รหัสโครงการ SUT 7-702-58-12-67

รายงานการวิจัย

แบบจำลองคณิตศาสตร์ภายใต้ความไม่แน่นอน สำหรับปัญหาการกำหนดพื้นที่ขนส่งและการจัดการขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล

A Two – Stage Stochastic Programming Model for Districting and Transportation Problem of Sugar Cane

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT 7-702-58-12-67

รายงานการวิจัย

แบบจำลองคณิตศาสตร์ภายใต้ความไม่แน่นอน สำหรับปัญหาการกำหนดพื้นที่ขนส่งและการจัดการขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล

A Two – Stage Stochastic Programming Model for Districting and Transportation Problem of Sugar Cane

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัญชลา สุดตาชาติ

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่ปรึกษางานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนาริน จันทะ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณวใฝ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้จัดสรรเงินอุดหนุนการวิจัย จากทุนเพื่อสนับสนุนการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2558 ให้กับข้าพเจ้าในครั้งนี้ หากขาดเงินสนับสนุนแล้ว งานวิจัยฉบับนี้คงไม่สามารถดำเนินการจนแล้วเสร็จได้

ขอขอบคุณ ที่ปรึกษางานวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนาริน จันทะ ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำต่างๆ กับข้าพเจ้าขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือดำเนินการเรื่องเอกสารต่างๆ จนกระทั่งได้รับทุนอุดหนุน และช่วยดำเนินการในเรื่องจากเบิกจ่ายเงินอุดหนุน รวมไปถึงการดำเนินการต่างๆ เพื่อปิดโครงงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ตลอดจนคณะนักศึกษาที่ร่วมงานเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล แม้ว่าสถานที่โรงงานกรณีศึกษาจะอยู่ไกล แต่ทุกคนก็เต็มใจที่จะช่วยทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมการผลิต หัวหน้าสาขา และอาจารย์ทุกท่าน ตลอดจน เลขาสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ที่ช่วยเหลือในการเตรียมเอกสารเดินทาง พร้อมทั้งคำแนะนำในการดำเนินงานเอกสารทางด้านการเงินต่างๆ

สุดท้ายต้องขอขอบคุณ คุณพ่อ, คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้าที่สนับสนุนทั้งในด้านกำลังใจ และอำนวยความสะดวกเรื่องรถในการเดินทางไปเก็บข้อมูล เพื่อดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญชลา สุดตาชาติ

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อภาษาไทย

ปัญหาการขนส่งอ้อยจากโซนแปลงอ้อยไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลนับว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อค่าใช้จ่ายในระบบลอจิสติกส์ของอุตสาหกรรมน้ำตาล การดำเนินการจัดสรรรถขนส่ง (รถหกล้อ) ที่ไม่พิจารณาในเรื่องพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งมีผลให้ปริมาณการขนส่งอ้อยไปยังโรงงาน อาจเกิดผลกระทบทำให้มีวัตถุดิบขาดมือหรือมากเกินไป ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาปัญหาการกำหนดแบ่งพื้นที่รับผิดชอบและปัญหาปริมาณขนส่งอ้อยที่เหมาะสมร่วมกัน ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการสองสเตทสโตแคสติกส์โปรแกรมมิ่งเพื่อแก้ไขปัญหา โดยพิจารณาความไม่แน่นอนของผลผลิตในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวเป็นตัวแปรสุ่ม กำหนดให้รูปแบบการแจกแจงเป็นแบบช่วง ในสเตทแรก เราทำการหาคำตอบการตัดสินใจในเรื่องการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ หลังจากนั้นเมื่อผลผลิตจริงเกิดขึ้นในฤดูกาลเก็บเกี่ยว เรามีการตัดสินใจในสเตทที่สองเรื่องปริมาณขนส่งที่ประหยัดสุด โดยในส่วนของสเตทที่สองแบบจำลองคณิศาสตร์มีตัวแปรตัดสินใจเป็นแบบผสมจำนวนเต็ม ภายใต้ช่วงเวลาดำเนินงานวางแผนที่จำกัด ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยว การหาค่าที่ดีที่สุดอิงพื้นฐานข้อมูลผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง ที่เกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็นที่รู้ค่า จุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อให้ได้ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยปัญหาขนาดเล็กที่สร้างขึ้นแบบสุ่ม ผลเชิงตัวเลขชี้ให้เห็นค่าผลเฉลยการตัดสินใจให้ผลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลผลิตจริงที่เกิดขึ้นในฤดูกาลเก็บเกี่ยว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

The transporting sugarcane from cane fields to a mill factory is a potential cost in sugarcane logistics. The poorly operating vehicle (six-wheel truck) services and transportation lot size results in lost or excess of cane supplied. In this paper, we consider the integrated districting problem of whole cane field region and transportation lot size of each cane field. We formulate the combining two problems as two-stage stochastic model. The sugarcane yield in harvesting season is a random variable with known discrete distribution. The first stage, we determine the districts for each cane field. After, the harvesting sugarcane realized the second stage we make decision for transportation lot size. We formulate the transportation lot size as mixed integer programming model under a finite horizon during harvesting season of sugarcane. The optimal approach is based on the scenario based method. The objective is to minimize the expected overall cost integrated two stages. We investigate the model based on generating data. Numerical results indicate that the model provides different optimal solution based on scenarios.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
ปกนอก	ก
ปกใน	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
สมมติฐานของโครงการวิจัย	3
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	13
อภิปรายระบบการขนส่งอ้อย	13
ตัวแปรต่างๆ ของปัญหาการกำหนดพื้นที่ขนส่งและการจัดการขนสงสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล	17
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการกำหนดพื้นที่ขนส่งและการจัดการขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล	19
วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	22
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	27
การสร้างข้อมูลเบื้องต้นเพื่อทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	27
ผลการวิจัยและการอธิปรายผลการวิจัย	30

บทที่ 5 บทสรุป..... 34
สรุปผลการวิจัย 34
ข้อเสนอแนะ 35
บรรณานุกรม 36
ภาคผนวก 38
บทความงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 39
ประวัติผู้วิจัย 50

