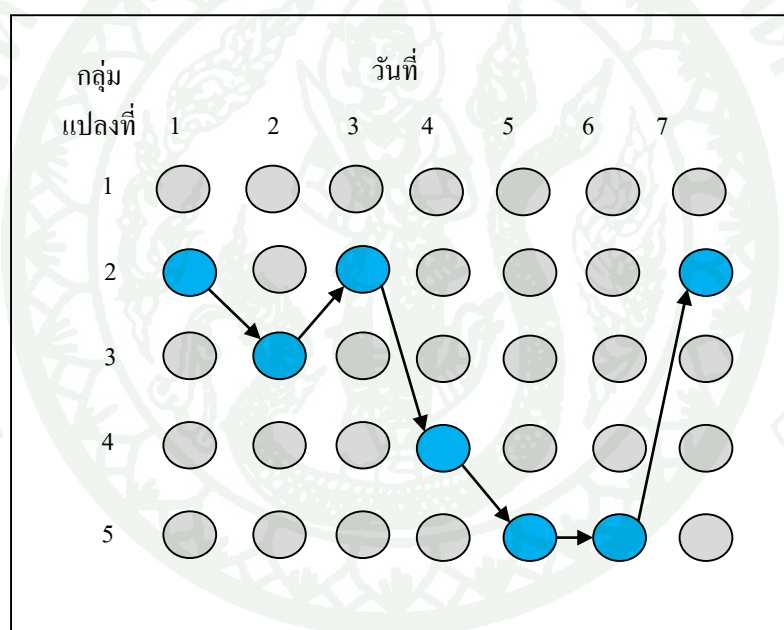
นำข้อมูลลำดับของกลุ่มแปลงที่รถอัดฟางข้าวแต่ละคันหรือแต่ละทีมที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้น มาทำการจัดลำดับเส้นทางภายในกลุ่มแบบที่ละ 1 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใน 1 วันของรถอัดฟางข้าว 1 คัน จะมีเพียง 1 กลุ่มแปลงเท่านั้น นั่นหมายความว่า การจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 1 วัน ของรถอัดฟางข้าว 1 คัน คือการจัดลำดับเส้นทางเพียง 1 กลุ่มแปลง/1 วัน หากต้องการจัดลำดับเส้นทางในการเก็บเกี่ยวขุดและไถอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยว ทั้งหมด 7 วัน โดยใช้วิธีนี้ จะต้องมีการวิเคราะห์ลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 ครั้ง/1คัน ดังแสดงในภาพที่ 32 และหากโรงงานมีรถอัดฟางข้าว 5 คัน จะต้องทำการวิเคราะห์ลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวทั้งหมดเป็นจำนวน 35 ครั้ง



ภาพที่ 32 ลำดับของการวิเคราะห์ลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว 1 คัน โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 1 วัน

2) วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 7 วัน

นำข้อมูลของกลุ่มแปลงที่ได้จากการจัดลำดับข้างต้น มาทำการจัดลำดับเส้นทางภายในกลุ่ม โดยทำการจัดลำดับเส้นทางของรถอัดฟางข้าวในแต่ละคัน พร้อมกันทั้งหมด 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม หมายความว่า การจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายของรถอัดฟางข้าว 1 คัน จะต้องทำการวิเคราะห์ 1 ครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 33 และหากโรงงานมีรถอัดฟางข้าว 5 คัน และต้องการจัดลำดับเส้นทางในการเก็บเกี่ยวขุดและไบอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยวทั้งหมด 7 วัน โดยใช้วิธีการนี้ จะต้องมีการวิเคราะห์หาลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวทั้งหมด จำนวน 5 ครั้ง



ภาพที่ 33 การวิเคราะห์หาลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว 1 คัน โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 7 วัน

5. ผลการทดสอบแผน

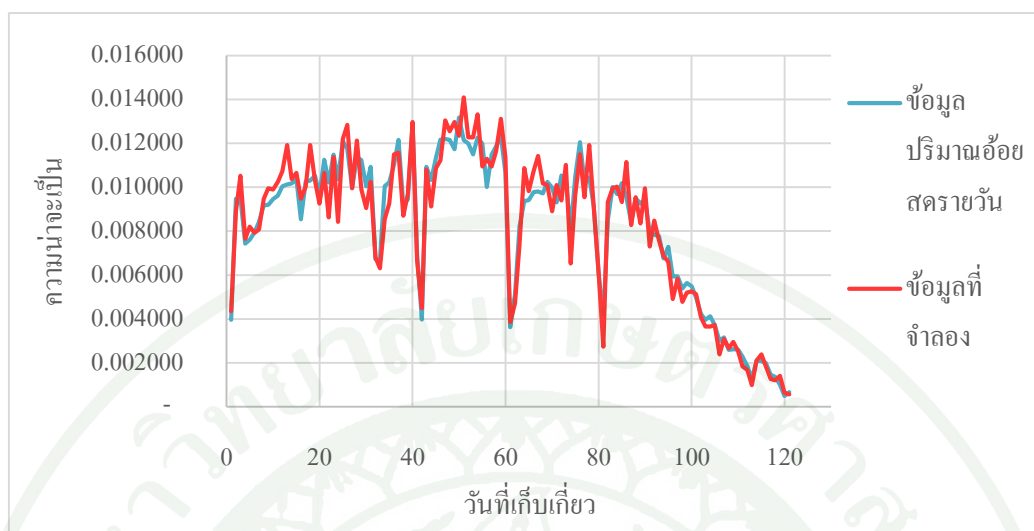
5.1 การเตรียมข้อมูล

1) นำข้อมูลแปลงปลูกอ้อยปี 2557 ของจังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 38,482 แปลง จากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (ตารางผนวกที่ ก1) มาทำการจัดเตรียมข้อมูลใหม่ โดยตัดข้อมูลแปลงที่ไม่มีการปลูกอ้อยในปี 2557 และข้อมูลแปลงปลูกอ้อยที่มีพิกัดซ้ำกันออก

2) นำข้อมูลแปลงปลูกอ้อยมาทำการสุ่มเลือกแปลงอ้อยสด โดยสุ่มให้มีแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสดเป็น 26.83 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่การปลูกอ้อยทั้งหมดในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้โปรแกรม Solver และใช้วิธี GRG Nonlinear ในการสุ่มเลือกแปลงอ้อยตัดสด ผลจากการสุ่มแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด พบว่า จำนวนแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด เท่ากับ 14,256 แปลง และมีพื้นที่รวมทั้งหมด เท่ากับ 162,350 ไร่

5.2 การจำลองสถานการณ์

1) นำข้อมูลแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสดมาทำการจำลองสถานการณ์ เพื่อหาอายุวันเก็บเกี่ยวของชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) ในแต่ละแปลง โดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล โดยจำลองอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยในแต่ละแปลงจากข้อมูลปริมาณการเข้าหีบของอ้อยสดรายวัน ของโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่ง ปีการผลิต 2556/2557 ในจังหวัดสุพรรณบุรี (ตารางผนวกที่ ก2) ผลของการจำลองอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยในแต่ละแปลงที่สัมพันธ์กับปริมาณการเข้าหีบของอ้อยสดรายวัน ณ โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดสุพรรณบุรี แสดงดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ผลการจำลองอายุวันเก็บเกี่ยวขุดและใบอ้อยในแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด

2) ภายใต้สมมติฐานที่ว่า เกษตรกรรายใหญ่ที่ปลูกอ้อยในแปลงที่มีขนาดใหญ่ จะมีเงินทุนและสามารถซื้อเครื่องอัดก้อนฟางข้าวมาเป็นของตัวเองได้ และทำการอัดก้อนขุดและใบอ้อยภายในแปลงของตัวเองขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ในประเทศไทยเกษตรกรรายย่อยที่ปลูกอ้อยในแปลงที่มีขนาดเล็กจะมีอยู่เป็นจำนวนมาก และไม่มีเงินทุนในการซื้อเครื่องอัดก้อนฟางข้าวมาใช้เองได้ แต่ก็มีความต้องการที่จะการเก็บเกี่ยวขุดและใบอ้อยเหล่านี้ขึ้นมาใช้ประโยชน์เช่นกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงจำเป็นจะต้องออกแบบแผนการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ขุดและใบอ้อย) เฉพาะในแปลงอ้อยที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

3) นำข้อมูลแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสดที่ได้จากการจำลองข้างต้น มาทำการคัดแยกขนาดของแปลง โดยใช้ขนาดเฉลี่ยของพื้นที่แปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด ที่มีค่าเท่ากับ 11.39 ไร่ เป็นเกณฑ์ในการคัดแยก โดยแปลงที่มีขนาดของพื้นที่มากกว่า 11 ไร่ จัดว่าเป็นแปลงที่มีขนาดใหญ่ ส่วนแปลงที่มีขนาดของพื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 11 ไร่ จัดว่าเป็นแปลงที่มีขนาดเล็ก ซึ่งข้อมูลของแปลงอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด เฉพาะแปลงที่มีขนาดเล็ก แสดงในตารางผนวกที่ 3

5.3 การทดสอบ

ในการทดสอบแผนครั้งนี้ ได้นำข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โลในช่วงต้นมาใช้ในการทดสอบ โดยใช้ข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยวตั้งแต่วันที่ 1-7 มาทำการจัดลำดับเส้นทางตามแผนที่ได้ออกแบบไว้

5.3.1 แผนที่ 1 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) และใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบ

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณระยะทางและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของการจัดลำดับเส้นทางรถเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 1

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและใบอ้อย	มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนการ จัดลำดับเส้นทาง (VRP – Cluster)		ไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (VRP – without Cluster)	
	ระยะทาง	เวลาที่ใช้	ระยะทาง	เวลาที่ใช้
	(กิโลเมตร)	(วินาที) ประมวลผล	(กิโลเมตร)	(วินาที) ประมวลผล
1	996.79	326	982.23	159
2	1983.87	374	2206.51	68
3	2073.82	439	2796.66	68
4	1752.78	362	2115.20	68
5	1558.39	405	1880.81	230
6	1505.31	419	1810.25	195
7	1316.22	534	1749.07	68
รวม	11187.18	2859	13540.74	856

ผลจากการทดสอบแผนที่ 1 พบว่า การจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว (VRP – Cluster) มีระยะทางรวมเท่ากับ 11,187.18 กิโลเมตร ซึ่งมีระยะทางรวมน้อยกว่า วิธีการจัดลำดับเส้นทางโดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม

แปลงยอดและใบอ้อย (VRP – without Cluster) โดยวิธีการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อยนี้ จะมีระยะทางรวมเท่ากับ 13,540.74 กิโลเมตร และพบว่า เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว เท่ากับ 2,859 วินาที หรือ 47.66 นาที ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่า วิธีการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อย ที่ใช้เวลาในการประมวลผล เท่ากับ 856 วินาที หรือ 14.27 นาที ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลการคำนวณระยะทางที่เป็นไปได้ที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าน้อยที่สุดของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมโดยใช้แผนที่ 1

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและ ใบอ้อย	มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนการ จัดลำดับเส้นทาง (VRP – Cluster)		ไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (VRP – without Cluster)	
	Maximize	Minimize	Maximize	Minimize
	(กิโลเมตร)	(กิโลเมตร)	(กิโลเมตร)	(กิโลเมตร)
1	1490.89	996.79	2254.52	982.23
2	3282.42	1983.87	4630.47	2206.51
3	3445.90	2073.82	5180.70	2796.66
4	2954.09	1752.78	4547.65	2115.20
5	2852.90	1558.39	4373.93	1880.81
6	2740.32	1505.31	3945.77	1810.25
7	2435.64	1316.22	3569.26	1749.07
รวม	19202.16	11187.18	28502.29	13540.74

ผลจากการทดสอบแผนที่ 1 พบว่า หากใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว (VRP – Cluster) ระยะทางรวมมากที่สุดที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 19,202.16 กิโลเมตร และเมื่อมีการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวแล้ว จะทำให้ได้ระยะทางรวมที่น้อยที่สุดที่มีค่าเท่ากับ 11,187.18 กิโลเมตร ซึ่งลดลงจากระยะทางรวมที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ คิดเป็น 33.14-45.96 เปอร์เซ็นต์ และหากใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางโดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อย (VRP – without Cluster) ระยะทางรวมมากที่สุดที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว มีค่าเท่ากับ

28,502.29 กิโลเมตร และเมื่อมีการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวแล้ว จะทำให้ได้ระยะทางรวมที่น้อยที่สุดที่มีค่าเท่ากับ 13,540.74 กิโลเมตร ซึ่งลดลงจากระยะทางรวมที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ คิดเป็น 46.02-57.00 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 9

คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวขุดและใบอ้อย ที่ได้จากการทดสอบแผนที่ 1 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนการจัดลำดับเส้นทาง (VRP – Cluster) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางโดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงขุดและใบอ้อย (VRP – without Cluster) แสดงในตารางผนวกที่ ง1 และตารางผนวกที่ ง2 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ระยะทางของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมโดยใช้แผนที่ 1 เมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนของข้อมูลในการคำนวณ

จำนวนข้อมูล	ระยะทาง		หน่วย
	มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนการจัดลำดับเส้นทาง (VRP – Cluster)	ไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (VRP – without Cluster)	
30	749.76	746.94	กิโลเมตร
40	969.10	937.67	กิโลเมตร
50	1159.06	1210.50	กิโลเมตร
60	1359.40	1427.95	กิโลเมตร
70	1366.56	1720.75	กิโลเมตร
80	1857.03	1905.44	กิโลเมตร
90	1708.30	2132.68	กิโลเมตร
100	2036.93	2769.69	กิโลเมตร

ภายหลังจากการทดสอบแผนที่ 1 ได้ทำการเปรียบเทียบจำนวนของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ในวิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนจัดลำดับเส้นทาง (VRP – Cluster) และวิธีการที่ไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงขุดและใบอ้อย (VRP – without Cluster) เพิ่มเติม เพื่อหาจำนวนของข้อมูลที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการคำนวณในแต่ละวิธีของแผนที่ 1 พบว่า เมื่อกำหนดจำนวนของข้อมูลแปลงที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละวัน ที่จำนวน 30-40 ข้อมูล และใช้วิธีจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมโดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงขุดและใบอ้อย จะทำให้

ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวมีระยะทางที่สั้นที่สุด และหากจำนวนของข้อมูลแปลง มีจำนวน 50-100 ข้อมูล พบว่า การใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อยก่อน แล้วจึงทำการจัดลำดับเส้นทางในแต่ละวันด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม จะทำให้ได้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 10

5.3.2 แผนที่ 2 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) และใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบ

ผลการจากการจัดลำดับกลุ่มแปลงของรถอัดฟางข้าวแต่ละคัน (Inter Cluster Routing) ด้วยวิธี Linear Programming และวิธีการเชิงพันธุกรรม แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการจัดลำดับกลุ่มแปลงของรถอัดฟางข้าวแต่ละคัน ด้วยวิธี Linear Programming และวิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการจัดลำดับ กลุ่มแปลง		ลำดับกลุ่มแปลงสำหรับการเคลื่อนย้าย ของรถอัดฟางข้าวในแต่ละคัน							ระยะทาง	ระยะทาง
									กิโลเมตร	รวม กิโลเมตร
วิธี Linear Programming	คันที่ 1	c11	c21	c31	c42	c53	c61	c75	33.58	
	คันที่ 2	c12	c23	c33	c41	c52	c64	c74	54.75	
	คันที่ 3	c13	c25	c34	c43	c54	c62	c71	52.89	238.40
	คันที่ 4	c14	c24	c32	c45	c51	c63	c72	50.09	
	คันที่ 5	c15	c22	c35	c44	c55	c65	c73	47.09	
วิธีการเชิง พันธุกรรม	คันที่ 1	c12	c23	c32	c44	c55	c65	c72	26.80	
	คันที่ 2	c14	c24	c33	c45	c52	c62	c75	43.76	
	คันที่ 3	c13	c25	c34	c43	c53	c61	c74	52.23	219.10
	คันที่ 4	c15	c22	c31	c42	c51	c64	c71	35.14	
	คันที่ 5	c11	c21	c35	c41	c54	c63	c73	61.17	

จากการจัดลำดับกลุ่มแปลงของรถอัดฟางข้าวแต่ละคัน ด้วยวิธี Linear Programming และวิธีการเชิงพันธุกรรม พบว่า คำตอบของลำดับกลุ่มแปลงที่วิเคราะห์ด้วย 2 วิธีนี้ แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยการจัดลำดับกลุ่มแปลงด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม มี