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย..... 4
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลที่เก็บได้ของระยะทางจากสถานีจอดรถ 9 สถานีไปยังโซนแปลงอ้อย 70 โซน ระยะทางมีหน่วยเป็นกิโลเมตร..... 22
ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละโซนแปลงอ้อยในช่วงเวลาต่างๆที่เก็บข้อมูลได้จากโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา หน่วยตัน..... 23
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการผลิต ต่อตัน..... 27
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของผลผลิตรวมจริง (ตัน) ภายใต้แผนการขนส่ง (Scenario) สำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา..... 27
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งในแต่ละช่วงเวลา..... 28
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาอ้อย ต่อตันต่อช่วงเวลา..... 28
ตารางที่ 4.5 แสดง ความน่าจะเป็นของการเกิดผลผลิตจริง (Scenario) ในฤดูเก็บเกี่ยวของ 2 ตัวอย่างปัญหา..... 28
ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งภายใต้สภาวการณ์ที่ไม่แน่นอน กับวิธีไม่กำหนดพื้นที่รับผิดชอบภายใต้ความแน่นอนที่ผลผลิตจริงจะเป็นไปตามข้อมูลชุดแรก..... 29
ตารางที่ 4.7 แสดงผลเฉลยของการตัดสินใจจัดสรรโซนแปลงอ้อยและรถขนส่งให้กับแต่ละพื้นที่รับผิดชอบ..... 30
ตารางที่ 4.8 แสดงผลเฉลยที่ดีที่สุดเกี่ยวกับปริมาณการขนส่งแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา เมื่อกำหนด 3 ชุดข้อมูลผลผลิตจริง กับความน่าจะเป็นในการเกิดผลผลิตจริงของทั้ง 3 ชุดข้อมูล เป็นการแจกแจงแบบช่วงที่ Discrete(0.33, 0.33, 0.33) 30

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบของหน่วยงานรถฉุกเฉินเป็นพื้นที่โซน..... 10

รูปที่ 3.1 แสดงแผนภูมิกระบวนการไหลของแบบจำลองระบบสำหรับปัญหาการตัดสินใจพื้นที่รับผิดชอบ (District) และปัญหาขนาดขนส่งร่วมกัน..... 16

รูปที่ 4.1 แสดงภาพพื้นที่แปลงอ้อยรอบๆ โรงงานอุตสาหกรรม และจุดสถานีจอดรถขนส่งของปัญหากรณีศึกษาขนาดเล็ก..... 27

รูปที่ 4.2 แสดงผลเฉลยที่ดีที่สุดของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจในสเตทที่สองของแต่ละชุดข้อมูลผลผลิตจริงที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวซึ่งจะให้แผนการขนส่งที่แตกต่างกัน ของแต่ละช่วงเวลา..... 31

รูปที่ 4.3 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ในการตัดสินใจสเตทที่สอง ประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายในการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ของแต่ละชุดข้อมูลผลผลิตจริงที่อาจเกิดขึ้น..... 32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

อุตสาหกรรมน้ำตาล เป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์วัตถุดิบต้นทาง เพื่อป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมบริโภคอื่นๆ มากมาย ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลทรายรายใหญ่ของภูมิภาค นับว่าผลิตภัณฑ์น้ำตาลเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกหลักของประเทศ การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต รวมทั้งการพัฒนาด้านการวิจัยระบบผลิตในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อการแข่งขันในตลาดโลก จึงมีผลกระทบต่อยอดการส่งออกผลิตภัณฑ์รวมของประเทศ ดังนั้นการพัฒนาเพื่อลดต้นทุนในอุตสาหกรรมน้ำตาล จึงมีส่วนสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการอุตสหกรรมน้ำตาลในตลาดโลก จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตน้ำตาล ต้นทุนในการขนส่งอ้อยจากแหล่งเพาะปลูกเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล นับว่าเป็นต้นทุนหลักในระบบโซ่อุปทาน (Supply chain) และระบบลอจิสติกส์ (Logistics) ของอุตสหกรรมอ้อยและน้ำตาล การพัฒนาเพื่อจำลองระบบการขนส่งอ้อยเพื่อหาระบบที่มีประสิทธิภาพสูง จึงมีผลต่อต้นทุนการผลิตน้ำตาลและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล

โรงงานอุตสากรรมน้ำตาลในประเทศไทย มีที่ตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งเพาะปลูกอ้อย โดยเหตุผลหลักเพื่อลดต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งเพาะปลูกไปยังโรงงาน โรงงานจะมีช่วงเวลาเฉพาะในแต่ละปีเพื่อเดินเครื่องจักรผลิตน้ำตาล ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูกาลที่อ้อยดิบมีความหวานสูงสุด การรับซื้ออ้อยดิบเกษตรกรจะได้รับค่าตอบแทนขึ้นอยู่กับค่าความหวาน (CCS) ของอ้อย เมื่ออ้อยโตเต็มที่ เกษตรกรจะทำการตัดอ้อยและขนส่งไปยังโรงงานน้ำตาลทันที อ้อยที่ตัดและขนส่งล่าช้าจะทำให้ค่าความหวาน (CCS) ลดลงและทำให้ราคาต่อหน่วยลดลง การขนส่งอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาลในปัจจุบัน เกษตรกรจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายและการขนส่งทั้งหมด ในช่วงของฤดูการผลิตน้ำตาล อ้อยที่ถูกตัดจะต้องรีบขนไปส่งยังโรงงานน้ำตาล จึงมีรถบรรทุกขนอ้อยจำนวนมาก จอดรอคิวเพื่อป้อนอ้อยดิบเข้าสู่โรงงานให้เร็วที่สุดเพื่อให้อ้อยที่ตัดมีค่าความหวาน (CCS) สูงสุด เนื่องจากเกษตรกรแต่ละแหล่งเพาะปลูกต้องทำการขนส่งอ้อยดิบไปป้อนโรงงานด้วยตัวเอง จึงทำให้ต้นทุนการขนส่งอ้อยในช่วงฤดูกาลตัดอ้อยมีต้นทุนสูง กลยุทธ์การรวมศูนย์รถบรรทุกเพื่อไปรับอ้อยดิบที่ไร่ไปยังโรงงานน้ำตาล สามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งอ้อยได้ อีกทั้งการขนส่งอ้อยเพื่อป้อนสู่โรงงานพร้อมๆ กัน ซึ่งมากเกินกำลังการผลิตของโรงงานทำให้มีอ้อยจำนวนมากตกค้างไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการผลิตได้ทันที มีผลกระทบต่อการสูญเสียค่าความหวาน (CCS) ของอ้อย ดังนั้นการรับซื้ออ้อยจะต้องมีการประสานงานระหว่างโรงงานกับเกษตรกรเพื่อให้สอดคล้องกับแผนการผลิตของโรงงาน

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาระบบขนส่งอ้อยเพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยการพัฒนาระบบการขนส่งอ้อยจากไร่ไปยังโรงงานด้วยศูนย์รวมรถบรรทุก กลยุทธ์การแบ่งโซนและการกำหนดขอบเขตกลุ่มโซนเรียกว่า ดีสตริคส์ (Districts) ของแหล่งเพาะปลูกอ้อย และกลยุทธ์การวางแผนการขนส่งอ้อย ในแต่ละช่วงเวลา ตลอดฤดูกาลหีบอ้อย จากไร่ไปยังโรงงานน้ำตาล โดยจำกัดจำนวนรถบรรทุกทั้งหมด มีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนการขนส่งอ้อยและเพื่อให้อ้อยดิบที่ถูกตัดป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตอย่างเพียงพอต่อกำลังการผลิต การตัดสินใจแบ่งเป็นสองสเตท คือ สเตทที่หนึ่งทำการตัดสินใจ โดยกำหนดแต่ละโซนรวมกลุ่มเป็นเขตและขอบเขตของกลุ่มโซนหรือ ดีสตริคส์ (Districts) ซึ่งแต่ละดีสตริคส์มีจำนวนรถบรรทุกจำกัดเพื่อขนส่งอ้อย เพื่อให้ได้ค่าต่ำที่สุด ของระยะทางในการขนส่งคูณกับปริมาณขนส่ง และเพื่อให้ได้ค่าต่ำที่สุดของจำนวนดีสตริคส์ทั้งหมด การวิจัยกำหนดให้ ช่วงเวลาที่อ้อยดิบจากแต่ละไร่มีค่าความหวานเหมาะสมและสามารถเก็บเกี่ยว สามารถกำหนดได้ นอกจากนั้นแล้ว การวิจัยยังคำนึงถึงความน่าจะเป็นแบบช่วงของปริมาณผลผลิตอ้อยที่ค่าความหวานเหมาะสมและสามารถเก็บเกี่ยวได้ มีค่าแตกต่างกันในแต่ละไร่ สเตทที่สอง จุดประสงค์ของสเตทที่สอง เพื่อทำให้เกิดผลกำไรสูงสุดของอ้อยที่ผ่านกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลได้ ในส่วนนี้ตัดสินใจเรื่องการวางแผนการขนส่งอ้อยในแต่ละโซนแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดปริมาณอ้อยที่เหมาะสมที่จะต้องขนส่งไปยังโรงงานน้ำตาล ในแต่ละช่วงเวลาอ้อยดิบจากไร่สามารถถูกขนส่งโดยใช้บริการรถบรรทุกจากดีสตริคส์ที่รับผิดชอบโซนนั้นๆ หากไม่เพียงพอไม่สามารถใช้บริการรถบรรทุกจากดีสตริคส์อื่นๆ ได้ ต้องรอขนส่งให้ช่วงเวลาถัดไป จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากสถานีนั้นๆ ไปยังไร่ ข้อกำหนดของงานวิจัย เราคำนึงถึงข้อจำกัดของกำลังการผลิตหรือความต้องการอ้อยดิบของโรงงาน ในแต่ละช่วงเวลาตลอดแผน กำหนดให้มีการเก็บอ้อยที่ถูกตัดและไม่ถูกขนส่งมายังโรงงาน สามารถถูกจัดเก็บบริเวณโซนแปลงอ้อยของเกษตรกรได้ เพื่อรอการขนส่งให้ช่วงเวลาถัดไป เราคำนึงถึงการสูญเสียค่าความหวานของอ้อยที่จัดเก็บหน้าโรงงานสำหรับหีบในช่วงเวลาถัดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้สามารถกำหนดแต่ละโซนรวมกันเข้าเป็นดีสตริคส์ได้ และกำหนดจำนวนรถบรรทุกที่จัดสรรให้แต่ละดีสตริคส์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

1.2.2 เพื่อให้สามารถวางแผนการขนส่งอ้อยแต่ละโซนไปยังโรงงาน ในแต่ละช่วงเวลาตลอดฤดูหีบอ้อยได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดผลค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตั้งแต่การขนส่ง จนกระทั่งอ้อยผ่านกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เวลาที่ใช้ในการขนส่งจากแต่ละโซนไปยังโรงงานขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างแต่ละโซนไปยังโรงงาน ไม่ขึ้นกับการแปรผันของความเร็วในการวิ่งของรถบรรทุกหรือสภาพการจราจรบนท้องถนน

1.3.2 กำลังการผลิตของโรงงานมีความแน่นอน ไม่พิจารณาช่วงเวลาในการซ่อมแซมบำรุงเครื่องจักรที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน (กรณีนี้ สามารถนำมาศึกษาเพื่อขยายผลงานวิจัยในอนาคต)

1.3.3 พิจารณาขนาดของรถบรรทุกมีขนาดเดียว และมีจำนวนจำกัด

1.3.4 เมื่ออ้อยดิบมีความพร้อมในการเก็บเกี่ยว สามารถเก็บเกี่ยวเพื่อขนส่งได้ตรงตามเวลา ไม่พิจารณาความล่าช้าที่เกิดจากแรงงานหรือเครื่องมือเครื่องจักรไม่พร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยวอ้อย

1.3.5 พิจารณาการตัดอ้อยเพื่อเก็บเกี่ยว แล้วไม่ได้ขนส่ง ต้องถูกเก็บไว้ที่แปลงอ้อยของโซนแปลงอ้อย โดยพิจารณาว่าที่โซนแปลงอ้อย มีพื้นที่จัดเก็บเพียงพอสำหรับอ้อยที่ถูกตัด

1.3.6 ทำการศึกษาสภาพระบบการขนส่งอ้อยที่แท้จริงจากโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

1.3.7 เก็บข้อมูลจริงเพื่อใช้ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากข้อมูลฤดูกาลหีบอ้อยปี 2558-2559 ทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลจริงจากโรงงานน้ำตาล

1.4 สมมติฐานของโครงการวิจัย

1.4.1 จำกัดความต้องการอ้อยดิบในแต่ละวันเพื่อป้อนสู่โรงงาน

1.4.2 พื้นที่เพาะปลูกอ้อยถูกแบ่งออกเป็นโซนแปลงอ้อย มีการกำหนดพื้นที่แต่ละโซน

1.4.3 สามารถกำหนดช่วงเวลาที่ผลผลิตอ้อยในแต่ละโซนให้ค่าความหวานเหมาะสมสำหรับป้อนเข้าสู่โรงงานได้

1.4.4 หลังจากสเตทที่หนึ่ง ผลผลิตอ้อยจากแต่ละโซน เราสามารถกำหนดความน่าจะเป็นของปริมาณอ้อยดิบที่ให้ความหวานเหมาะสมของแต่ละโซนในแต่ละช่วงเวลา มีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบช่วง