ระยะทางรวมเท่ากับ 219.10 กิโลเมตร ซึ่งมีระยะทางรวมน้อยกว่าการจัดลำดับกลุ่มแปลงด้วยวิธี Linear Programming ที่มีระยะทางรวมเท่ากับ 238.40 กิโลเมตร

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณระยะทางและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 2

รถอัดฟางข้าวคันที่	การจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน		การจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน	
	(TSP 1 Day)		(TSP 7 Day)	
	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ประมวลผล (วินาที)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ประมวลผล (วินาที)
1	725.46	981	811.51	308
2	765.59	925	744.86	220
3	593.02	1040	558.11	144
4	683.32	887	694.62	167
5	676.03	676	671.15	184
รวม	3443.42	4509	3480.24	1023

ผลการจากการทดสอบแผนที่ 2 พบว่า การจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ทั้ง 7 วัน โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day) ทำให้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวทั้ง 5 คัน มีค่าเท่ากับ 3,443.42 กิโลเมตร และ 3,480.24 กิโลเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน ของรถอัดฟางข้าวในแต่ละคันจะใช้เวลาในการประมวลผลสูงกว่าวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน โดยระยะเวลาในการประมวลผลของรถอัดฟางข้าวทั้ง 5 คัน ที่ใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน มีค่าเท่ากับ 4,509 วินาที หรือ 75.15 นาที และวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน จะใช้เวลารวมในการประมวลผล เท่ากับ 1,023 วินาที หรือ 17.05 นาที ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลการคำนวณระยะทางที่เป็นไปได้ที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าน้อยที่สุดของการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว จำนวน 7 วัน ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยใช้แผนที่ 2

รถอัดฟางข้าว คันที่	การจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day)		การจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day)	
	Maximize	Minimize	Maximize	Minimize
	(กิโลเมตร)	(กิโลเมตร)	(กิโลเมตร)	(กิโลเมตร)
1	3144.21	725.46	3068.64	811.51
2	2682.27	765.59	2577.99	744.86
3	1750.80	593.02	1679.40	558.11
4	2116.73	683.32	2103.42	694.62
5	1999.69	676.03	1961.96	671.15
รวม	11693.70	3443.42	11391.41	3480.24

ผลจากการทดสอบแผนที่ 2 พบว่า ระยะทางรวมมากที่สุดที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day) มีค่าเท่ากับ 11,693.70 และ 11,391.41 กิโลเมตร ตามลำดับ และเมื่อมีการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวโดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day) แล้วจะทำให้ได้ระยะทางรวมที่น้อยที่สุดที่มีค่าเท่ากับ 3443.42 และ 3480.24 กิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากระยะทางรวมที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ คิดเป็น 66.13-76.93 เปอร์เซ็นต์ และ 65.79-73.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 13

คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวที่ใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวขอดและใบอ้อย ที่ได้จากการทดสอบแผนที่ 2 โดยทำการจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day) และการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day) แสดงในตารางผนวกที่ 3 และตารางผนวกที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบระยะทางของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยใช้แผนที่ 2 เมื่อมีการปรับค่าอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation rate) ในระดับค่าต่างๆ

	อัตราการ ปรับเปลี่ยน โครโมโซม	รถอัดฟางข้าวทีมที่					ระยะทาง รวม	หน่วย
		1	2	3	4	5		
การจัดลำดับ เส้นทางแบบ ทีละ 1 วัน	0.075	725.46	765.59	593.02	683.32	676.03	3443.42	กิโลเมตร
การจัดลำดับ เส้นทางแบบ ทีละ 7 วัน	0.075	811.51	744.86	558.11	694.62	671.15	3480.24	กิโลเมตร
	0.1	882.69	691.04	535.90	695.41	640.78	3445.82	กิโลเมตร
	0.2	772.21	692.94	560.51	679.96	657.62	3363.24	กิโลเมตร
	0.3	778.60	685.17	561.68	678.03	645.17	3348.65	กิโลเมตร
	0.4	777.68	679.73	534.71	678.33	636.55	3307.00	กิโลเมตร
	0.5	781.17	667.49	534.71	676.73	648.30	3308.40	กิโลเมตร
	0.6	769.80	689.21	534.71	689.37	644.46	3327.55	กิโลเมตร
	0.7	757.29	680.81	534.71	670.40	643.51	3286.71	กิโลเมตร
	0.8	808.51	708.77	534.71	674.92	639.43	3366.33	กิโลเมตร
	0.9	829.77	693.63	556.92	677.57	641.87	3399.76	กิโลเมตร
	0.99	814.60	712.66	553.41	674.08	648.48	3403.24	กิโลเมตร

ภายหลังจากการทดสอบแผนที่ 2 ได้ทำการปรับค่าอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation rate) ในวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.99 จากการทดสอบดังกล่าว พบว่า วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน ที่มีการปรับอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมในระดับค่าต่างๆ ทำให้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวทุกคันเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยในวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน เมื่อมีการปรับอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมให้มีค่าเท่ากับ 0.2-0.99 ทำให้ระยะทางรวมของรถอัดฟางข้าวคันที่ 2, 3, 4 และ 5 มีค่าน้อยกว่าการใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน และพบว่า การจัดลำดับเส้นทางของรถอัดฟางข้าว คันที่ 2, 3, 4 และ 5 ด้วยวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน มีระยะทางน้อยที่สุด เมื่อมีการปรับอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายใน

โครโมโซม ให้มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.4, 0.7 และ 0.4 ตามลำดับ แต่สำหรับการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนย้ายของรถอัดฟางข้าวคันที่ 1 พบว่า เมื่อใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน และมีอัตราการปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซม เท่ากับ 0.075 ทำให้ระยะทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวคันนี้มีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 14

วิจารณ์

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบความเป็นไปได้ที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรชาวไร่อ้อยทำการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีตัดสดให้มากขึ้น หากเกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีตัดสดมากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการเผาแปลงอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวอ้อยลดลงและทำให้การเก็บเกี่ยวอ้อยไฟไหม้มีปริมาณที่ลดลง ซึ่งทำให้ปริมาณเถ้าหรือมลพิษที่เกิดจากการเผาภายในแปลงอ้อยนั้นลดลงเช่นกัน แต่ทว่ายอดและใบอ้อยที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสดนี้หากทิ้งไว้ในแปลงเป็นเวลานาน และเมื่อมีสภาพอากาศที่แห้งแล้งจะสามารถติดไฟและทำให้เกิดไฟไหม้ภายในแปลงอ้อยได้ ในเกษตรกรบางรายจะใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยนำยอดและใบอ้อยออกจากแปลงและนำมาทำเป็นเพียงแฉกกันไฟ เพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้ในแปลงอ้อยเท่านั้น แต่จากการศึกษาพบความเป็นไปได้ว่ายอดและใบอ้อยเหล่านี้สามารถสร้างรายได้แก่เกษตรกรได้ โดยนำไปขายเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และสามารถนำไปใช้ในโรงงานเอทานอล เพื่อผลิตเอทานอลจาก Cellulosic ได้ แต่การนำยอดและใบอ้อยที่อยู่ภายในแปลงขึ้นมาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอัดก้อนให้มีลักษณะที่เหมาะสมเพื่อให้ง่ายต่อการขนย้าย ซึ่งการอัดก้อนยอดและใบอ้อยเหล่านี้ขึ้นมาใช้ประโยชน์สามารถทำได้โดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว

Blanco-Canqui (2010) ได้ศึกษาและพบว่า หากมีการนำชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่ 나오ออกจากแปลงในปริมาณที่ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ จะไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของดินในแปลง ดังนั้น การเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยขึ้นมาใช้ประโยชน์ โดยการนำเครื่องอัดก้อนฟางข้าวมาใช้ในการอัดก้อนยอดและใบอ้อยนั้นมีความเหมาะสมในด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำในแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลการทดสอบภาคสนามของงานวิจัยนี้พบว่า ปริมาณของชีวมวลยอดและใบอ้อยที่เครื่องอัดก้อนฟางข้าวสามารถอัดเป็นก้อนยอดและใบอ้อยขึ้นมาได้จะมีค่าเพียง 25.81 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณยอดและใบอ้อยที่เหลืออยู่ในแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยวิธีตัดสด ดังนั้นจึงยังคงมีปริมาณยอดและใบอ้อยเหลืออยู่ในแปลงสูงถึง 74.19 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังกระบวนการอัด

ก่อน ซึ่งเป็นปริมาณคงเหลือที่มากพอต่อการปกคลุมแปลง เพื่ออนุรักษ์น้ำและดินในแปลงอ้อยได้ต่อไป

จากการทดสอบแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) ตามที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า แผน TSP แบบจัดลำดับเส้นทางที่ละ 7 วัน (TSP 7 Day) เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในสถานการณ์จริง เนื่องจากการทำงานของกระบวนการเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยโดยใช้เครื่องอัดฟางข้าวในสถานการณ์จริงนั้น เมื่อทำงานเสร็จในแต่ละวัน รถอัดฟางข้าวจะหยุดพักที่แปลงนั้นๆ และจะเดินทางไปทำงานในแปลงอื่นต่อในวันรุ่งขึ้น โดยมีการจัดคนเฝ้าเครื่องจักรเกษตรเหล่านี้ไว้เพื่อป้องกันการสูญหาย ซึ่งหมายความว่าในสถานการณ์จริงเมื่อรถอัดฟางข้าวทำงานเสร็จในแต่ละวัน จะไม่เดินทางย้อนกลับมาจอดพักที่โรงงาน เพราะการเดินทางย้อนกลับมาจอดพักที่โรงงานนั้นจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนของการอัดฟางข้าวและใบอ้อยเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นแผน TSP ที่มีการจัดลำดับเส้นทางแบบที่ละ 7 วัน (TSP 7 Day) จึงเหมาะสมกับการนำไปใช้ในสถานการณ์จริงมากที่สุด เนื่องจากสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานรถอัดฟางข้าวของเกษตรกรมากที่สุด แต่แผนนี้ยังคงไม่สามารถจัดตารางการทำงานของรถอัดฟางข้าวในแต่ละคันให้พอดีกับปริมาณของยอดและใบอ้อยที่มีในแต่ละวันได้ เนื่องจากจำนวนของแปลงอ้อยในหนึ่งวันนั้น มีมากเกินไปเกินความสามารถในการทำงานของรถอัดฟางข้าวในหนึ่งวัน หมายความว่า หากต้องการเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อยในวันที่แปลงอ้อยพร้อมเก็บเกี่ยววันที่ 1-7 แผนนี้จะสามารถจัดตารางการทำงานของรถอัดฟางข้าวในแต่ละคันได้ แต่จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำงานมากกว่า 7 วัน ซึ่งจากข้อด้อยของแผนดังที่กล่าวมาจะทำการศึกษาในครั้งต่อไป เพื่อปรับปรุงแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งยอดและใบอ้อยนี้ให้ดีขึ้นและสามารถนำไปใช้ได้ดียิ่งขึ้นในสถานการณ์จริง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา เข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล (กรณีศึกษา ขอดและไบออย) ที่สามารถลดต้นทุนและปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการดังกล่าวได้ โดยสามารถสรุปผลการศึกษาทั้งหมดได้ดังนี้

1. ผลจากการศึกษาทำให้ทราบถึงโครงสร้างด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการอัดก้อนและขนส่งขอดและไบออย โดยพบว่า มีผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ เกษตรกร ผู้ประกอบการรับจ้างอัดก้อน ซึ่งมักจะเป็นพ่อค้าคนกลางในการรวบรวมก้อนขอดและไบออย และโรงงานผลิตพลังงาน นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ผ่านมามีการใช้ประโยชน์จากขอดและไบออยในเชิงพาณิชย์ยังน้อยอยู่ โดยในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะมีการนำขอดและไบออยมาทำการอัดก้อนแล้วใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือปล่อยทิ้งไว้ในแปลงแล้วทำการไถกลบเพื่อปรับปรุงดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งการที่จะนำขอดและไบออยมาใช้ประโยชน์ได้นั้นจำเป็นต้องทำการอัดก้อน เพื่อแปรรูปขอดและไบออยให้อยู่ในลักษณะที่เหมาะสมก่อน เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการขนส่ง

2. จากการทดสอบภาคสนามพบว่า หากทำการอัดก้อนขอดและไบออยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว จะประกอบด้วยขั้นตอนการรวบรวม การอัดก้อน และการลำเลียงก้อนขอดและไบออยออกจากแปลง ซึ่งเวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับ 43 นาที/ไร่ นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการทำงานเชิงไร่ของเครื่องรวบรวมและเครื่องอัดก้อนขอดและไบออยมีค่าเท่ากับ 3.25 และ 2.46 ไร่/ชั่วโมง รวมทั้งมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเท่ากับ 0.37 และ 0.43 ลิตร/ไร่ตามลำดับ

3. ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสดพบว่า มีขอดและไบออยเหลืออยู่ในแปลงเป็นปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3,840 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อนำเครื่องอัดก้อนฟางข้าวมาทำการอัดก้อนขอดและไบออย ปริมาณขอดและไบออยที่ถูกอัดเป็นก้อนจะมีปริมาณเท่ากับ 25.81 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขอดและไบออยที่เหลืออยู่ในแปลงภายหลังจากการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีตัดสด นั้นหมายความว่า ยังคงมีขอดและไบออยเหลืออยู่ในแปลงสูงเป็นปริมาณถึง 74.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง

เป็นปริมาณคงเหลือที่มากพอต่อการปกคลุมแปลง เพื่ออนุรักษ์น้ำและดินในแปลงอ้อยได้ต่อไป

4. จากการวิเคราะห์ต้นทุนและการลงทุนของกระบวนการการอัดก้อนยอดและใบอ้อย พบว่า หากค่าใช้จ่ายในการเหมาซื้อชีวมวลยอดและใบอ้อยมีค่าเท่ากับ 20-80 บาท/ไร่ ต้นทุนรวมของกระบวนการอัดก้อนยอดและใบอ้อย จะมีค่าเท่ากับ 583.42-643.42 บาท/ไร่ หรือคิดเป็น 0.58 -0.65 บาท/กิโลกรัม ซึ่งในขั้นตอนการอัดก้อนจะเป็นขั้นตอนที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุด และนอกจากนี้ยังพบว่า หากกำหนดให้ราคาขายก้อนยอดและใบอ้อยอยู่ที่กิโลกรัมละ 25 บาท จุดคุ้มทุนของการอัดก้อนยอดและใบอ้อยโดยใช้เครื่องอัดก้อนฟางข้าว จะมีค่าเท่ากับ 99,139.09 ก้อน หรือจุดคุ้มทุนดังกล่าวจะอยู่ที่ 2,203.09 ไร่ โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.81 ปี

5. เนื่องจากส่วนใหญ่ขนาดแปลงปลูกอ้อยในประเทศไทย เป็นแปลงที่มีขนาดเล็ก และมีอยู่เป็นจำนวนมาก หากต้องการเก็บเกี่ยวและรวบรวมชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ยอดและใบอ้อย) เพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวล จำเป็นจะต้องมีการเก็บเกี่ยวและรวบรวมจากหลายๆพื้นที่ หรือรวบรวมจากหลายๆแปลง ทำให้ต้องมีการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้น ซึ่งการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตรจากแปลงหนึ่งไปยังอีกแปลงหนึ่งนั้นจะทำให้ต้นทุนในกระบวนการดังกล่าวเพิ่มขึ้น และหากลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายไปยังแปลงต่างๆไม่เหมาะสม จะทำให้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายมีค่ามาก ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนของกระบวนการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะลดต้นทุนในการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลเกษตรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดังกล่าว จึงได้ออกแบบและพัฒนาแผนปฏิบัติการเก็บเกี่ยวและรวบรวมชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาเข้าสู่โรงงานผลิตพลังงานชีวมวลขึ้นมา โดยได้ออกแบบแผนไว้ทั้งหมด 2 แผน ได้แก่ แผนที่ 1 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) และแผนที่ 2 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) ซึ่งทั้ง 2 แผนนี้จะใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการจัดลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ซึ่งแผน VRP นี้เหมาะกับการจัดลำดับเส้นทางในกรณีที่รถอัดฟางข้าวต้องกลับไปจอดพักที่โรงงานหลังจากเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละวัน โดยในแผนนี้สามารถแบ่งวิธีการในการหาคำตอบออกเป็น 2 วิธี คือวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่มก่อนการจัดลำดับเส้นทาง (VRP-Cluster) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางโดยที่ไม่มีการวิเคราะห์จัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อยก่อน (VRP-without Cluster) สำหรับแผน TSP นั้นเหมาะกับการจัดลำดับเส้นทางในกรณีที่ต้องการให้รถอัดฟางข้าวทำงานไปอย่างต่อเนื่องในแต่ละวัน โดยไม่ต้องย้อนกลับมาจอดพักที่โรงงาน ซึ่งในแผน TSP นี้