1.4.5 สามารถรู้ช่วงเวลาที่แน่นอนซึ่งอ้อยในแต่ละโซนจะต้องถูกตัดและป้อนเข้าสู่โรงงานภายในช่วงเวลาที่กำหนด นั่นคือ ต้องอยู่ในช่วงเวลาฤดูกาลเก็บเกี่ยว

1.4.6 เส้นทางจากโรงงานไปยังแหล่งเพาะปลูกอ้อยแต่ละโซนและ เส้นทางจากแต่ละโซนไปยังโซนอื่นๆ มีเส้นทางเดียว และทราบปริมาณระยะทางคำนวณจากค่าละติจูด ลองติจูด

1.4.7 จำกัดจำนวนรถบรรทุกรวมของศูนย์รถบรรทุก

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ได้แผนการตัดสินใจในการจัดการพื้นที่ไร่อ้อยแต่ละโซนรวมกันเป็นดีสตริคส์ โดยให้ผลลัพธ์ค่าต่ำสุดของระยะทางในการขนส่งคูณกับปริมาณในการขนส่งอ้อยจากแต่ละโซนไปยังโรงงานน้ำตาล

1.6.2 ได้แผนการขนส่งอ้อย และแผนการใช้รถบรรทุกตลอดช่วงฤดูกาลหีบอ้อย โดยให้ผลกำไรสูงสุดได้

1.6.3 สร้างองค์ความรู้ใหม่และเสริมความรู้เดิมให้เข้มแข็งในการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์กับปัญหาการขนส่งอ้อย

1.6.4 สามารถสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีการวิเคราะห์ระบบปัญหาการขนส่งอ้อยจริง และทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลที่เก็บได้จริง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบขนส่งอื่นๆ ที่มีระบบปัญหาใกล้เคียงกันได้

1.6.5 สร้างโอกาสและพัฒนาองค์ความรู้ทางการวิจัยดำเนินงานให้กับนักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษาได้

1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.7.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลระบบขนส่งอ้อยจากไร่ไปยังโรงงานน้ำตาลในปัจจุบัน โดยการเข้าาไปพูดคุย สอบถามข้อมูลระบบขนส่งจากหน่วยงานพืชไร่ โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

1.7.2 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.7.3 สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ปัญหาดีสตริคส์ โดยใช้วิธีสองสเตทสโตแคสติกค์โปรแกรมมิ่ง

1.7.4 ทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์กับปัญหาขนาดเล็ก โดยทำการสร้างข้อมูลนำเข้าโดยการกำหนดการแจกแจงตัวแปรสุ่ม

1.7.5 เก็บรวบรวมข้อมูล จีพีเอส แสดงตำแหน่งของแต่ละไร่ที่มีแผนส่งอ้อยเข้าโรงงานกรณีศึกษา ปริมาณขนส่ง (ตัน) ช่วงเวลาที่อ้อยมีความหวานเหมาะสม จำนวนรถบรรทุก

1.7.6 แบ่งเขตไร่อ้อยออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ที่เรียกว่า โซนแปลงอ้อย เก็บข้อมูลระยะทางการขนส่งจากแต่ละโซนแปลงอ้อยไปยังโรงงาน

1.7.7 รวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาอ้อยหน้าโรงงาน ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำตาล และค่าใช้จ่ายอื่นๆ รวมทั้งข้อมูลกำไรที่คาดว่าจะได้รับเมื่ออ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล

1.7.8 ทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์กับปัญหาขนาดเล็ก ดยทดสอบกับข้อมูลสุ่มที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

แผนการดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาและเก็บข้อมูลระบบขนส่งอ้อย												
2. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
3. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ปัญหาดีสตริคส์ โดยใช้วิธีสองสเตทสโตแคสติกค์โปรแกรมมิ่ง												

แผนการดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4. ทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์กับปัญหาขนาดเล็ก												
5. เก็บรวบรวมข้อมูล จีพีเอส แสดงตำแหน่งของแต่ละไร่ที่มีแผนส่งอ้อยเข้าโรงงาน												
6. แบ่งเขตไร่อ้อยออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ที่เรียกว่า โซน เก็บข้อมูลระยะทางการขนส่งจากแต่ละโซนมายังโรงงาน												
7. รวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายต่างๆ												
8. ทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์กับปัญหาขนาดเล็ก												
9. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย พร้อมทั้งเตรียมต้นฉบับเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสาร และเขียนรายงานความก้าวหน้าเสนอ สถานวิจัยและพัฒนา มทส.												

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ปัญหาการขนส่งน้ำตาลทราย เกี่ยวเนื่องตั้งแต่กระบวนการขนส่งอ้อย เข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำการแปรรูปน้ำตาล ลักษณะของปัญหามีความแปรผันของผลผลิตปริมาณอ้อยที่เพาะปลูกเนื่องจากสภาพอากาศ และปัจจัยอื่นๆ ส่งผลให้การวางแผนเพาะปลูก มีโอกาสที่จะไม่เป็นไปตามแผนที่วางเอาไว้ ปริมาณอ้อยที่สมบูรณ์ ที่ให้ความหวานสูงสุด อาจมีการคลาดเคลื่อนจากที่วางแผนไว้ ทั้งในเรื่องเวลาและปริมาณ ดังนั้นในบทนี้ เราจะพิจารณาในเรื่อง ทฤษฎีในการจำลองระบบทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี สองสเตทสโตแคสติกค์โปรแกรมมิ่ง (Two – Stage Stochastic Programming) ซึ่งวิธีนี้เหมาะสมกับปัญหาความไม่แน่นอนของผลผลิต ที่เกิดขึ้น โดยที่เราสามารถคาดการณ์ความน่าจะเป็นของปริมาณผลผลิตได้ นอกจากนั้นแล้วการพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีผลต่อการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นกัน ในหัวข้อถัดไป เราจะพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาแนวทางในการสร้างแบบจำลองปัญหาระบบการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สองสเตทสโตแคสติกค์โปรแกรมมิ่ง (Two – Stage Stochastic Programming)

โมเดลสองสเตทสโตแคสติกค์โปรแกรมมิ่งโดยมาตรฐาน [1] เราพิจารณาตัวแปรตัดสินใจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ตัวแปรสเตทแรก และตัวแปรสเตทสอง ในสเตทแรกนั้นการตัดสินใจค่าตัวแปรตัดสินใจเกิดขึ้นก่อนที่ตัวแปรสุ่มพารามิเตอร์จะทราบค่าที่เกิดขึ้นจริง เมื่อเหตุการณ์ความไม่แน่นอนเกิดขึ้นแล้ว การปรับค่าการดำเนินการสามารถทำได้ผ่านค่าตัวแปรตัดสินใจที่เกิดขึ้นในสเตทสอง หรือ เรียกว่า ตัวแปรรีคอร์ท (Recourse variables) ที่ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น หลักการของรีคอร์ทสามารถนำไปประยุกต์ได้ทั้งโมเดลโปรแกรมมิ่งเชิงเส้นตรง (Linear programming) โมเดลโปรแกรมมิ่งจำนวนเต็ม (Integer programming) และโมเดลโปรแกรมไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Non - linear programming)

รูปแบบสมการมาตรฐานของสองสเตทสโตแคสติกค์โปรแกรมมิ่ง

$$\begin{aligned} &Min_x && c^T x + E\left[Q(x,\xi(w))\right] && (2.1)\\ &\text{Subject to} && Ax = b \qquad x \geq 0 \end{aligned}$$

ที่ซึ่ง $Q(x,\xi(w))$ คือ ค่าที่ดีที่สุดของปัญหาสเตทสอง

$$\begin{aligned} &Min_x && q^T y && (2.2)\\ &\text{Subject to} && Tx + Wy = h \qquad y \geq 0 \end{aligned}$$

ที่ซึ่ง x และ y เป็นเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจสเตทแรก และตัวแปรตัดสินใจสเตทสอง ตามลำดับ ปัญหาของสเตทสองขึ้นอยู่กับค่าของข้อมูล $\xi = (q,h,T,W)$ ที่ซึ่งสามารถเป็นค่าสุ่มได้ ค่าคาดหวังของสมการ (2.1) เป็นค่าที่สัมพันธ์กับการแจกแจงความน่าจะเป็นของ $\xi(w)$ เมตริกซ์ T and W เรียกว่า เมตริกซ์เทคนิค (Technological matric) หรือ เมตริกซ์รีคอร์ท (Recourse matric) ปัญหาสเตทสอง (2.2) เราสามารถพิจารณาในฐานะค่าปรับที่เกิดขึ้นโดยมีข้อจำกัดของค่าตัดสินใจขึ้นอยู่กับสมการ $Tx = h$

มีสองวิธีที่แตกต่างกันเพื่อแสดงปัญหาที่พิจารณาความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น วิธีพิจารณาแรก เราพิจารณาการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง ที่ซึ่งการอินทิเกรทชั่นเชิงตัวเลข (Numerical integration) วิธีการเข้าถึงคำตอบด้วยวิธีนี้จะยังคงไว้ซึ่งโมเดลที่มีขนาดปัญหาตามที่เกิดขึ้นจริง แต่ขณะเดียวกันก็นำไปสู่ความยากในการคำนวณหาคำตอบของปัญหา สำหรับวิธีพิจารณาวิธีที่สอง เราอาศัย การพิจารณานโยบายที่เกิดขึ้น (Scenario – based approach) ที่ซึ่งตัวแปรสุ่มพิจารณาเป็นเหตุการณ์เชิงสุ่มแบบช่วง (Discrete events) ข้อเสียเปรียบหลักของวิธีนี้ คือ ทำให้เพิ่มเวลาที่ใช้ในการคำนวณเมื่อมีการเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์ที่มีค่าไม่แน่นอน การแจกแจงแบบสุ่มมีการจำกัดจำนวนผลที่จะเกิดขึ้น (Outcomes or Scenarios) ที่เป็นไปได้ที่ K ที่ซึ่ง $\xi_k = (q_k, h_k, T_k, W_k)$ สัมพันธ์กับความน่าจะเป็น p_k ดังนั้นสมการ (2.1) และ (2.2) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นปัญหาดีเทอร์มิเนสติกส์สมดุล (Deterministic equivalent problem) แสดงดังต่อไปนี้

$$Min_{x,y_1,\ldots,y_k} \quad c^T x + \sum_{k=1}^{K} p_k q_k^T y_k \tag{2.3}$$

Subject to $\quad Ax = b$

$$T_k x + W_k y_k = h_k \qquad k = 1, 2, \ldots, K$$

$$x \geq 0,\ y_k \geq 0 \qquad k = 1, 2, \ldots, K$$

เนื่องจากความซับซ้อนและยากขึ้นของการอินทิเกรทเชิงตัวเลขและการเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลในขนาดตัวอย่างที่ตัวแปรสุ่มเพิ่มมากขึ้น เราจึงใช้วิธีการประมาณค่ามาช่วยในการคำนวณหาคำตอบซึ่งรู้จักกัน ว่า วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Sample average approximation (SAA) method) เราสามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็น

$$v_N = \min_{x \in X} c^T x + \frac{1}{N} \sum_{k \in N} Q(x, \xi^k) \tag{2.4}$$

การประมาณค่าคาดหวังของแบบจำลองคณิตศาสตร์ โมเดลสโตแคสติกค์ โดยทั่วไปเรียกว่าปัญหาที่ถูกต้อง (True problem) เราสามารถแก้ปัญหาโดยใช้ดีเทอร์มินิสติกส์อัลกอริทึ่มได้ (Deterministic algorithms)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานในเรื่องการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูกของเกษตรกร เพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาล เริ่มต้นเราพิจารณาแบ่งประเภทงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามสภาพปัญหา แบ่งได้เป็น 3 ประเภทปัญหาหลักๆ นั่นคือ ปัญหาการขนส่งอ้อย (Transporting sugarcane problem), ปัญหาการกำหนดดีสตริคส์ (Districting problem และ ปัญหาสองส

เตทสโตแคสติกค์โปรแกรมมิ่งสำหรับขนาดการขนส่ง (stochastic programming for transporting lot size) โดยอธิบายตามลำดับประเภทปัญหาข้างต้น