จะแบ่งวิธีการในการหาคำตอบออกเป็น 2 วิธีเช่นกัน คือ วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day)

6. จากการนำข้อมูลแปลงอ้อยขนาดเล็กในจังหวัดสุพรรณบุรี ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวในวันที่ 1-7 จำนวน 548 แปลง มาใช้ในการทดสอบแผนทั้ง 2 แผน และมีการทดสอบแผนโดยกำหนดจำนวนรอบ (Iteration) ในการ Solver ที่ 10,000 รอบ ภายหลังจากการทดสอบแผนที่ 1 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) พบว่า การเก็บเกี่ยวชีวมวลยอดและใบอ้อยทั้ง 7 วัน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนจัดลำดับเส้นทาง (VRP-Cluster) และวิธีการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อน (VRP-without Cluster) มีระยะทางรวมเท่ากับ 11,187.18 และ 13,540.74 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยวิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวนี้ ทำให้ได้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายที่น้อยกว่า แต่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธีนี้สูงถึง 2,859 วินาที หรือ 47.66 นาที ซึ่งมากกว่า 3.34 เท่าของวิธีการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อน ที่ใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 856 วินาที หรือ 14.27 นาที นอกจากนี้ยังพบว่า การจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวโดยใช้วิธีที่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนจัดลำดับเส้นทางนั้น สามารถทำให้ระยะทางรวมลดลงได้ถึง 33.14-45.96 เปอร์เซ็นต์ จากระยะทางรวมมากที่สุดที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวโดยใช้วิธีนี้ และสำหรับการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวโดยใช้วิธีที่ไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนนั้น สามารถทำให้ระยะทางรวมลดลงได้ถึง 46.02-57.00 เปอร์เซ็นต์ จากระยะทางรวมมากที่สุดที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวโดยใช้วิธีดังกล่าว

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ จำนวนของข้อมูลที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการคำนวณในแต่ละวิธีของแผน VRP โดยใช้ข้อมูลของแปลงยอดและใบอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยว จำนวน 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ข้อมูล มาทำการทดสอบ พบว่า หากจำนวนข้อมูลหรือจำนวนแปลงที่รถอัดฟางข้าวต้องปฏิบัติงานภายในหนึ่งวัน มีตั้งแต่ 50 แปลงขึ้นไป จะทำการวิเคราะห์จัดกลุ่มแปลงก่อน (VRP-Cluster) แล้วจึงทำการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวในแต่ละวัน โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบ จะทำให้ได้ลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวที่มีระยะทางรวมที่น้อยที่สุด แต่ถ้าหากในหนึ่งวันรถอัดฟางข้าวต้องทำงานบนแปลงที่มีจำนวนน้อยกว่า 50 แปลง สามารถใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์

การจัดกลุ่มแปลงก่อน ซึ่งจะทำให้ได้ลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวที่มีระยะทางรวมที่น้อยที่สุดเช่นกัน

7. ภายหลังจากการทดสอบแผนที่ 2 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) พบว่า แผน TSP ที่ใช้การจัดลำดับเส้นทางที่แบบละ 1 วัน (TSP 1 Day) และการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day) ทำให้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวทั้ง 5 คัน มีค่าเท่ากับ 3,443.42 กิโลเมตร และ 3,480.24 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยที่วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน จะทำให้ได้ระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวน้อยกว่า แต่ใช้เวลารวมในการประมวลผลสูงถึง 4,509 วินาที หรือ 75.15 นาที หรือคิดเป็น 4.41 เท่าของวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน ซึ่งวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วันนี้ จะใช้เวลารวมในการประมวลผลเพียง 1,023 วินาที หรือ 17.05 นาที นอกจากนี้ยังพบว่า แผน TSP ที่ใช้ในการจัดลำดับเส้นทางของเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วันและวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน สามารถทำให้ระยะทางรวมลดลงจากระยะทางรวมมากที่สุดที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวได้ ถึง 66.13-76.93 เปอร์เซ็นต์ และ 65.79-73.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เนื่องจากวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วันนั้นให้คำตอบที่ดีกว่า การจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการประมวลผลสูง จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยทำการปรับค่าอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation rate) ในวิธีการจัดเส้นทางแบบทีละ 7 วัน ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.99 จากการทดสอบดังกล่าว พบว่า หากใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน ในการหาคำตอบ ควรทำการปรับค่าอัตราการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม ให้เท่ากับ 0.2-0.99 จึงจะทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน และใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่า

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป

1. ในแผนที่ 2 แผนการจัดลำดับเส้นทางโดยใช้หลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) และใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ในการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าวนี้ ยังคงไม่สามารถจัดตารางการทำงานของรถอัด

ฟางข้าวในแต่ละคันให้พอดีกับปริมาณของขอดและใบอ้อยที่มีในแต่ละวันได้ เนื่องจากจำนวนของแปลงอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยวใน 1 วันนั้นมีมากเกินความสามารถในการทำงานของรถอัดฟางข้าวใน 1 วัน ทำให้รถอัดฟางข้าว 1 คันใช้เวลาในการเก็บเกี่ยวมากกว่า 1 วัน ซึ่งจากข้อด้อยของแผนดังที่กล่าวมานำไปแก้ไขและปรับปรุงในการวิจัยครั้งต่อไป เพื่อปรับปรุงแผนการเก็บเกี่ยวขอดและใบอ้อยนี้ให้ดีขึ้นและสามารถนำไปใช้ได้เหมาะสมในสถานการณ์จริง

2. ต้นทุนด้านการขนส่งขอดและใบอ้อย ประกอบด้วย ต้นทุนการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว และต้นทุนการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและจัดลำดับเส้นทางเฉพาะการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว เพื่อลดต้นทุนด้านการขนส่งในส่วนของการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว แต่ยังไม่ได้ทำการศึกษาและจัดลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก หากต้องการลดต้นทุนด้านการขนส่งในกระบวนการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นา (ขอดและใบอ้อย) ทั้งหมด ควรทำการศึกษาและสร้างแผนการจัดลำดับเส้นทางของการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก เพื่อลดต้นทุนในส่วนของการเคลื่อนย้ายของรถบรรทุกเพิ่มเติม

3. ในการทำงานวิจัยครั้งต่อไปควรนำข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมาเป็นข้อจำกัดในการออกแบบและพัฒนาแผนการเก็บเกี่ยวชีวมวลที่เหลือทิ้งในไร่นาต่อไป เพื่อที่จะให้ได้แผนที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับใช้กับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์ และ สมพงษ์ เจษฎาธรรมสถิต. 2554. การจำลองสถานการณ์ด้าน
โลจิสติกส์ของการเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาล, น. 376-382. ใน การ
ประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 (สาขาพืช).
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และ ระพีพันธ์ ปิตาคโส. 2555. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง
ยานพาหนะด้วยวิธีการอาณานิคมมด กรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่มจำกัด. วารสารวิจัย มข
17(5): 706-714.
- ธารชуда พันธุ์นิกุล, กนกอร โรหิตะ และ รุ่งฤดี บัวศรียอด. 2554. การลดต้นทุนในการจัดเส้นทาง
การขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : โรงงานอุบลควาริส จ.
อุบลราชธานี. ใน การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2554.
ประเทศไทย.
- บุริม นิลแป้น และ พงษ์ชัย จิตตะมัย. 2550. การวางแผนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลอย่างมี
ประสิทธิภาพ. ใน การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. ประเทศไทย.
- ปิยธิดา รุจะศิริ. 2552. การเปรียบเทียบเทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์กลุ่ม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยุทธ ไถยวรรณ. 2556. การวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปรสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ระพีพันธ์ ปิตาคโส. 2554. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการ
จัดการโลจิสติกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

วงศ์พงศ์สรรค์. 2551. การจัดกลุ่มข้อมูลด้านความปลอดภัยของอาหารด้วยวิธีการแบบสองขั้นตอน โดย SOM และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วนิดา รัตนมณี และ สุภชัย ปทุมนากุล. 2551. การหาคำตอบที่น่าพึงพอใจโดยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม. วิศวกรรมสาร ม.ช. 30(4): 319-336.

สร้อยสุดา เลาะหลุณ และ ธาราธร ภูลภักดิ์. 2550. การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการบริหารการจัดการขนส่ง. วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร 7 (3): 31-38.

สุทธิชา ทับดารา และ เสรี เสวตเสรี. 2554. การจัดการขยะชุมชนในกรุงเทพ. วิศวกรรมสารมก 78 (24): 34-45.

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. 2554. การสร้างเตาहुงต้มเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.

อุดม จันทร์จรัสสุข. 2554. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง. วิศวกรรมสารลาดกระบัง 28 (3): 31-36.

อุบลรัตน์ เขียรธนาคม. 2551. การใช้วิธีเชิงอวลิสติกส์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Blanco-Canqui, H. 2010. Energy Crops and Their Implications on Soil and Environment. **Agronomy Journal** 102: 403–419.

Dantzig, G. B. and J. H. Ramser. 1959. The truck dispatching problem. **Management Science** 6 (1): 80–91.

Laporte, G., F.V. Louveaux and H. Mecure. 1992. The vehicle routing problem with stochastic travel times. **Transportation Science** 26 (3): 161-170.





ตารางผนวกที่ ก1 ตัวอย่างของชุดข้อมูลแปลงปลูกอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรี ปี 2557
จำนวน 100 แปลง

แปลงที่	อำเภอ	ตำบล	พิกัด		ขนาดแปลงปลูก (ไร่)
			X	Y	
1	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	600586	1563062	5
2	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	600419	1562718	8
3	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	600637	1562370	4
4	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	600479	1562122	8
5	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599964	1562135	8
6	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	600884	1561280	6
7	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	600447	1561721	2
8	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601515	1561825	13
9	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601628	1561865	12
10	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601739	1561926	8
11	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601847	1561979	3
12	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	600563	1562497	11
13	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599657	1562510	9
14	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599469	1562665	6
15	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599316	1562228	14
16	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599206	1562011	4
17	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599420	1563161	2
18	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599556	1563283	1
19	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599903	1563755	4
20	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599605	1564229	2
21	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599801	1563014	8
22	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599567	1561758	5
23	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601117	1561371	14
24	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601414	1561712	5
25	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601609	1562808	5

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

แปลงที่	อำเภอ	ตำบล	พิกัด		ขนาดแปลงปลูก (ไร่)
			X	Y	
26	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601653	1562724	11
27	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	601744	1562545	13
28	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589157	1554889	2
29	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589095	1554803	2
30	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589681	1554802	19
31	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589964	1554811	12
32	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590053	1555827	18
33	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	591058	1555960	15
34	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590651	1555983	8
35	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590835	1555925	36
36	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	592662	1555631	6
37	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	593950	1556187	5
38	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	593199	1557351	4
39	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	593332	1557295	6
40	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	593885	1556378	6
41	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	593414	1558326	16
42	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	594005	1558674	12
43	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590407	1556724	4
44	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590431	1556807	5
45	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590346	1557940	8
46	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590066	1557981	3
47	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589831	1557886	14
48	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589410	1557480	7
49	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	588302	1556403	13
50	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	588542	1556382	8
51	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	588425	1556304	2

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

แปลงที่	อำเภอ	ตำบล	พิกัด		ขนาดแปลงปลูก (ไร่)
			X	Y	
52	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	588812	1556594	3
53	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589581	1559127	10
54	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589590	1558949	7
55	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589696	1559136	8
56	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589702	1558978	5
57	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589909	1558946	10
58	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	589903	1559215	10
59	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590151	1558759	10
60	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590514	1558870	4
61	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590342	1558449	8
62	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590224	1557911	3
63	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	587408	1557801	8
64	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	587940	1558437	41
65	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590134	1558887	10
66	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	590709	1558628	11
67	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	591391	1559673	15
68	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	591376	1559245	13
69	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	591851	1559689	4
70	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	591180	1560293	13
71	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	593861	1560862	14
72	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	595387	1562272	4
73	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	595932	1561742	5
74	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	596268	1562809	5
75	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	596493	1562893	7
76	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	596868	1562628	8
77	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597209	1563881	7

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

แปลงที่	อำเภอ	ตำบล	พิกัด		ขนาดแปลงปลูก (ไร่)
			X	Y	
78	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597219	1563768	2
79	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597621	1563752	10
80	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598527	1563959	6
81	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597473	1563989	4
82	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597961	1564524	3
83	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598231	1563829	7
84	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597191	1564470	25
85	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597362	1564411	10
86	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597579	1564478	7
87	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598122	1563858	4
88	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597504	1564775	4
89	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598268	1565566	4
90	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598275	1565439	6
91	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598326	1565895	6
92	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597318	1566010	4
93	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	597066	1566063	6
94	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598408	1564964	7
95	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598478	1566222	1
96	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598196	1565192	4
97	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598253	1564912	6
98	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598849	1563861	5
99	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	599036	1563830	4
100	สองพี่น้อง	บ่อสุพรรณ	598559	1563414	4

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลปริมาณการหีบอ้อยรายวันของโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่ง ในจังหวัด
สุพรรณบุรี ปีการผลิต 2556/2557

วันเปิดหีบ	วันปิดหีบ	รวมวัน เดินเครื่อง	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ		ปริมาณอ้อย รายวันรวม (ตัน)	เฉลี่ย C.C.S
			อ้อยสด รายวัน (ตัน)	อ้อยไฟ ไหม้รายวัน (ตัน)		
7/12/2556		1	220.87	664.21	885.08	9.18
8/12/2556		2	739.83	1,245.77	1,985.60	9.18
9/12/2556		3	963.32	2,818.68	3,782.00	9.55
10/12/2556		4	623.02	1,933.35	2,556.37	9.64
11/12/2556		5	640.9	2,432.92	3,073.82	9.6
12/12/2556		6	861.51	3,575.88	4,437.39	9.68
13/12/2556		7	952.14	3,056.81	4,008.95	9.71
14/12/2556		8	930.39	3,466.85	4,397.24	9.73
15/12/2556		9	613.3	2,929.85	3,543.15	9.74
16/12/2556		10	1306.44	3,482.73	4,789.17	9.74
17/12/2556		11	1155.31	3,720.21	4,875.52	9.74
18/12/2556		12	959.15	2,865.04	3,824.19	9.77
19/12/2556		13	1226.38	3,839.90	5,066.28	9.79
20/12/2556		14	1035.46	3,784.33	4,819.79	9.85
21/12/2556		15	572.13	2,839.72	3,411.85	9.89
22/12/2556		16	1305.59	3,276.69	4,582.28	9.93
23/12/2556		17	1206.12	3,922.48	5,128.60	9.97
24/12/2556		18	679.59	2,241.42	2,921.01	9.98
25/12/2556		19	1069.69	3,399.99	4,469.68	10.02
26/12/2556		20	1085.55	3,580.04	4,665.59	10.05
27/12/2556		21	1026.57	3,815.17	4,841.74	10.09
28/12/2556		22	748.25	3,433.38	4,181.63	10.12

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เปิดหีบ	วันปิดหีบ	รวมวัน เดินเครื่อง	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ		ปริมาณอ้อย รายวันรวม (ตัน)	เฉลี่ย C.C.S
			อ้อยสด รายวัน (ตัน)	อ้อยไฟ ไหม้ รายวัน (ตัน)		
29/12/2556		23	1097.15	3,515.59	4,612.74	10.16
30/12/2556		24	874.11	3,613.30	4,487.41	10.18
31/12/2556		25	620.49	4,135.33	4,755.82	10.21
1/1/2557		26	352.07	4,261.32	4,613.39	10.25
2/1/2557		27	528.57	3,103.54	3,632.11	10.28
3/1/2557		28	916.92	3,819.95	4,736.87	10.31
4/1/2557		29	928.26	3,864.11	4,792.37	10.34
5/1/2557		30	1009.54	3,673.69	4,683.23	10.37
6/1/2557		31	1195.68	3,604.11	4,799.79	10.39
7/1/2557		32	581.35	2,500.15	3,081.50	10.42
8/1/2557		33	1068.25	3,513.92	4,582.17	10.45
9/1/2557		34	1074.03	3,176.93	4,250.96	10.47
10/1/2557		35	1134.22	3,653.98	4,788.20	10.5
11/1/2557		36	1308.61	3,571.17	4,879.78	10.53
12/1/2557		37	997.45	3,674.67	4,672.12	10.55
13/1/2557		38	869.96	3,277.80	4,147.76	10.57
14/1/2557		39	764.19	3,377.81	4,142.00	10.59
15/1/2557		40	1000.95	3,554.09	4,555.04	10.62
16/1/2557		41	1072.9	3,623.18	4,696.08	10.65
17/1/2557		42	702.33	3,546.25	4,248.58	10.68
18/1/2557		43	1188.31	3,540.73	4,729.04	10.72
19/1/2557		44	807.07	3,160.01	3,967.08	10.74
20/1/2557		45	1005.73	2,649.10	3,654.83	10.76