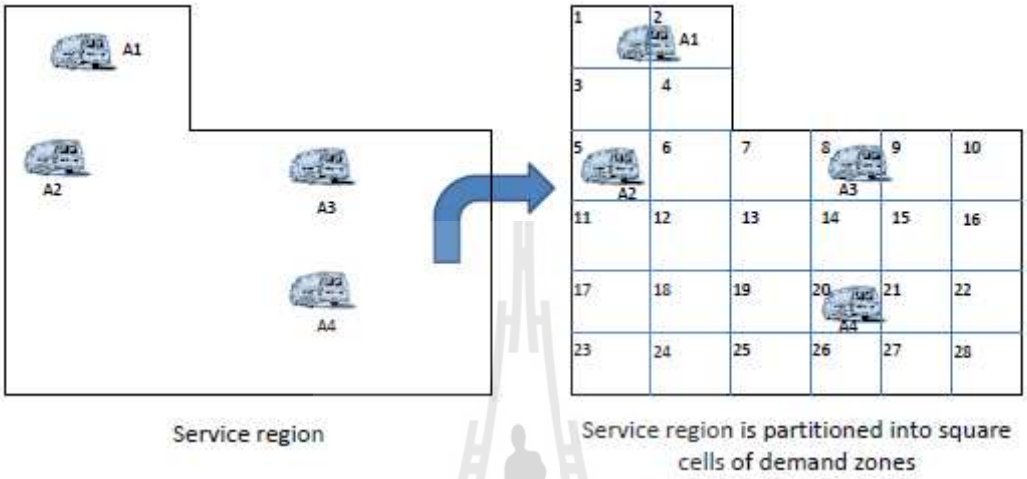
งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม จะกำหนดขอบเขตของงานวิจัย โดยพิจารณาปัญหาในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อย เริ่มต้นงานวิจัยของ Diaz and Perez [2] พิจารณาระบบขนส่งอ้อยเพื่อที่จะให้ได้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาข้อจำกัดในเรื่องการจัดสรรทรัพยากรณ์ที่มีอยู่อย่างจำกัด วิธีการวิจัยใช้วิธีจำลองระบบ ต่อมา Higgins et al. [3] ปรับปรุงห่วงโซ่คุณค่าของกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยและระบบขนส่ง โดยสร้างหลายแบบจำลองสำหรับระบบการเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อย โดยพิจารณาจุดประสงค์ในเรื่องทางการเงิน และวิเคราะห์หลายแผนการดำเนินงานร่วมกับกรณีศึกษาจากโรงงานอุตสาหกรรม เพิ่มเติมจากนี้ Milan et al. [4] นำเสนอปัญหาการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมภายใต้ขีดจำกัดหลายอย่างโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ มิคอินทิเจอร์โปรแกรมมิ่งเชิงเส้นตรง (Mixed integer linear programming model) งานวิจัยฉบับนี้พิจารณาการจัดตารางการเดินรถและเส้นทางการขนส่ง, พิจารณากิจกรรมการตัดอ้อยและเส้นทางการวิ่งของรถขนส่งอ้อย โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ต่อมา Grunow et al. [5] พิจารณาแผนการผลิตของน้ำตาลอ้อย โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ระบบการดำเนินงานที่ดีที่สุด ภายใต้อัตราการผลิตที่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนอ้อยเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม งานวิจัยฉบับนี้มีเป้าหมายเพื่อกำหนดการว่างแผนเพาะปลูกอ้อยและแผนการเก็บเกี่ยวอ้อยที่แปลงปลูกของเกษตรกร การพัฒนาของงานวิจัยไปสู่ปัญหาห่วงโซ่อุปทานของระบบการดำเนินการผลิตน้ำตาลอ้อย พัฒนาขึ้นโดย Piewthongngam et al. [6] งานวิจัยฉบับนี้ได้พิจารณานำแผนตารางการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวอ้อยเข้าสู่แบบจำลองปัญหาด้วย โดยใช้วิธีการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) มีจุดประสงค์คือ เพื่อให้ได้อัตราการผลิตน้ำตาลอ้อยที่มากที่สุด เพิ่มเติมจากนี้งานวิจัยได้ขยายไปในปัญหาการหาตำแหน่งที่เหมาะสม (Location problem) โดยพิจารณาหาตำแหน่งจอดรถขนส่ง (Vehicle stations) และ สถานีพักอ้อย (Load-unload stations) งานวิจัยฉบับนี้พิจารยาจัดสรรไร่อ้อยให้กับแต่จะสถานีพักอ้อย โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด รวมทั้งเงินลงทุนที่ต่ำที่สุด โดยที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำและค่าใช้จ่ายในการสูญเสียปริมาณผลผลิตที่ต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่ปัญหาการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานพิจารณาพื้นที่เพาะปลูกที่ต้องป้อนผลผลิตอ้อยเข้าสู่โรงงาน โดยรวมพื้นที่ทั้งหมดเป็นพื้นที่เดียว และมีการกำหนดรถขนส่งที่จำกัดในการใช้ขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานอุตรสาหกรรมน้ำตาล นอกจากลักษณะสมมติฐานข้างต้นแล้ว สมมติฐานในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการขนส่งก็เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการนำแบบจำลองการดำเนินการขนส่งอ้อยไปใช้งานจริง ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลจำกัดในเรื่องเวลาการขนส่ง การแบ่งภาระงานให้กับรถขนส่งจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้มีความสมดุลในการใช้รถขนส่งให้มากที่สุด งานวิจัยฉบับนี้ได้พิจารณาเรื่องนี้ด้วย โดยเราได้พัฒนาแนวคิดในการปรับปรุงระบบเพื่อที่สามารถตีกรอบคำตอบเพื่อให้มีการกระจายการใช้รถขนส่ง ซึ่งผลที่ตามมาคือ ได้เวลาในการขนส่งจำกัด โดยเราได้พิจารณาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ของรถขนส่งแต่ละคัน ขณะที่มีการกำหนดจุดสถานที่ตำแหน่งสถานีจอดรถ วิธีนี้ทำให้เรามีการแบ่งภาระงานให้กับรถขนส่งแต่ละคันได้ใกล้เคียงกัน เป้าหมายก็เพื่อให้มีการจำกัดเวลาของ

รถขนส่งแต่ละคันในการขนส่งอ้อยจากแต่ละแปลงปลูกไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล เราพิจารณากลยุทธ์การแบ่งพื้นที่รับผิดชอบของรถขนส่ง (Districting strategy) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพระบบขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล