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เปิดหีบ	วันปิดหีบ	รวมวัน เ คืนเครื่อง	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ		ปริมาณอ้อย รายวันรวม (ตัน)	เฉลี่ย C.C.S
			อ้อยสด รายวัน (ตัน)	อ้อยไฟ ไหม้ รายวัน (ตัน)		
21/1/2557		46	1252.43	3,266.91	4,519.34	10.79
22/1/2557		47	746.64	3,900.44	4,647.08	10.82
23/1/2557		48	712.62	3,623.14	4,335.76	10.86
24/1/2557		49	521.17	3,940.97	4,462.14	10.89
25/1/2557		50	885.97	2,261.57	3,147.54	10.91
26/1/2557		51	1021.58	2,169.95	3,191.53	10.93
27/1/2557		52	853.2	2,790.95	3,644.15	10.95
28/1/2557		53	1263.61	3,070.46	4,334.07	10.98
29/1/2557		54	1,004.90	2,896.16	3,901.06	11
30/1/2557		55	67.31	1,643.12	1,710.43	11.01
2/2/2557		58	440.37	2,073.27	2,513.64	11.02
3/2/2557		59	1,271.93	3,649.51	4,921.44	11.06
4/2/2557		60	1,080.87	3,154.27	4,235.14	11.08
5/2/2557		61	974.18	3,868.86	4,843.04	11.11
6/2/2557		62	1,102.57	3,783.41	4,885.98	11.13
7/2/2557		63	1,042.09	3,847.72	4,889.81	11.16
8/2/2557		64	755.26	3,973.17	4,728.43	11.19
9/2/2557		65	656.49	3,511.09	4,167.58	11.21
10/2/2557		66	1,169.83	3,449.99	4,619.82	11.23
11/2/2557		67	1,163.55	3,522.59	4,686.14	11.26
12/2/2557		68	909.01	3,743.58	4,652.59	11.28
13/2/2557		69	851.21	3,813.11	4,664.32	11.3
14/2/2557		70	996.13	3,609.50	4,605.63	11.32

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เปิดหีบ	วันปิดหีบ	รวมวัน เดินเครื่อง	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ		ปริมาณอ้อย รายวันรวม (ตัน)	เฉลี่ย C.C.S
			อ้อยสด รายวัน (ตัน)	อ้อยไฟ ไหม้ รายวัน (ตัน)		
15/2/2557		71	756.44	3,588.45	4,344.89	11.34
16/2/2557		72	811.96	3,887.39	4,699.35	11.36
17/2/2557		73	470.25	3,350.87	3,821.12	11.38
18/2/2557		74	833.09	3,727.16	4,560.25	11.4
19/2/2557		75	1,009.96	3,576.68	4,586.64	11.42
20/2/2557		76	770.11	3,704.47	4,474.58	11.44
21/2/2557		77	949.08	3,642.15	4,591.23	11.46
22/2/2557		78	652.32	3,897.24	4,549.56	11.47
23/2/2557		79	749.20	3,817.11	4,566.31	11.48
24/2/2557		80	756.15	3,670.66	4,426.81	11.5
25/2/2557		81	709.39	3,473.33	4,182.72	11.51
26/2/2557		82	769.59	3,612.20	4,381.79	11.52
27/2/2557		83	642.02	3,675.36	4,317.38	11.53
28/2/2557		84	593.82	3,050.94	3,644.76	11.54
1/3/2557		85	872.11	3,115.23	3,987.34	11.55
2/3/2557		86	155.68	2,153.99	2,309.67	11.56
3/3/2557		87	585.99	3,578.84	4,164.83	11.57
4/3/2557		88	460.60	3,925.08	4,385.68	11.59
5/3/2557		89	346.04	2,897.54	3,243.58	11.6
6/3/2557		90	664.28	3,707.15	4,371.43	11.6
7/3/2557		91	345.85	2,010.84	2,356.69	11.61
8/3/2557		92	430.96	2,651.02	3,081.98	11.62
9/3/2557		93	343.09	2,312.22	2,655.31	11.62

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เปิดหีบ	วันปิดหีบ	รวมวัน เดินเครื่อง	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ		ปริมาณอ้อย รายวันรวม (ตัน)	เฉลี่ย C.C.S
			อ้อยสด รายวัน(ตัน)	อ้อยไฟ ไหม้รายวัน (ตัน)		
10/3/2557		94	311.09	1,960.85	2,271.94	11.62
11/3/2557		95	439.60	1,687.98	2,127.58	11.63
12/3/2557		96	476.30	1,518.24	1,994.54	11.64
13/3/2557		97	250.20	1,127.58	1,377.78	11.65
14/3/2557		98	208.01	1,383.05	1,591.06	11.65
15/3/2557	15/3/2557	99	93.99	1,076.15	1,170.14	11.66

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวขอดและใบอ้อยในแต่ละแปลง (เฉพาะแปลงขนาดเล็ก)
ตั้งแต่อายุวันเก็บเกี่ยววันที่ 1 ถึงวันที่ 7 ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วย
วิธีมอนติคาร์โล

แปลงที่	รหัส แปลง	พิกัด		ขนาดของ แปลง (ไร่)	อายุวันเก็บ เกี่ยว
		x	y		
1	577	591229	1562014	11	1
2	2367	594423	1563130	6	1
3	4194	625428	1648744	6	1
4	4378	603620	1642840	6	1
5	4559	590220	1618836	3	1
6	4596	592748	1622460	10	1
7	5164	591510	1616761	4	1
8	7593	599609	1569716	4	1
9	10896	605204	1620623	2	1
10	11388	555809	1644977	8	1
11	12992	627114	1635994	6	1
12	14363	595758	1630215	8	1
13	14499	591148	1629353	5	1
14	16967	560872	1635124	6	1
15	17107	566305	1639849	9	1
16	18371	595732	1608604	6	1
17	18497	592488	1608916	7	1
18	18972	589086	1615509	9	1
19	20124	566456	1649197	11	1
20	21352	570174	1652180	10	1
21	22307	595585	1592606	4	1

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัส	พิกัด		ขนาดของ แปลง (ไร่)	อายุวันเก็บ เกี่ยว
	แปลง	x	y		
22	23787	571915	1639377	6	1
23	24945	593588	1648629	7	1
24	24948	590949	1647861	2	1
25	25326	590838	1649497	6	1
26	25591	593927	1646530	10	1
27	25887	627906	1629517	4	1
28	26136	617423	1618784	7	1
29	27106	591695	1631438	8	1
30	27561	591639	1634604	7	1
31	28701	620376	1634469	11	1
32	28744	620751	1630281	4	1
33	29356	592754	1595370	7	1
34	30187	587279	1651050	8	1
35	30718	586696	1651266	8	1
36	30756	588281	1642663	8	1
37	32530	577629	1641662	9	1
38	33300	582610	1648528	8	1
39	33597	580067	1639811	8	1
40	34546	576069	1640852	3	1
41	35683	604061	1566447	6	1
42	36499	585618	1609015	10	1
43	36548	596204	1605862	5	1
44	36791	595981	1604683	9	1

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัส	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บ เกี่ยว
	แปลง	x	y		
45	173	583239	1558658	3	2
46	186	583288	1559166	5	2
47	1968	588615	1568296	1	2
48	3999	629842	1642989	4	2
49	4189	626642	1649008	6	2
50	4367	600539	1644958	1	2
51	6980	596830	1571654	3	2
52	8740	614402	1619291	5	2
53	8759	537223	1635241	4	2
54	10775	590521	1625447	3	2
55	11550	564254	1643298	6	2
56	11570	561821	1641278	6	2
57	11929	561485	1643036	9	2
58	11939	560428	1644687	9	2
59	12196	562947	1643713	6	2
60	12723	607252	1630471	10	2
61	13281	540752	1649245	5	2
62	13499	614811	1620209	5	2
63	14077	596849	1632274	5	2
64	14391	592998	1631145	5	2
65	15699	594787	1584854	8	2
66	15724	592359	1577592	3	2
67	15947	592830	1579735	3	2

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
68	16600	552894	1630643	9	2
69	16750	563113	1635100	7	2
70	16949	558949	1638454	8	2
71	16987	578206	1639542	3	2
72	17153	579107	1640182	11	2
73	17562	568054	1639317	3	2
74	17679	554290	1630557	3	2
75	17762	565064	1637180	6	2
76	18187	591038	1611972	8	2
77	18367	596601	1609923	6	2
78	18491	592097	1608927	3	2
79	18735	592082	1610878	5	2
80	18758	588766	1612198	7	2
81	19302	564555	1645145	2	2
82	19332	564064	1645971	9	2
83	19361	558034	1648502	8	2
84	19764	555980	1653261	9	2
85	20116	564904	1648453	6	2
86	20186	566136	1645640	7	2
87	20382	556316	1653702	11	2
88	20740	562082	1652864	7	2
89	21191	569617	1647861	10	2
90	21938	575763	1651557	5	2

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
91	22973	576074	1634830	10	2
92	23567	584058	1635577	4	2
93	23723	581252	1633505	3	2
94	23786	585024	1636030	11	2
95	24093	578127	1635642	8	2
96	24158	579601	1632855	8	2
97	24323	586845	1636074	5	2
98	24875	590694	1650765	5	2
99	25092	592572	1645279	11	2
100	26320	597719	1611464	8	2
101	26555	590551	1629954	3	2
102	27066	591844	1634322	8	2
103	27356	584869	1631084	2	2
104	27528	581739	1630427	11	2
105	27682	588003	1631878	8	2
106	28300	604487	1644095	5	2
107	28491	599807	1647194	10	2
108	29575	610374	1636785	11	2
109	29759	605581	1637667	7	2
110	29781	606730	1638629	7	2
111	29926	605364	1633898	11	2
112	30538	589432	1646447	4	2
113	30556	587863	1642134	4	2

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
114	30557	587899	1642124	3	2
115	30692	588256	1645333	8	2
116	31595	590547	1637411	6	2
117	31700	585246	1637797	8	2
118	32468	588244	1643040	5	2
119	32547	579415	1653027	3	2
120	33704	584495	1641516	4	2
121	33757	572730	1646426	7	2
122	34124	579404	1649283	11	2
123	34159	584160	1645305	6	2
124	34183	586378	1642042	10	2
125	35277	598075	1574094	6	2
126	35749	597322	1567802	7	2
127	35764	598321	1567434	9	2
128	35765	597987	1567621	5	2
129	35768	598336	1567203	4	2
130	36390	603276	1566224	7	2
131	37323	586909	1612668	4	2
132	37327	586575	1613264	9	2
133	37337	587661	1610893	4	2
134	37387	603264	1610885	10	2
135	196	583984	1560014	11	3
136	968	583628	1560831	8	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
137	1888	585858	1565727	9	3
138	2552	600459	1563136	10	3
139	2559	600018	1562900	7	3
140	2595	599546	1561594	9	3
141	2994	595916	1638474	3	3
142	3956	629419	1646221	8	3
143	4324	617281	1625524	11	3
144	4371	602486	1643984	5	3
145	4390	599598	1644362	3	3
146	4509	592715	1618212	5	3
147	4540	590514	1617370	2	3
148	4989	587656	1623131	1	3
149	5168	591443	1616129	4	3
150	5196	590230	1619450	8	3
151	5795	603196	1626667	4	3
152	7191	586055	1566461	5	3
153	7587	598881	1569841	9	3
154	9188	542696	1642938	5	3
155	9346	539595	1634272	7	3
156	9594	538280	1638639	8	3
157	9761	541794	1644439	2	3
158	10915	586384	1627573	1	3
159	11136	564233	1643832	4	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
161	12128	557216	1642877	8	3
162	13737	597044	1628894	4	3
163	13789	594544	1632788	9	3
164	14161	596034	1632849	9	3
165	14379	591974	1630127	2	3
166	14713	594896	1627403	9	3
167	15381	608677	1566151	3	3
168	16594	551769	1629084	7	3
169	16760	564152	1636195	6	3
170	17000	576771	1639215	6	3
171	17182	562415	1636375	11	3
172	18526	593292	1608536	11	3
173	18720	592155	1611800	1	3
174	19351	564278	1645299	7	3
175	19708	563293	1649131	8	3
176	19717	565717	1648687	3	3
177	19756	563647	1652141	11	3
178	20305	557363	1650892	5	3
179	20313	558078	1654504	9	3
180	20574	557572	1654272	5	3
181	20701	566704	1646984	9	3
182	21112	571777	1651685	8	3
183	21516	571196	1653602	7	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
184	22313	595404	1593173	5	3
185	22865	582220	1632128	4	3
186	23541	582169	1634600	5	3
187	23715	582459	1632576	7	3
188	23734	581508	1632986	11	3
189	23885	579045	1637698	9	3
190	24142	579550	1633530	7	3
191	24148	580386	1633925	8	3
192	24170	580183	1632423	11	3
193	24908	599213	1647047	8	3
194	24913	595179	1645106	5	3
195	25547	594236	1645253	11	3
196	25711	592172	1645074	10	3
197	26111	616282	1618877	10	3
198	26352	609470	1606227	10	3
199	26526	588862	1630905	3	3
200	26597	591467	1634641	4	3
201	26934	592290	1632498	8	3
202	26999	593195	1635544	3	3
203	27071	592389	1633855	5	3
204	27171	591681	1632981	3	3
205	27334	585600	1631522	8	3
206	27399	585400	1629985	3	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
207	27672	586482	1631529	3	3
208	27700	591339	1631895	11	3
209	27964	599067	1574724	6	3
210	28515	606630	1646026	10	3
211	28696	624410	1629108	6	3
212	29092	594805	1595040	6	3
213	29128	589128	1590353	1	3
214	29767	606828	1638681	4	3
215	29929	604465	1633642	7	3
216	29996	608683	1636800	6	3
217	30348	590889	1647819	7	3
218	31124	581390	1638220	4	3
219	31166	584865	1639087	11	3
220	31188	585009	1637009	6	3
221	32692	584411	1646922	8	3
222	32942	578615	1641182	11	3
223	33269	582268	1650961	6	3
224	33727	584272	1641024	11	3
225	33733	585188	1640950	2	3
226	33963	582457	1641366	1	3
227	33968	579747	1640607	11	3
228	35108	616526	1625231	11	3
229	35717	596812	1567264	4	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
230	35791	598310	1568038	11	3
231	35949	599309	1567361	11	3
232	35980	602513	1567159	6	3
233	36310	605318	1563677	11	3
234	36939	591219	1603263	3	3
235	37349	599334	1612631	10	3
236	1759	585557	1563788	8	4
237	2571	599020	1562552	4	4
238	4172	625308	1646213	6	4
239	4177	624466	1646326	11	4
240	4384	602612	1642818	10	4
241	5176	591194	1616974	5	4
242	7150	596507	1569402	8	4
243	7755	590590	1573696	10	4
244	9778	536315	1638771	3	4
245	9927	591072	1626297	1	4
246	9972	587722	1626942	1	4
247	10482	588732	1627897	8	4
248	11785	552100	1634798	4	4
249	12152	564484	1639876	11	4
250	13368	603230	1623193	9	4
251	13370	601856	1623419	10	4
252	13590	610350	1619978	2	4

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
253	14284	598041	1632009	3	4
254	14375	594527	1634628	3	4
255	14684	596690	1628256	6	4
256	15296	606432	1564863	4	4
257	15525	589490	1574989	5	4
258	15683	594589	1581562	8	4
259	15927	591625	1579765	8	4
260	16356	618389	1617606	10	4
261	16384	569610	1638077	4	4
262	16539	552504	1633912	6	4
263	16576	550418	1630802	4	4
264	17180	561609	1636654	9	4
265	17544	562650	1636533	8	4
266	17580	551530	1632606	8	4
267	18383	596574	1607238	1	4
268	19183	560857	1652027	8	4
269	19750	564782	1644551	9	4
270	21146	576178	1651174	6	4
271	23533	582015	1635207	6	4
272	23730	581659	1633198	4	4
273	23775	580251	1630973	7	4
274	23959	573414	1636487	8	4
275	23972	574355	1636428	8	4