เริ่มแรกของงานวิจัยปัญหาการกำหนดดีสตริคส์ (Districting Problem) ประยุกต์ใช้ในงานระบบบริการ (Service system) Hess et al. [7] เสนองานวิจัยระบบการจัดพื้นที่ลาดตระเวนตำรวจ (Police patrol system) ซึ่งพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่รับผิดชอบเล็กๆ เรียกว่า ดีสตริคส์ (Districts) จุดประสงค์เพื่อปรับปรุงผลดำเนินงานของระบบบริการ วิธีการวิจัยโดยพัฒนาแบบจำลองอินทิเจอร์โปรแกรมมิ่ง (Integer programming model) โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมระยะทางระหว่างแต่ละหน่วยพื้นที่เมื่อกำหนดจำนวนดีสตริคส์มาให้ การตัดสินใจคือ การจัดการประชากรให้กับแต่ละดีสตริคส์ งานวิจัยฉบับนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับงานของ Gass [8] ซึ่งใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) สำหรับปัญหาการจัดพื้นที่ลาดตระเวนตำรวจ ต่อมา Bertolazzi et al. [9] ได้พัฒนาแบบจำลองอินทิเจอร์โปรแกรมมิ่ง (Integer programming model) สำหรับปัญหาดีสตริคส์ (Districting problem) โดยมีจุดประสงค์เพื่อค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมระยะเวลาเดินทางจากแต่ละหน่วยพื้นที่ขณะที่มีความสมดุลของภาระงานของแต่ละดีสตริคส์ การตัดสินใจคือ การจัดสรรความต้องการบริการไปยังแต่ละหน่วยดีสตริคส์ สำหรับการประยุกต์ปัญหาดีสตริคส์กับระบบการขนส่งแล้ว Marlin [10] พิจารณาปัญหาดีสตริคส์เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดในการเดินทาง การตัดสินใจคือ การจัดพื้นที่รับผิดชอบให้แต่ละดีสตริคส์ งานวิจัยฉบับนี้พิจารณาค่าขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดของผลรวมภาระรับผิดชอบของแต่ละดีสตริคส์ วิธีการวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองเชิงเส้นตรง (Linear programming model) Fleischmann and Paraschis [11] นำเสนองานวิจัยปัญหาดีสตริคส์สำหรับออกแบบเขตรับผิดชอบของงานบริการขายสินค้า ได้พัฒนาแบบจำลองอินทิเจอร์โปรแกรมมิ่ง จุดประสงค์เพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมคะแนนของผลิตภัณฑ์กับระยะทางระหว่างศูนย์บริการการขายไปยังศูนย์ย่อยสำหรับขายสินค้าแต่ละผลิตภัณฑ์ สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาดีสตริคส์ภายใน 5 ปีนี้ Geroliminis et al. [12] ได้พัฒนาปัญหาดีสตริคส์โดยพิจารณาการกระจายความต้องการบริการและความต้องการบริการแบบชั่วคราวเข้าไปในโมเดล แบบจำลองพิจารณาความน่าจะเป็นที่ว่าหน่วยให้บริการมีโอกาสไม่ว่างในช่วงที่มีความต้องการเข้ามา แบบจำลองพิจารณาอัตราการให้บริการของหน่วยบริการขึ้นกับนโยบายการจัดดีสตริคส์และนโยบายการจัดหน่วยบริการ งานวิจัยนำเสนอแบบจำลองอินทิเจอร์โปรแกรมมิ่งโดยพิจารณาระบบแถวคอยเข้าไปในโมเดล

สำหรับงานวิจัยปัญหาดีสตริคส์ในปัจจุบัน จากงานวิทยานิพนธ์ของ Damitha Bandara [13] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหาการกำหนดดีสตริคส์ (Districting Problem) โดยได้พัฒนาโมเดลการจัดกลุ่มโซนของระบบการให้บริการขนส่งผู้ป่วยฉุกเฉิน (Emergency Medical Service, EMS) เพื่อรวมกันเป็นดีสตริคส์ งานวิจัยฉบับนี้มีสมมติฐานว่า พื้นที่รับผิดชอบของหน่วยงาน อีเอ็มเอส ทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมจตุรัสขนาดเล็กเรียกว่า โซน (Zone) การตัดสินใจคือ การกำหนดแต่ละโซนรวมกัน

เป็นดีสตริคส์ โดยที่แต่ละดีสตริคส์ มีจำนวนรถฉุกเฉินให้บริการจำกัด แต่ให้บริการแต่ภายในดีสตริคส์เดียวกันเท่านั้น งานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ให้ค่าอัตราการเข้าถึงผู้ป่วยมากที่สุดของรถฉุกเฉินภายในเวลาที่กำหนด โดยนำเสนอการแก้ปัญหาด้วยอินทีเจอร์โปรแกรมมิ่งส์โมเดล (Integer Programming Model) รูปภาพที่ 2.1 แสดงการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมดเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมที่เรียกว่า โซน คำอธิบายพารามิเตอร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการกำหนดดีสตริคส์ นำเสนอดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบของหน่วยงานรถฉุกเฉินเป็นพื้นที่โซน

คำอธิบายพารามิเตอร์

n จำนวนโซน

m จำนวนสถานีรถฉุกเฉิน โดยที่แต่ละสถานีมีรถฉุกเฉินให้บริการหนึ่งคัน

K จำนวนดีสตริคส์ ที่เป็นไปได้ทั้งหมด

d_{ij} ระยะทางจากโซน i ไปยังสถานีรถฉุกเฉิน j

a_{il} ระยะทางจากโซน i ไปยังโซน l

h_i จำนวนความต้องการรถฉุกเฉินของโซน i

เซตของข้อมูลนำเข้า

$N = \{ i,l : i,l = 1, 2, 3,\ldots, n\}$

$M = \{ j : j = 1, 2, 3,\ldots, m\}$

$\overline{K} = \{ k : k = 1, 2, 3,\ldots, K\}$

ตัวแปรในการตัดสินใจ

$X_{jk} = 1$ ถ้ารถฉุกเฉิน j ถูกกำหนดให้บริการพื้นที่ดีสตริคส์ k

0 อื่นๆ

Y_{ijk} = 1 ถ้ารถฉุกเฉินจาก j ที่มีสถานีอยู่ที่ดีสตริคส์ k สามารถเข้าถึงผู้ป่วยโซน i ภายในเวลาที่กำหนด

0 อื่นๆ

Z_{ik} = 1 ถ้ากำหนดให้โซน i อยู่ในพื้นที่ดีสตริคส์ k

0 อื่นๆ

D_{ilk} = 1 ถ้ากำหนดให้โซน i และโซน l อยู่ในพื้นที่ดีสตริคส์ k

0 อื่นๆ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการเป้าหมาย ค่าที่น้อยท่สุด $\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} h_i d_{ij} Y_{ijk} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{n}\sum_{l\geq i}^{n} a_{il} D_{ilk}$ (2.5)