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
276	23975	574779	1636189	7	4
277	24386	571906	1639254	5	4
278	25140	593180	1645476	7	4
279	25353	594307	1649023	9	4
280	26100	616694	1620473	8	4
281	26357	612868	1608707	1	4
282	26702	586668	1631334	5	4
283	27149	590347	1631253	7	4
284	27295	589295	1631982	5	4
285	27537	582905	1630883	9	4
286	27752	589187	1629550	10	4
287	27934	587138	1632752	7	4
288	27992	599661	1574609	4	4
289	28522	606476	1646930	9	4
290	28757	625363	1629569	10	4
291	28779	625126	1629115	9	4
292	29094	595818	1593852	2	4
293	30178	608821	1635905	6	4
294	30461	586458	1649540	10	4
295	32116	577984	1648482	3	4
296	32192	576288	1640642	3	4
297	32700	586569	1643068	11	4
298	32948	576952	1641966	8	4

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
299	33156	579751	1648424	10	4
300	34085	577935	1647505	7	4
301	34997	615157	1628050	8	4
302	35318	597684	1574816	11	4
303	35476	627683	1625272	5	4
304	35551	601029	1570583	7	4
305	35552	601072	1570493	6	4
306	35586	600847	1566979	4	4
307	35767	598417	1567274	11	4
308	36144	600774	1564210	11	4
309	36168	601625	1564150	9	4
310	36385	603855	1566966	6	4
311	36731	595288	1603595	7	4
312	37344	594824	1602151	7	4
313	598	588956	1562584	9	5
314	599	588991	1562421	6	5
315	2765	594944	1561558	7	5
316	3954	623007	1605702	11	5
317	4577	588186	1622182	9	5
318	5174	590375	1616986	9	5
319	5391	598284	1625505	6	5
320	8972	534953	1641867	8	5
321	9749	545230	1635851	2	5

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
322	10596	590099	1624981	2	5
323	10790	592613	1624743	5	5
324	11595	560092	1644275	10	5
325	11899	559356	1638884	1	5
326	12191	561972	1643108	7	5
327	12307	563389	1641526	7	5
328	12355	557967	1641521	6	5
329	13278	541779	1648503	5	5
330	13942	601471	1631460	1	5
331	14299	604363	1632674	3	5
332	14337	597341	1630759	9	5
333	14399	594211	1631642	5	5
334	14711	594841	1626970	5	5
335	14783	594664	1600058	5	5
336	14789	593903	1596726	10	5
337	15352	606420	1567052	10	5
338	15714	594435	1585685	11	5
339	16489	567286	1640152	10	5
340	16765	563783	1635508	3	5
341	16866	568327	1638137	5	5
342	17317	550970	1632272	4	5
343	17387	560463	1637786	5	5
344	17461	570260	1639056	4	5

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
345	17481	564409	1635744	5	5
346	17482	564432	1634869	6	5
347	17553	567329	1637346	4	5
348	17791	560881	1636107	7	5
349	18505	592889	1608782	5	5
350	19587	562693	1648724	9	5
351	19770	555750	1654326	11	5
352	20337	562566	1650841	3	5
353	20498	553539	1656537	4	5
354	20675	564650	1644255	5	5
355	21400	571214	1649109	8	5
356	21681	568461	1650026	5	5
357	22380	575886	1637696	7	5
358	22872	584182	1635560	3	5
359	24391	572205	1638900	7	5
360	24457	578461	1631401	10	5
361	25925	623668	1623270	3	5
362	26707	583260	1632193	3	5
363	27082	592775	1633212	3	5
364	27107	591443	1631516	5	5
365	27344	584881	1631594	5	5
366	27986	600288	1574611	8	5
367	28164	606266	1644194	3	5

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
368	28280	606225	1643041	2	5
369	28327	606021	1646502	5	5
370	28368	601471	1644789	9	5
371	28767	626215	1629531	5	5
372	29149	588817	1591780	5	5
373	29307	595559	1596171	1	5
374	30185	587900	1651478	2	5
375	30460	587066	1650915	5	5
376	31073	616092	1634206	7	5
377	31759	583662	1639929	6	5
378	31798	582393	1638161	2	5
379	32279	578925	1650210	6	5
380	33305	583236	1648983	9	5
381	33899	573809	1641637	10	5
382	34182	586584	1643198	7	5
383	35290	596607	1575668	5	5
384	35292	596270	1575204	8	5
385	35464	627231	1624440	5	5
386	35587	600603	1567388	3	5
387	35753	597723	1567689	9	5
388	36123	599885	1564784	6	5
389	37129	593166	1607559	5	5
390	37574	617223	1614996	5	5

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
391	2942	601542	1562852	5	6
392	3957	629139	1646201	7	6
393	4537	591436	1616600	2	6
394	4592	592550	1623587	7	6
395	5591	604046	1629291	11	6
396	5595	603491	1630159	6	6
397	5761	601080	1628928	3	6
398	5773	598336	1624431	1	6
399	8196	594812	1580430	6	6
400	8392	603509	1573468	11	6
401	8742	613983	1619104	9	6
402	8745	613004	1619209	9	6
403	8787	534423	1641355	3	6
404	8971	534833	1641825	7	6
405	9743	544460	1634242	10	6
406	9947	594112	1624540	2	6
407	9973	586432	1628395	3	6
408	12111	560651	1640530	6	6
409	12327	565583	1643036	7	6
410	12548	563928	1639337	10	6
411	13280	540677	1649990	8	6
412	13697	595590	1627576	9	6
413	13907	594371	1625834	2	6

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
414	14200	594365	1632201	8	6
415	14966	593197	1597227	10	6
416	15772	592460	1578813	10	6
417	15989	592706	1582043	8	6
418	16472	570305	1637458	6	6
419	16529	553553	1633941	11	6
420	16557	551376	1631887	11	6
421	17152	573372	1642533	5	6
422	17295	552671	1630625	4	6
423	18357	595546	1614125	5	6
424	18498	592529	1608968	10	6
425	19159	562644	1645853	3	6
426	19397	567009	1647859	8	6
427	19595	560527	1651007	6	6
428	19934	565449	1651981	5	6
429	20326	563528	1651936	10	6
430	21066	576466	1649783	9	6
431	22299	594035	1591993	5	6
432	22897	588930	1635572	3	6
433	23479	583454	1635866	5	6
434	24108	578680	1636010	9	6
435	24577	575814	1636314	8	6
436	25364	594498	1648303	11	6

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
437	25588	592989	1647350	5	6
438	25799	630696	1626753	4	6
439	26501	589459	1631841	3	6
440	26528	586986	1630226	8	6
441	26567	590517	1628169	5	6
442	26738	592881	1636889	5	6
443	26877	593635	1638321	2	6
444	26897	593194	1635203	6	6
445	26954	589466	1634525	8	6
446	26973	593784	1636916	5	6
447	26976	593779	1636825	8	6
448	27137	590197	1630852	7	6
449	27599	593424	1637408	9	6
450	27991	599762	1574614	5	6
451	28965	629674	1630344	2	6
452	29058	625152	1628705	3	6
453	29320	595139	1595698	11	6
454	29711	604134	1634124	4	6
455	30384	590156	1644483	5	6
456	30584	592032	1642985	11	6
457	31731	583673	1636978	1	6
458	32167	580395	1653454	6	6
459	32726	581230	1639307	3	6

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
460	33183	578512	1653714	7	6
461	33296	582839	1647478	8	6
462	33368	585359	1646058	1	6
463	33584	583047	1641409	1	6
464	33774	573748	1647641	3	6
465	33950	579207	1654424	2	6
466	35103	606655	1626164	7	6
467	35321	598127	1575154	3	6
468	36120	602695	1565000	6	6
469	36165	601510	1564082	8	6
470	37326	587077	1612974	6	6
471	37526	617724	1613694	4	6
472	3968	629485	1641225	8	7
473	4354	603868	1643647	11	7
474	4761	592486	1618681	8	7
475	4941	590373	1616361	2	7
476	7583	599199	1570108	9	7
477	8795	535272	1640744	2	7
478	9200	542779	1641482	9	7
479	9595	537743	1639467	8	7
480	9963	593434	1623340	2	7
481	9979	587179	1626826	10	7
482	10862	588729	1627294	5	7

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัสแปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บเกี่ยว
		x	y		
483	12147	562567	1638950	7	7
484	12299	565179	1643892	8	7
485	15715	594277	1585678	10	7
486	15885	589955	1579365	6	7
487	15899	590192	1579661	3	7
488	15951	592620	1579704	8	7
489	15970	592964	1580789	4	7
490	16303	619847	1616994	6	7
491	16553	551778	1632406	7	7
492	17094	574651	1638897	2	7
493	17398	558622	1637192	8	7
494	18165	591937	1616551	3	7
495	18373	596629	1608277	9	7
496	18396	596384	1613561	9	7
497	19131	565780	1649031	11	7
498	19304	564056	1644780	3	7
499	19557	564201	1644138	1	7
500	19586	565395	1648554	6	7
501	20319	558719	1653882	7	7
502	20526	560253	1654235	3	7
503	20736	561967	1650874	6	7
504	20746	563288	1650489	7	7
505	21176	578430	1654192	6	7

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัส แปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บ เกี่ยว
		x	y		
506	21265	568338	1655184	4	7
507	21349	569664	1652098	9	7
508	21717	574575	1654789	11	7
509	22713	574309	1633444	1	7
510	23159	583313	1634572	6	7
511	23298	590488	1636158	11	7
512	23512	582119	1636523	8	7
513	23721	581048	1633473	8	7
514	23973	574746	1636736	6	7
515	24126	580352	1634960	7	7
516	24345	580824	1632277	4	7
517	24888	594089	1648629	5	7
518	26313	597511	1612680	6	7
519	26322	598245	1611483	6	7
520	26369	588652	1628602	4	7
521	26374	589838	1629178	3	7
522	26388	592135	1634463	4	7
523	26392	584854	1630195	5	7
524	26503	590211	1632273	4	7
525	26557	590607	1629750	6	7
526	27286	588758	1632671	4	7
527	27395	584890	1630283	5	7
528	27779	587406	1628989	11	7

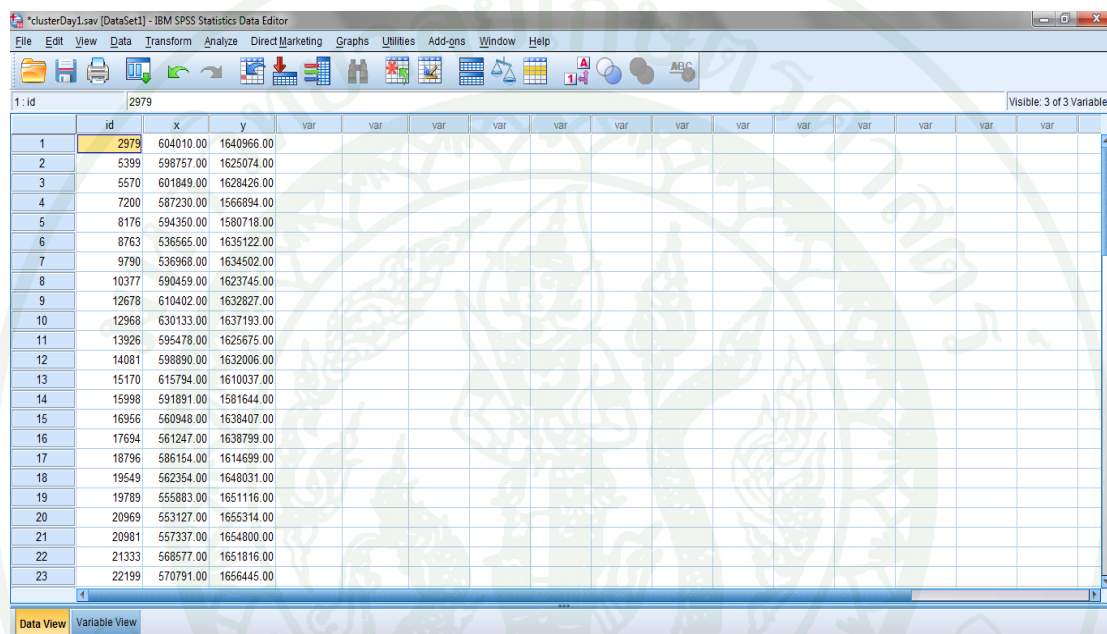
ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

แปลงที่	รหัส แปลง	พิกัด		ขนาดของแปลง (ไร่)	อายุวันเก็บ เกี่ยว
		x	y		
529	28165	606363	1644069	7	7
530	29366	595065	1596078	1	7
531	29397	590605	1593883	8	7
532	29927	604840	1633774	6	7
533	30659	590929	1645242	8	7
534	30709	591614	1645294	5	7
535	30744	591141	1645551	8	7
536	30972	616159	1632033	2	7
537	31108	579996	1638408	1	7
538	31693	589229	1637990	3	7
539	32091	580341	1653142	3	7
540	32313	575731	1644586	8	7
541	32777	588030	1643199	9	7
542	33089	579493	1643444	9	7
543	33113	581745	1641620	9	7
544	34176	579486	1641333	9	7
545	34535	577275	1640936	6	7
546	35731	597886	1566827	5	7
547	35897	598958	1569433	5	7
548	36353	603850	1565405	8	7



การวิเคราะห์จัดกลุ่มแปลงยอดและใบอ้อยนี้ ทำโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 20 และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

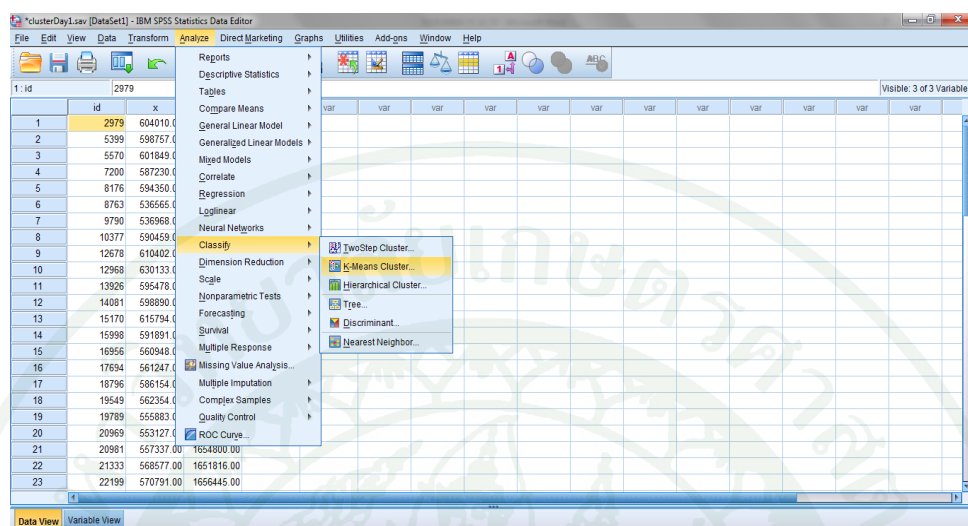
1. นำข้อมูลแปลงยอดและใบอ้อยที่ต้องการทำการจัดกลุ่มมาใส่ในหน้า Data View ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูล ID และข้อมูลพิกัด X และ Y ของแปลง



	id	x	y	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	2979	604010.00	1640966.00													
2	5399	598757.00	1625074.00													
3	5570	601849.00	1628426.00													
4	7200	587230.00	1566894.00													
5	8176	594350.00	1580718.00													
6	8763	536565.00	1635122.00													
7	9790	536968.00	1634502.00													
8	10377	590459.00	1623745.00													
9	12678	610402.00	1632827.00													
10	12968	630133.00	1637193.00													
11	13926	595478.00	1625675.00													
12	14081	598890.00	1632006.00													
13	15170	615794.00	1610037.00													
14	15998	591891.00	1581644.00													
15	16956	560948.00	1638407.00													
16	17694	561247.00	1638799.00													
17	18796	586154.00	1614699.00													
18	19549	562354.00	1648031.00													
19	19789	555883.00	1651116.00													
20	20969	553127.00	1655314.00													
21	20981	557337.00	1654800.00													
22	21333	568577.00	1651816.00													
23	22199	570791.00	1656445.00													

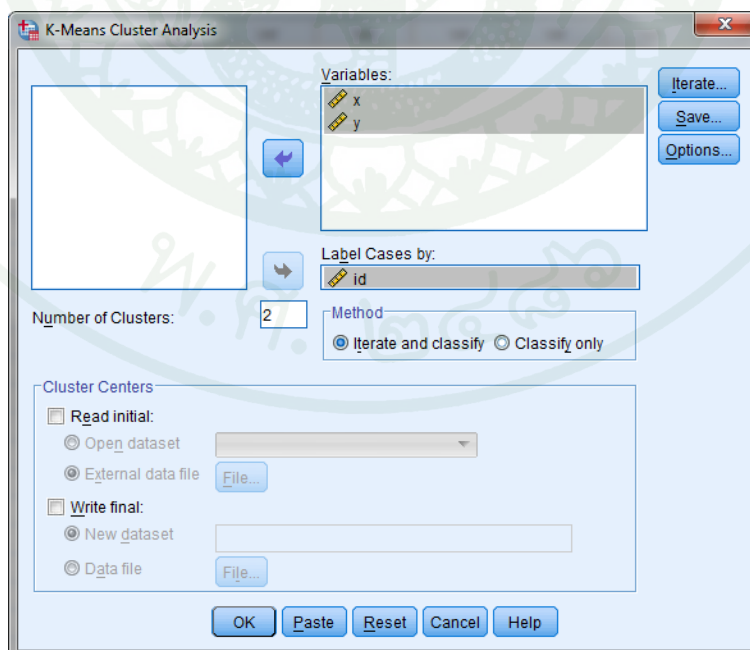
ภาพผนวกที่ ข1 การใส่ข้อมูลลงใน Data View

2. คลิกเลือกที่ Analyze ไปที่ Classify คลิกเลือกที่ K-Means Cluster



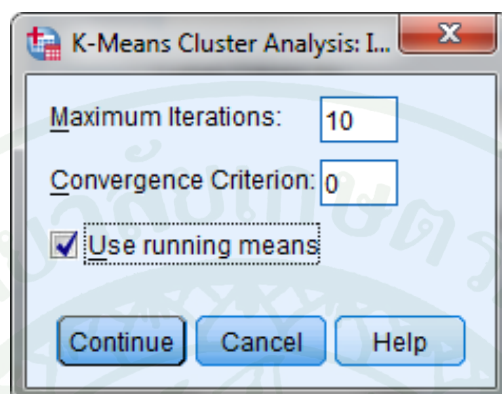
ภาพผนวกที่ ข2 ขั้นตอนในการเลือกวิธีที่ใช้วิเคราะห์การจัดกลุ่ม ด้วย K-Means Cluster

3. นำข้อมูลพิกัด X และ Y export ไปที่ช่อง Variables ส่วนข้อมูล ID export ไปที่ช่อง Label cases by ดังภาพผนวกที่ ข3



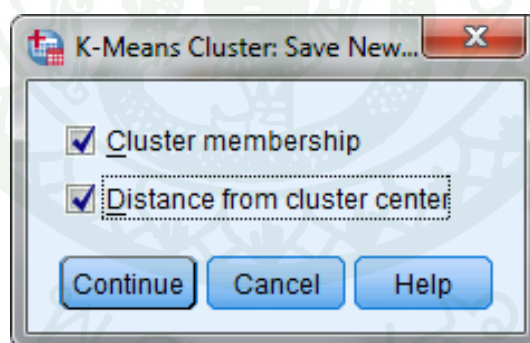
ภาพผนวกที่ ข3 ขั้นตอนการใส่ข้อมูลในการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม ด้วย K-Means Cluster

4. คลิกที่ปุ่ม Iterate และทำเครื่องหมายถูกที่หน้าช่อง Use running means จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Continue ดังภาพผนวกที่ ข4



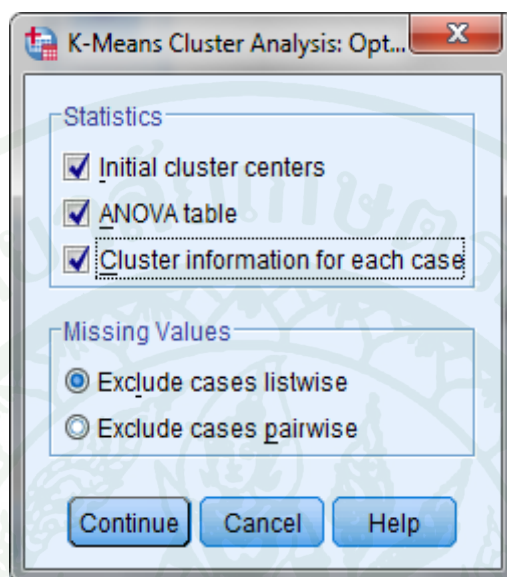
ภาพผนวกที่ ข4 กำหนดค่า Iterate ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster

5. คลิกปุ่ม Save ทำเครื่องหมายถูกที่หน้าช่อง Cluster membership และช่อง Distance from cluster center จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Continue ภาพผนวกที่ ข5



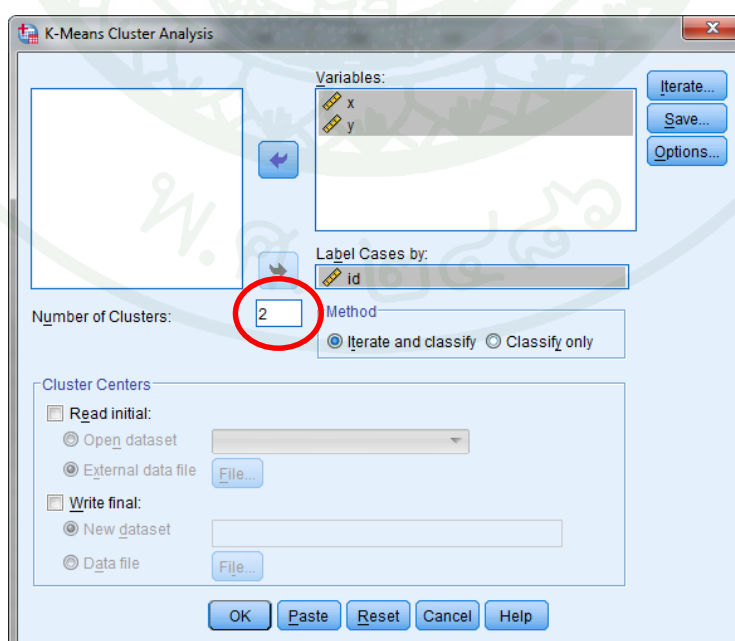
ภาพผนวกที่ ข5 กำหนดค่า Save ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster

6. คลิกปุ่ม Option ทำเครื่องหมายถูกที่หน้าช่อง Initial cluster center, ANOVA table และ Distance Cluster information for each case จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Continue ภาพผนวกที่ ข6



ภาพผนวกที่ ข6 กำหนดค่า Option ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster

7. ใส่จำนวนของกลุ่มที่ต้องการจัดกลุ่ม ในช่อง Number of Cluster จากนั้นคลิกที่ปุ่ม OK



ภาพผนวกที่ ข7 กำหนดค่า Number of Cluster ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ K-Means Cluster

8. จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างของผลลัพธ์ที่ได้ หลังจากทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข8

*Output1 [Document1] - IBM SPSS Statistics Viewer

File Edit View Data Transform Insert Format Analyze Direct Marketing Graphs Utilities Add-ons Window Help

Output Log Quick Cluster Title Notes Active Dataset Initial Cluster Cent Iteration History Cluster Members Final Cluster Cent Distances between ANOVA Number of Cases

Initial Cluster Centers

	Cluster				
	1	2	3	4	5
x	593730.00	536565.00	584752.00	587230.00	630133.00
y	1606933.00	1635122.00	1646931.00	1566894.00	1637193.00

Iteration History^a

	Change in Cluster Centers				
Iteration	1	2	3	4	5
1	12359.888	20742.634	5965.263	11017.123	11774.833
2	4115.051	1885.694	1238.044	3117.274	4953.953
3	274.337	171.427	88.432	283.389	707.708
4	18.289	15.584	6.317	25.763	101.101
5	1.219	1.417	.451	2.342	14.443
6	.081	.129	.032	.213	2.063
7	.005	.012	.002	.019	.295
8	.000	.001	.000	.002	.042
9	2.408E-005	9.677E-005	1.174E-005	.000	.006
10	1.606E-006	8.797E-006	8.390E-007	1.454E-005	.001

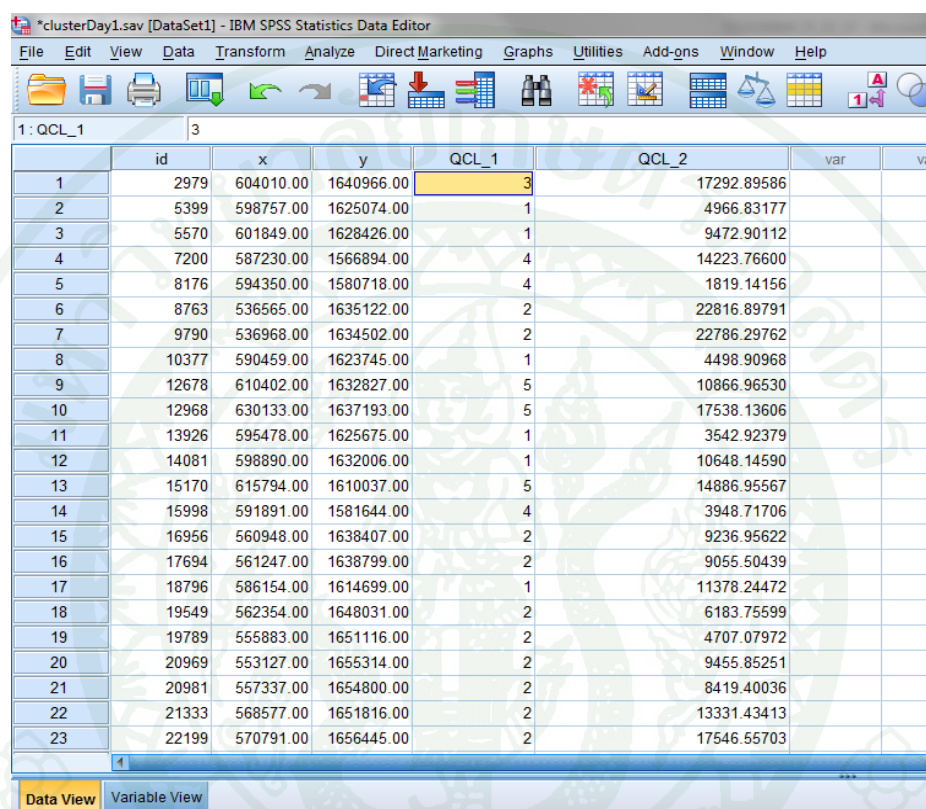
a. Iterations stopped because the maximum number of iterations was performed. Iterations failed to converge. The maximum absolute coordinate change for any center is .001. The current iteration is 10. The minimum distance between initial centers is 40563.179.

Cluster Membership

Case Number	Id	Cluster	Distance
1	2979	3	17292.896
2	5399	1	4966.832
3	5570	1	9472.901

ภาพผนวกที่ ข8 ผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วย K-Means Cluster

9. ข้อมูลประเภทกลุ่ม และระยะห่างระหว่างพิกัดของแปลงหนึ่งๆกับจุดกึ่งกลางของกลุ่มในแต่ละกลุ่ม จากปรากฏอยู่ที่หน้า Data View ในคอลัมน์ QCL_1 และ QCL_2 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข9



	id	x	y	QCL_1	QCL_2	var	var
1	2979	604010.00	1640966.00	3	17292.89586		
2	5399	598757.00	1625074.00	1	4966.83177		
3	5570	601849.00	1628426.00	1	9472.90112		
4	7200	587230.00	1566894.00	4	14223.76600		
5	8176	594350.00	1580718.00	4	1819.14156		
6	8763	536565.00	1635122.00	2	22816.89791		
7	9790	536968.00	1634502.00	2	22786.29762		
8	10377	590459.00	1623745.00	1	4498.90968		
9	12678	610402.00	1632827.00	5	10866.96530		
10	12968	630133.00	1637193.00	5	17538.13606		
11	13926	595478.00	1625675.00	1	3542.92379		
12	14081	598890.00	1632006.00	1	10648.14590		
13	15170	615794.00	1610037.00	5	14886.95567		
14	15998	591891.00	1581644.00	4	3948.71706		
15	16956	560948.00	1638407.00	2	9236.95622		
16	17694	561247.00	1638799.00	2	9055.50439		
17	18796	586154.00	1614699.00	1	11378.24472		
18	19549	562354.00	1648031.00	2	6183.75599		
19	19789	555883.00	1651116.00	2	4707.07972		
20	20969	553127.00	1655314.00	2	9455.85251		
21	20981	557337.00	1654800.00	2	8419.40036		
22	21333	568577.00	1651816.00	2	13331.43413		
23	22199	570791.00	1656445.00	2	17546.55703		

ภาพผนวกที่ ข9 การแสดงคำตอบของการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วย K-Means Cluster

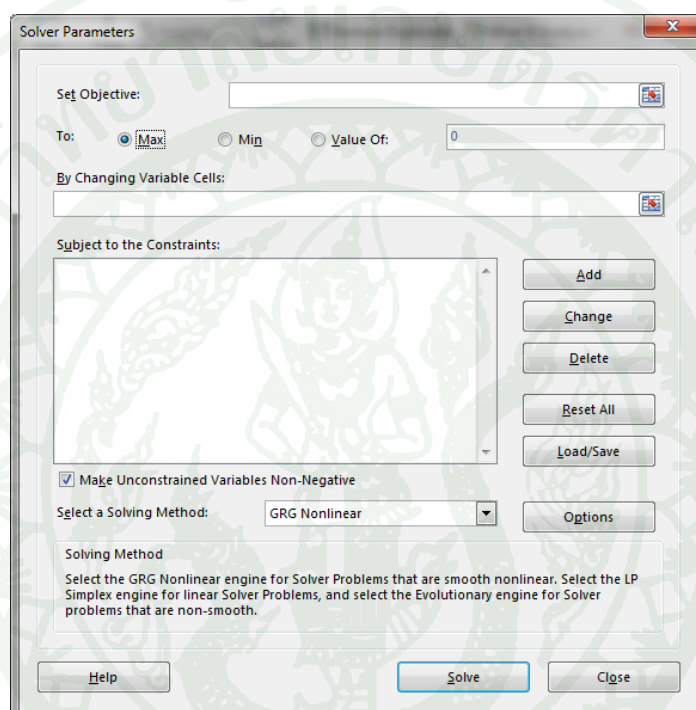


ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรมย่อย Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เวอร์ชัน 2013
ในการจัดการจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม

การใช้โปรแกรมย่อย Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เวอร์ชัน 2013 ในการจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เมื่อจะใช้ Solver ให้คลิกที่แท็บ Data แล้วคลิกที่คำสั่ง Solver และจะปรากฏหน้าต่างของ Solver Parameters ขึ้นมาตามภาพผนวกที่ ค1



ภาพผนวกที่ ค1 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Parameters

2. ในหน้าต่างของ Solver Parametters มีรายการหลักที่ต้องให้ข้อมูลแก่ Solver ดังนี้

Set objective : ใส่ตำแหน่งเซลล์ที่เป็นที่อยู่ของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีได้เซลล์เดียว

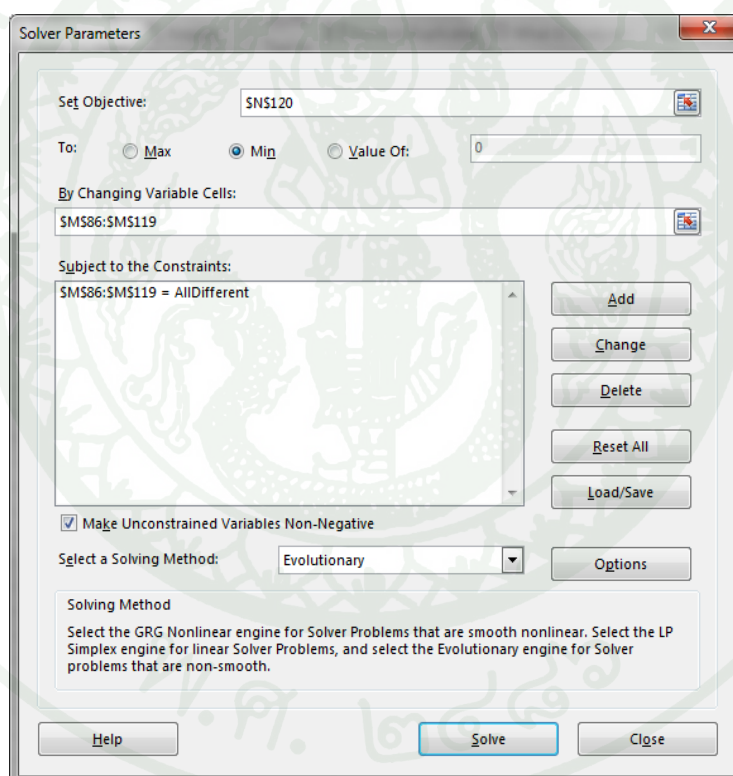
To : เลือก Min เพื่อต้องการให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าต่ำที่สุด

By Changing Variable Cells : ใส่ตำแหน่งของเซลล์ที่เป็นค่าตัวแปรตัดสินใจ

Subject to the Constrains : เป็นที่ใส่เงื่อนไขบังคับ โดยปกติแล้วจะมีหลายข้อ โดยด้านขวามือมีรายการให้เลือก เช่น คลิกที่ Add เมื่อต้องการเพิ่มเงื่อนไขบังคับ

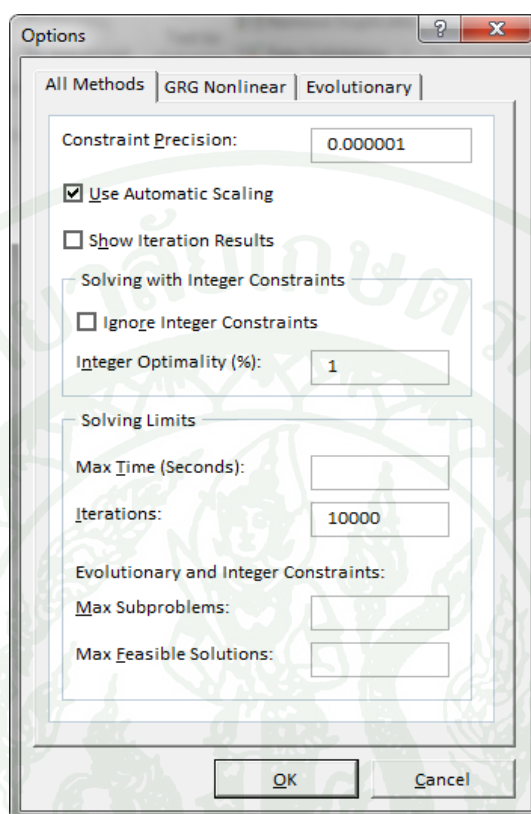
Select a Solving Method : เลือกใช้วิธีแก้ปัญหา โดยเลือกที่ Evolutionary ดังภาพผนวก

ที่ ค2



ภาพผนวกที่ ค2 การกำหนด Solver Parametters

3. ตั้งค่า Options ในแท็บ All Method ดังภาพผนวกที่ ค3



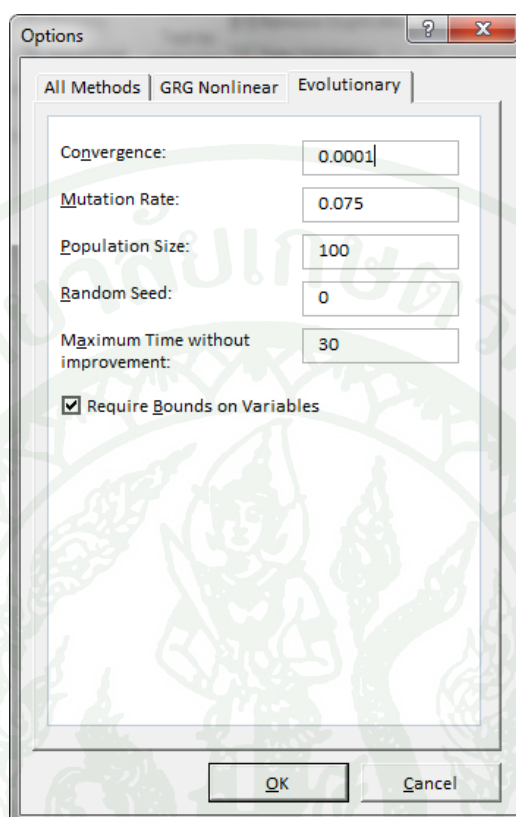
ภาพผนวกที่ ค3 กำหนดค่า Options ในแท็บ All Methods

Constraint Precision : ความละเอียดในการคำนวณ ค่าดีฟอลต์ คือ 0.000001

Use Automatic Scaling : หากทำเครื่องหมาย ✓ ไว้ข้างหน้า จะเป็นการบอกให้ Solver ปรับขนาดของค่าตัวแปรต่างๆ ค่าของเงื่อนไขจำกัด ตลอดจนค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ให้มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าดีฟอลต์ ของรายการนี้จะมีเครื่องหมาย ✓ ไว้ก่อนแล้ว

Solver Limit : กรอบจำกัดการค้นหาคำตอบของ Solver ด้วยเวลา (Max Time) และด้วยจำนวนรอบในการคำนวณ (Iterations) โดยในงานทดลองนี้ได้กำหนด Iterations เท่ากับ 10,000 รอบ เพื่อให้ Solver คำนวณเข้าไปเข้ามาตามรอบที่กำหนดไว้ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังภาพผนวกที่ ค3

4. ตั้งค่า Options ในแท็บ Evolutionary ดังภาพผนวกที่ ค4



ภาพผนวกที่ ค4 กำหนดค่า Options ในแท็บ Evolutionary

Convergence : วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปกติจะนิยมใช้ค่าดีฟอลต์ที่ให้มา คือ 0.0001

Mutation Rate : กำหนดอัตราการปรับเปลี่ยนโครโมโซม ค่าดีฟอลต์ คือ 0.075

Population Size : จำนวนของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในขณะหนึ่งที่เก็บไว้ (ก่อนที่จะเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด) ค่าดีฟอลต์ คือ 100

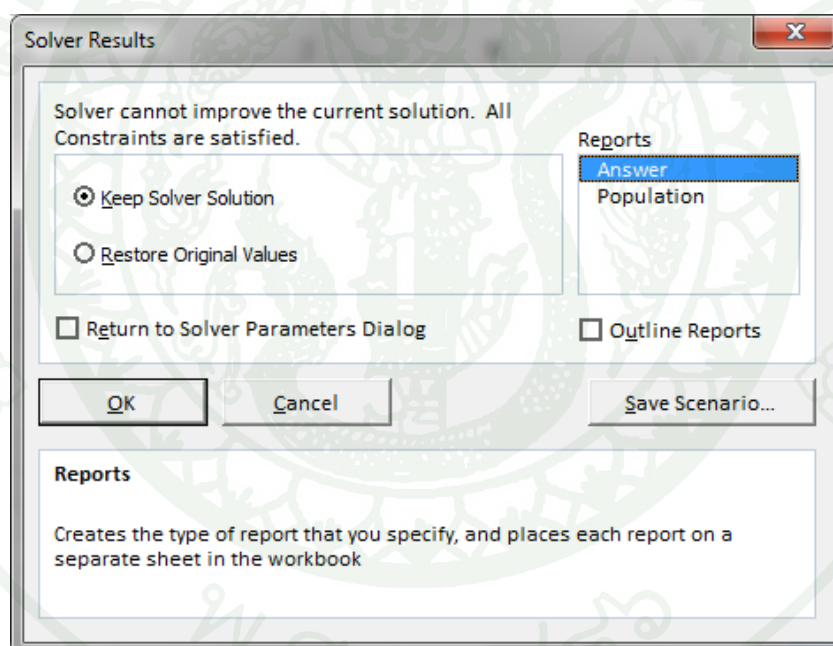
Random Seed : หากใส่ตัวเลขจำนวนเต็มและคงค่านั้นไว้ กระบวนการหาคำตอบของ Solver ที่อาศัยการสุ่มจะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ได้ผลลัพธ์เดิม แต่หากปล่อย Option นี้ให้ว่างไว้ Solver จะเลือกตัวเลขสุ่มขึ้นมาเองใหม่ทุกครั้งที่ทำกร Solver ค่าดีฟอลต์ คือ 0

Maximum Time without Improvement : ค่าของเวลาที่กำหนดไว้เพื่อใช้ใน Solver หยุดการประมวลผล เมื่อไม่พบคำตอบหรือผลลัพธ์มีความเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นภายในเวลาที่กำหนด ค่าดีฟอลต์ คือ 30

Requir Bounds on Variables : ทำการใส่เครื่องหมาย ✓ ข้างหน้า เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตขั้นต่ำและขอบเขตขั้นสูงของตัวแปรตัดสินใจทุกตัว เพื่อช่วย Solver ในการค้นหาผลลัพธ์ และเมื่อกำหนดค่า Options ต่างๆเรียบร้อยแล้ว คลิกปุ่ม OK ดังภาพผนวกที่ ค4

5. ภายหลังจากการกำหนดค่า Options ต่างๆเรียบร้อยแล้ว จะกลับมาสู่หน้า Solver Parametters หลังจากนั้นให้คลิกปุ่ม Solver เพื่อทำการค้นหาคำตอบ

6. หลังจากค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้ว Solver จะแจ้งผลการค้นหา โดยปรากฏหน้าต่าง Solver Results จากนั้นให้คลิกเลือกที่รายงานคำตอบ (Answer Report) แล้วเลือก OK ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค5



ภาพผนวกที่ ค5 การแสดงผลของ Solver

7. รายงานคำตอบจะปรากฏใน Sheet ใหม่ที่ชื่อว่า Answer Report โดยในรายงานคำตอบนี้แสดงผลลัพธ์ และบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่น วิธีที่ใช้หาผลลัพธ์ การตั้งค่า Option ต่างๆ จำนวนรอบที่คำนวณซ้ำ ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค6

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K																														
1	Microsoft Excel 15.0 Answer Report																																								
2	Worksheet: [VRP route-day1.xlsx]route-Day1																																								
3	Report Created: 9/11/2557 0:33:13																																								
4	Result: Solver cannot improve the current solution. All Constraints are satisfied.																																								
5	Solver Engine																																								
6	Engine: Evolutionary																																								
7	Solution Time: 34.804 Seconds.																																								
8	Iterations: 0 Subproblems: 18193																																								
9	Solver Options																																								
10	Max Time Unlimited, Iterations 10000, Precision 0.000001, Use Automatic Scaling																																								
11	Convergence 0.0001, Population Size 100, Random Seed 0, Mutation Rate 0.075, Time w/o Improve 30 sec, Require Bounds																																								
12	Max Subproblems Unlimited, Max Integer Sols Unlimited, Integer Tolerance 1%, Assume NonNegative																																								
13																																									
14	Objective Cell (Min)																																								
15	<table><tr><th>Cell</th><th>Name</th><th>Original Value</th><th>Final Value</th></tr><tr><td>\$R\$145</td><td>distance Cum</td><td>45000000</td><td>1073409.468</td></tr></table>											Cell	Name	Original Value	Final Value	\$R\$145	distance Cum	45000000	1073409.468																						
Cell	Name	Original Value	Final Value																																						
\$R\$145	distance Cum	45000000	1073409.468																																						
16																																									
17																																									
18																																									
19	Variable Cells																																								
20	<table><tr><th>Cell</th><th>Name</th><th>Original Value</th><th>Final Value</th><th>Integer</th></tr><tr><td>\$K\$100</td><td>to</td><td>0</td><td>26</td><td>AllDiff</td></tr><tr><td>\$K\$101</td><td>to</td><td>0</td><td>33</td><td>AllDiff</td></tr><tr><td>\$K\$102</td><td>to</td><td>0</td><td>39</td><td>AllDiff</td></tr><tr><td>\$K\$103</td><td>to</td><td>0</td><td>22</td><td>AllDiff</td></tr><tr><td>\$K\$104</td><td>to</td><td>0</td><td>20</td><td>AllDiff</td></tr></table>											Cell	Name	Original Value	Final Value	Integer	\$K\$100	to	0	26	AllDiff	\$K\$101	to	0	33	AllDiff	\$K\$102	to	0	39	AllDiff	\$K\$103	to	0	22	AllDiff	\$K\$104	to	0	20	AllDiff
Cell	Name	Original Value	Final Value	Integer																																					
\$K\$100	to	0	26	AllDiff																																					
\$K\$101	to	0	33	AllDiff																																					
\$K\$102	to	0	39	AllDiff																																					
\$K\$103	to	0	22	AllDiff																																					
\$K\$104	to	0	20	AllDiff																																					
21																																									
22																																									
23																																									
24																																									
25																																									

ภาพผนวกที่ ค6 รายงานคำตอบของการ Solver



ตารางผนวกที่ ๑1 คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 1 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มก่อนการจัดลำดับเส้นทาง ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (VRP -Cluster) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวยอดและใบอ้อย วันที่ 1-7

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและใบอ้อย	เส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
1	0-35683-2367-577-0-7593-0-16967-11388-17107-0-21352-20124-34546-0-32530-23787-0-4194-12992-25887-26136-0-28701-28744-0-27106-14363-14499-0-33597-33300-30756-0-24948-25326-30187-30718-0-4378-24945-25591-27561-0-10896-18371-18497-5164-4559-0-18972-36499-0-29356-22307-36791-36548-0-4596-0	996.79	326
2	0-35765-15724-35768-15947-1968-0-35764-6980-35749-0-15699-35277-186-0-36390-173-0-37327-37323-37337-18758-0-27356-18187-18491-18735-10775-0-14391-14077-13499-8740-26555-0-37387-26320-18367-0-27066-27682-0-17679-16600-8759-13281-0-16949-19361-0-19764-20382-0-33704-34183-30556-30557-0-27528-24158-0-20116-20740-21191-0-34124-17153-0-30538-24875-32547-21938-34159-0-24323-30692-32468-31595-0-23786-24093-0-16750-11550-20186-17562-0-23723-22973-33757-16987-0-17762-11570-19332-19302-0-11929-11939-12196-0-23567-31700-0-29575-3999-4189-0-12723-29926-0-29759-29781-28300-0-25092-28491-4367-0	1983.87	374

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและใบอ้อย	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
3	0-35791-1888-29128-0-7587-35949-35717-0-2595-2559-35980-0-7191-196-968-0-15381-36310-2552-0-27964-0-25711-30348-24913-0-33727-33963-32942-10915-0-27071-13789-2994-26999-26597-0-27700-26934-0-31166-33269-33733-0-23734-27334-0-24148-24142-27399-0-14161-13737-14379-27171-26526-27672-0-32692-33968-23541-0-22865-23885-17000-31124-0-25547-24908-4390-0-23715-24170-31188-0-11136-20305-20574-20313-0-9346-9594-9761-9188-0-16594-17182-16760-0-19717-19756-19708-0-21112-21516-20701-0-12090-12128-19351-0-26111-28696-3956-0-28515-4371-0-4324-35108-0-29929-29767-29996-5795-0-36939-29092-22313-26352-0-4989-18720-18526-37349-0-4509-5168-4540-5196-0-14713-0	2073.82	439
4	0-11785-9778-16576-17580-0-17544-17180-16539-0-35586-36168-15296-36385-0-36144-2571-1759-0-15927-7755-15525-0-7150-35767-27992-0-35318-35552-35551-0-29094-15683-0-35476-28779-28757-0-16356-26100-30178-0-4177-28522-0-34997-4172-4384-0-27295-14375-14284-14684-27149-0-13590-26357-37344-36731-18383-5176-9972-0-9927-13370-13368-0-10482-27752-0-19750-19183-21146-0-24386-12152-16384-0-23533-32948-23730-0-23959-23972-23975-0-27934-25353-25140-0-26702-23775-27537-0-33156-32116-34085-32192-0-32700-30461-0	1752.78	362

ตารางผนวกที่ ๓1 (ต่อ)

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและใบอ้อย	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
5	0-17553-12307-12355-11899-17387-0-24391-16489-16866-0-17482-17791-16765-17481-0-20675-19770-20498- 20337-0-11595-12191-17461-0-21400-21681-19587-0-22380-33899-0-33305-32279-0-17317-9749-8972-13278-0- 35290-35292-15352-29307-0-14783-15714-29149-0-598-599-35753-0-2765-36123-35587-27986-0-14789-0-31073- 28767-35464-25925-0-3954-37574-0-5174-18505-37129-10790-0-14711-5391-10596-4577-0-28368-28327-28164- 28280-27082-0-34182-30185-30460-31759-31798-0-27107-14399-14299-13942-14337-0-27344-26707-24457- 22872-0	1558.39	405
6	0-15989-8196-22299-0-29320-14966-0-8392-35321-15772-0-36120-2942-36165-27991-0-29058-25799-28965-3957- 0-8745-8742-37526-0-12327-12111-12548-0-17152-19397-19159-16472-0-24108-24577-0-21066-33183-33950- 32167-0-19934-20326-19595-33774-0-33368-33296-33584-32726-0-17295-8787-8971-13280-0-9743-16557-0- 16529-0-13697-5595-29711-0-37326-18498-18357-9973-0-5761-5591-35103-26501-0-23479-31731-14200-5773- 4537-9947-13907-0-26976-4592-26567-0-27137-26528-0-25364-25588-30384-22897-0-26954-26738-26973-26897- 0-30584-27599-26877-0	1505.31	419

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและใบอ้อย	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
7	0-29927-30972-3968-16303-0-4354-28165-0-20746-20736-20319-20526-0-21349-21265-19586-17094-0-34535-32313-34176-0-12299-19557-19304-19131-0-21717-21176-32091-0-23973-12147-17398-22713-0-33113-33089-0-57-59-45-0-54-60-43-42-44-0-52-40-50-0-46-47-37-36-0-41-39-55-0-31-32-38-33-49-0-61-62-58-53-0-34-35-48-0-56-51-0-9200-8795-9595-0-16553-0-15970-15951-7583-15899-0-29397-15715-29366-0-15885-35731-36353-35897-0	1316.22	534

หมายเหตุ รหัส 0 แทน โรงงาน

ตารางผนวกที่ ๖2 คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 1 โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยไม่มีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (VRP – without Cluster) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวขอดและใบอ้อย วันที่ 1-7

วันที่เก็บเกี่ยว ขอดและใบอ้อย	เส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
1	0-23787-34546-33597-27561-0-14499-10896-12992-28701-0-5164-18972-4559-0-32530-30756-0-25591-14363-0-18497-18371-4596-0-27106-24945-30718-0-28744-25887-4194-4378-0-577-2367-29356-0-36499-36791-36548-0-22307-7593-35683-26136-0-33300-30187-25326-24948-0-17107-11388-16967-0-21352-20124-0	982.23	159
2	0-17679-19332-13281-20740-0-14077-28491-4367-0-25092-31595-0-27066-27528-0-12723-10775-37323-0-20382-19764-19302-0-24093-19361-18187-0-26320-18491-15947-35764-0-35277-15724-6980-186-1968-18735-0-14391-34183-11939-0-34159-24875-28300-29781-0-27356-31700-24323-32468-30538-0-17762-16600-0-17153-24158-0-18367-4189-29926-0-26555-30556-32547-8759-8740-13499-0-37327-35768-173-36390-0-37337-37387-3999-0-35749-35765-15699-23723-0-11550-12196-21938-30557-33704-0-34124-33757-16987-0-18758-27682-0-23786-30692-0-21191-20186-20116-0-11929-11570-16949-0-22973-17562-16750-0-29575-29759-23567-0	2206.51	68

ตารางผนวกที่ ๖2 (ต่อ)

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและใบอ้อย	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
3	0-15381-2552-2595-0-26526-17000-21112-0-35108-4324-0-16594-23541-33963-36939-4989-0-23885-12090-20305-0-28696-29929-33733-0-19756-32942-0-9594-9188-9346-0-24913-29767-26934-27399-0-25711-24908-4390-0-26352-26111-14379-0-30348-33269-27171-27071-0-5168-31124-27334-22865-0-37349-5795-13737-0-33727-28515-0-31166-2994-29996-0-23715-10915-27700-0-24148-20574-5196-0-4371-23734-4540-0-21516-19708-9761-16760-0-17182-24170-0-14713-26597-14161-0-25547-3956-0-29092-196-31188-0-24142-12128-20313-0-19351-11136-19717-32692-0-13789-22313-27964-0-2559-7191-968-29128-0-20701-33968-0-4509-18526-0-7587-35717-35949-0-35980-36310-0-35791-1888-18720-26999-0-27672-0	2796.66	68
4	0-15381-2552-2595-0-26526-17000-21112-0-35108-4324-0-16594-23541-33963-36939-4989-0-23885-12090-20305-0-28696-29929-33733-0-19756-32942-0-9594-9188-9346-0-24913-29767-26934-27399-0-25711-24908-4390-0-26352-26111-14379-0-30348-33269-27171-27071-0-5168-31124-27334-22865-0-37349-5795-13737-0-33727-28515-0-31166-2994-29996-0-23715-10915-27700-0-24148-20574-5196-0-4371-23734-4540-0-21516-19708-9761-16760-0-17182-24170-0-14713-26597-14161-0-25547-3956-0-29092-196-31188-0-24142-12128-20313-0-19351-11136-19717-32692-0-13789-22313-27964-0-2559-7191-968-29128-0-20701-33968-0-4509-18526-0-7587-35717-35949-0-35980-36310-0-35791-1888-18720-26999-0-27672-0	2115.20	68

ตารางผนวกที่ ๖2 (ต่อ)

วันที่เก็บเกี่ยว ยอดและใบอ้อย	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
5	0-17317-9749-13278-20498-19587-0-24457-14711-5391-27082-0-17481-21400-30460-28164-0-598-15352-35290-0-13942-14299-37574-5174-10596-0-21681-20337-8972-16866-0-33899-34182-27107-0-29149-35292-599-10790-0-15714-14783-37129-0-12307-17387-17791-0-1219-11595-20675-30185-0-35587-2765-35753-29307-0-31759-24391-18505-14399-0-3954-28767-25925-35464-0-31073-28280-28368-0-22380-16489-26707-0-27344-16765-11899-12355-17553-0-14789-36123-27986-0-22872-31798-32279-33305-0-4577-14337-28327-0-17482-19770-17461-0	1880.81	230
6	0-26976-26973-33368-30384-0-8745-35103-0-21066-33774-20326-0-14200-28965-25799-37526-0-24577-12548-32167-0-35321-36120-8392-0-29320-14966-9973-0-24108-31731-29711-8742-5773-0-15989-15772-0-36165-2942-27991-4537-26501-0-26897-27599-26738-0-27137-25364-25588-0-26954-3957-29058-5761-0-17295-19159-33950-33296-33584-32726-0-30584-26877-13697-9947-0-23479-16472-33183-22897-0-4592-18498-37326-0-12111-13280-12327-0-17152-19397-19595-19934-0-13907-18357-5591-5595-0-16529-8787-8971-0-26567-22299-8196-26528-0-16557-9743-0	1810.25	195

ตารางผนวกที่ ๖2 (ต่อ)

วันที่เก็บเกี่ยวยอด และใบอ่อน	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
7	0-30659-4354-26369-0-33113-23298-0-26557-27779-27286-0-26322-18165-4761-4941-0-3968-29927-18396-0-31693-24888-28165-30744-0-17398-18373-16303-0-12147-19304-19557-22713-23721-26503-0-34535-8795-20526-20736-19586-0-15951-15899-29397-0-15885-15715-10862-0-20746-20319-9595-0-33089-12299-26374-0-19131-21176-30709-30972-0-21265-21349-32091-23159-0-15970-35731-7583-35897-0-23512-23973-27395-0-32777-26313-36353-29366-0-26392-9200-16553-17094-31108-0-24126-32313-34176-0-21717-24345-0-9979-9963-26388-0	1749.07	68

หมายเหตุ รหัส 0 แทน โรงงาน

ตารางผนวกที่ 33 คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 2 โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 1 วัน (TSP 1 Day) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวขุดและใบอ้อย วันที่ 1-7

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
1	0-32530-34546-23787-17107-16967-11388-20124-21352-20382-19764-19361-16949-17679-16600-8759-13281-33269-32692-30348-25711-25547-24913-24908-4390-2994-26999-26597-27071-27171-14379-13737-14161-13789-26934-27700-26526-10915-27399-27334-27672-23541-31188-31166-33733-33727-33963-33968-32942-17000-23885-31124-24148-24142-24170-23734-22865-23715-9972-9927-10482-27752-27295-27149-14375-14284-14684-13370-13368-13590-26357-37344-36731-18383-5176-18505-37129-5174-4577-10596-10790-14711-5391-14337-14399-27082-27107-27344-26707-24457-22872-31798-31759-34182-30460-30185-28368-28327-28164-28280-14299-13942-29711-5595-5591-35103-5761-5773-13697-13907-9947-4592-4537-18357-18498-37326-9973-26528-23479-31731-22897-26954-26501-27137-26567-14200-26897-26738-26976-26973-27599-26877-30584-30384-25588-25364-33113-33089-34176-34535-22713-23973-17094-32313-32091-21176-21717-21349-21265-20526-20319-20736-20746-19131-19586-19304-19557-12299-12147-17398-0	725.46	981

ตารางผนวกที่ 33 (ต่อ)

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
2	0-33597-33300-30718-30187-25326-24948-24945-25591-30756-27561-27106-14499-14363-4378-31595-24323-23786-31700-33704-34183-30557-30556-32468-30692-30538-24875-32547-21938-34124-34159-17153-16987-23567-23723-27528-24158-24093-22973-17562-17762-16750-11570-11929-11939-20740-20116-19332-12196-11550-19302-20186-21191-33757-21112-21516-19717-20701-11136-19351-19708-19756-20313-20574-20305-12128-12090-16760-17182-16594-9346-9594-9188-9761-19183-19750-12152-16384-24386-23959-23972-23975-32192-32948-34085-32116-21146-33156-30461-25353-25140-32700-23533-23730-23775-27537-26702-27934-17317-9749-8972-13278-8745-8742-37526-29058-25799-28965-3957-29366-29397-15715-15970-15951-15899-15885-7583-35897-35731-36353-0	765.59	925

ตารางผนวกที่ 33 (ต่อ)

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
3	0-26136-28744-28701-25887-12992-4194-4189-3999-29575-12723-29926-29759-29781-28300-4367-28491-25092-4371-28515-29767-29996-29929-5795-26111-35108-4324-28696-3956-4172-4177-28757-28779-35476-16356-26100-34997-30178-4384-28522-14783-29307-14789-29149-15714-35290-35292-27986-15352-35587-35753-36123-2765-599-598-2942-36165-36120-8392-27991-35321-15772-8196-15989-22299-29320-14966-16553-9200-9595-8795-0	593.02	1040
4	0-10896-4596-4559-5164-18972-36499-18497-18371-36548-36791-29356-22307-37387-26320-18367-18491-18735-18187-18758-37337-37323-37327-10775-26555-27356-27682-27066-14391-14077-13499-8740-29128-27964-7587-35791-35949-35980-15381-36310-2552-2559-2595-35717-7191-1888-968-196-1759-7150-35767-2571-36144-36168-15296-36385-35586-35552-35551-27992-35318-7755-15525-15927-15683-29094-22380-33899-24391-17461-16489-16866-17553-17481-17482-16765-17791-17387-11899-12355-11595-12191-12307-20675-19587-19770-20498-20337-21681-21400-32279-33305-16529-17295-16557-9743-8787-8971-13280-4354-28165-29927-30972-16303-3968-0	683.32	887

ตารางผนวกที่ 33 (ต่อ)

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
5	0-7593-35683-2367-577-173-186-1968-35749-35765-35764-35768-36390-6980-35277-15724-15947-15699-22313-29092-36939-18526-18720-5168-4540-5196-4989-14713-4509-37349-26352-17544-17180-11785-16539-17580-16576-9778-31073-28767-35464-25925-37574-3954-24108-24577-32726-33584-33368-33296-32167-33950-33183-21066-33774-17152-16472-12548-12111-12327-19159-19595-20326-19934-19397-31108-24126-23721-24345-23159-23512-32777-30659-30744-24888-30709-31693-23298-26388-26503-27286-27395-26392-27779-9979-10862-26369-26374-26557-9963-4761-4941-18165-18396-26313-26322-18373-0	676.03	676

หมายเหตุ รหัส 0 แทน โรงงาน

ตารางผนวกที่ ๔ คำตอบของการจัดลำดับเส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว ที่ใช้แผนที่ 2 โดยใช้วิธีการจัดลำดับเส้นทางแบบทีละ 7 วัน (TSP 7 Day) ของข้อมูลอายุวันเก็บเกี่ยวขุดและใบอ้อย วันที่ 1-7

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางในการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
1	0-32530-34546-23787-21352-20124-17107-16967-11388-19361-19764-20382-13281-8759-16600-17679-16949-24142-24148-24170-23734-22865-23715-23541-23885-17000-32942-33968-31124-31188-31166-33733-33963-33727-33269-32692-30348-25711-25547-24913-24908-4390-2994-26934-27700-27171-27071-26526-27672-27334-27399-10915-26597-26999-13737-14161-13789-14379-27295-27149-27752-10482-9972-9927-14375-14284-14684-5176-18383-36731-37344-26357-13590-13368-13370-5391-10790-18505-37129-5174-4577-27344-26707-24457-10596-14711-14299-13942-14337-14399-27082-27107-22872-31798-31759-34182-30460-30185-28368-28327-28164-28280-27599-26976-26897-29711-5761-5595-5591-35103-5773-9947-18357-18498-37326-4537-4592-13907-13697-14200-26567-9973-26528-27137-26501-22897-26954-26738-26973-26877-30584-25364-25588-30384-23479-31731-33113-33089-32313-21349-21265-21717-21176-32091-34176-34535-12299-19557-19304-19131-19586-20319-20526-20736-20746-17398-12147-22713-23973-17094-0	811.51	308

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
2	0-14499-27106-27561-14363-4378-25591-24945-24948-25326-30187-30718-33300-33597-30756-30556-24323-24158-24093-22973-17562-17762-16750-11570-11939-11929-12196-19302-20186-33757-20116-19332-11550-17153-16987-23723-27528-23567-23786-31700-30692-32468-30557-34183-33704-31595-30538-24875-34159-34124-32547-21938-21191-20740-20313-20574-20305-19756-19708-19717-21516-21112-20701-19351-11136-12090-12128-9188-9761-9594-9346-16594-17182-16760-12152-19750-19183-21146-32116-33156-34085-32700-30461-25353-25140-27934-26702-27537-23533-23730-23775-23975-23972-23959-16384-24386-32948-32192-17317-9749-8972-13278-3957-28965-25799-29058-8742-8745-37526-29366-29397-15715-15970-15951-15899-15885-7583-35897-35731-36353-0	744.86	220

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
3	0-26136-28744-28701-25887-12992-4194-4189-3999-29575-29781-28300-4367-28491-25092-29759-29926-12723- 5795-29929-29996-29767-4371-28515-3956-28696-4324-35108-26111-26100-34997-30178-4384-28522-4177-4172- 28757-28779-35476-16356-14783-29307-14789-29149-15714-35290-35292-27986-35753-598-599-2765-36123- 35587-15352-36120-2942-36165-8392-27991-35321-15772-8196-15989-22299-29320-14966-16553-9200-9595- 8795-0	558.11	144
4	0-4596-4559-18972-5164-10896-18497-36499-29356-22307-36791-36548-18371-18367-37387-8740-13499-26320- 18735-18187-10775-26555-14391-14077-27066-27682-27356-37327-37323-18758-37337-18491-29128-27964- 35980-15381-36310-2595-2559-2552-35949-7587-35791-35717-196-968-7191-1888-1759-15525-7755-7150-35767- 2571-36144-36168-15296-36385-35586-35552-35551-27992-35318-15927-15683-29094-22380-24391-33899-33305- 32279-21400-21681-20675-12191-12307-16489-17461-16866-17553-17481-17482-16765-17791-17387-11899- 12355-11595-19587-20337-19770-20498-13280-8971-8787-9743-16557-17295-16529-29927-4354-28165-3968- 30972-16303-0	694.62	167

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

ทีมของรถอัด ฟางข้าวที่	เส้นทางการเคลื่อนย้ายรถอัดฟางข้าว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ ประมวลผล (วินาที)
5	0-577-2367-7593-35683-36390-35768-35764-35765-35749-173-186-1968-6980-35277-15724-15947-15699-22313-29092-36939-26352-37349-18526-18720-5168-4540-4509-5196-14713-4989-17580-16576-9778-11785-16539-17180-17544-37574-3954-25925-35464-28767-31073-33368-33296-32167-33950-33183-21066-33774-17152-19397-19934-20326-19595-19159-12327-12111-12548-16472-24577-24108-32726-33584-31693-23721-24345-24126-23512-31108-23159-27395-26392-9979-10862-4941-18165-18373-26322-26313-18396-4761-9963-26374-26369-27779-27286-26557-26503-26388-23298-30744-30659-32777-30709-24888-0	671.15	184

หมายเหตุ รหัส 0 แทน โรงงาน

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวพชรอร แก้วเจริญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 8 มกราคม 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดสระแก้ว
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์เกษตร) คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-