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K} Y_{ijk} \geq 1 \qquad \forall i \in I \qquad (2.6)$$

$$\sum_{k=1}^{K} X_{jk} = 1 \qquad \forall j \in J \qquad (2.7)$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_{jk} \geq 2 \qquad \forall k \in \overline{K} \qquad (2.8)$$

$$Y_{ijk} \leq X_{jk} \qquad \forall k \in \overline{K}, \forall j \in J, \forall i \in I \qquad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^{n} Z_{ik} = 1 \qquad \forall k \in \overline{K} \qquad (2.10)$$

$$Z_{ik} + X_{jk} - Y_{ijk} \leq 1 \qquad \forall k \in \overline{K}, \forall j \in J, \forall i \in I \qquad (2.11)$$

$$D_{ilk} \leq Z_{ik} \qquad \forall k \in \overline{K}, \forall i,l \in I, i \neq l \qquad (2.12)$$

$$X_{jk}, Z_{ik}, Y_{ijk}, D_{ilk} \in \{0,1\} \qquad \forall k \in \overline{K}, \forall j \in J, \forall i \in I \qquad (2.13)$$

สมการเป้าหมายเพื่อหาค่าที่น้อยที่สุดของการตัดสินใจ โดยสมการประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรกเป็นรวมรวมค่าระยะทาง โดยพิจารณาน้ำหนักจากโซน i ไปยังสถานีรถฉุกเฉิน j โดยคำนวณระยะทางจากแต่ละโซนไปยังสถานีรถฉุกเฉินที่ตั้งอยู่ใน ดีสตริคส์เดียวกัน และส่วนที่สองเป็นระยะทางรวมระหว่างสองโซนที่อยู่ในดีสตริคส์เดียวกัน สมการข้อจำกัด (2.6) เพื่อให้แน่ใจได้ว่าในแต่ละโซน สามารถถูกเข้าถึงโดยรถฉุกเฉินอย่างน้อยหนึ่งคันภายในเวลาที่กำหนด สมการข้อจำกัด (2.7) เพื่อให้แน่ใจได้ว่ารถฉุกเฉินแต่ละคันถูกจัดเข้าเพียงดีสตริคส์เดียว สมการข้อจำกัด (2.8) เพื่อให้แน่ใจได้ว่ามีรถฉุกเฉินอย่างน้อย 2 คันในแต่ละดีสตริคส์ สมการข้อจำกัด (2.9) เพื่อให้แน่ใจได้ว่าถ้าผู้ป่วยโซน i ถูกเข้าถึงด้วยรถฉุกเฉิน j ภายในเวลาที่กำหนดและโซน i อยู่ในดีสตริคส์ k แล้วรถฉุกเฉิน j จะถูกจัดเข้าดีสตริคส์ k สมการข้อจำกัด (2.10) เพื่อให้แน่ใจได้ว่าโซน i ถูกขีดเข้าไปเพียงดีสตริคส์เดียว สมการข้อจำกัด (2.11) เพื่อให้แน่ใจได้ว่าโซน i และสถานีรถฉุกเฉิน j อยู่ในดีสตริคส์เดียวกัน สำหรับ สมการข้อจำกัด (2.12) และ (2.13) เพื่อให้แน่ใจได้ว่า D_{ilk} มีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าทั้ง Z_{ik} และ Z_{lk} มีค่าเท่ากับ 1

งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองสโตแคสติกส์ หมายถึง งานวิจัยที่วิเคราะห์ปัญหาเมื่อข้อมูลนำเข้าสู่ระบบมีความไม่แน่นอน แต่สามารถคาดการณ์รูปแบบได้จากข้อมูลที่ผ่านมา วิธีการในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีสโตแคสติกส์ของจำนวนผลิตหรือจำนวนขนส่ง (Stochastic lot size) ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับปัญหาตารางการผลิต ปัญหานี้พิจารณาผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งผลิตภัณฑ์ โดยที่ความต้องการเป็นแบบสุ่ม (Multiple products with random demand) โดยมีข้อจำกัดเรื่องกำลังการผลิตของทรัพยากรณ์ งานวิจัยของ Sox et al. [14] พิจารณาข้อจำกัดนี้ในปัญหา โดยได้ทำรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสโตแคสติกส์ของการจัดตารางผลิต (Stochastic lot scheduling problem) ต่อมา Beraldi et al. [15] วิเคราะห์ปัญหาขนาดสั่งผลิตบนเครื่องจักรขนานภายใต้สถานการณ์ความไม่แน่นอน งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองโดยอิงข้อมูล การวางแผนลักษณะต่างๆ ที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้าเพื่อเปรียบเทียบแผนแต่ละรูปแบบ งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีสโตแคสติกส์ โดยเฉพาะวิธีสองสเตทสโตแคสติกส์โปรแกรมมิ่ง (Two-stage stochastic programming model) สำหรับปัญหาการขนส่ง ได้มีการพิจารณาในงานวิจัยของ Liu et al. [16] งานวิจัยฉบับนี้พิจารณาแบบจำลองปัญหาการขนส่งโดยโครงข่าย (Network problem) โดยพิจารณาในการกำหนดจัดสรรทรัพยากรเพื่อให้ครอบคลุมกับความต้องการ ต่อมา Winands [17] นำเสนอรวบรวมงานวิจัยสำหรับแบบจำลองขนาดการผลิตแบบประหยัดสำหรับปัญหาสโตแคสติกส์ของตารางผลิต งานวิจัยนี้ได้พุ่งเป้าหมายไปที่ปัญหาการจัดกระบวนการผลิต จะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่ปัญหาการขนส่งที่พิจารณาสภาพปัญหาแบบสโตแคสติกส์ไม่พิจารณาเรื่องขนาดการขนส่งร่วมกับปัญหาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบของรถขนส่ง แต่ในงานวิจัยของเราฉบับนี้ได้พิจารณาจำกัดภาระของรถขนส่ง โดยการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบของรถขนส่งและพิจารณาขนาดการขนส่งวัตถุดิบอ้อยเพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ผลทำให้มีความสมดุลปริมาณการรถขนส่งสำหรับกรณีมีรถขนส่งประเภทเดียว จำนวนหลายคัน

งานวิจัยฉบับนี้ เราพิจารณาการประยุกต์ปัญหาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบของรถขนส่ง เพื่อให้ในการสร้างแบบจำลองปัญหาการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล เราได้ขยายปัญหาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบของ Bandara [13] โดยการพัฒนาในเรื่องการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบร่วมกับการกำหนดขนาดขนส่งพร้อมทั้งจัดสรรรถขนส่งให้กับแต่ละแปลงปลูกอ้อยที่ต้องป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด นอกจากนี้แล้ว งานวิจัยของเรามีความแตกต่างจากงานวิจัยเฉพาะก่อนนี้ตรงที่ เราพิจารณาระบบที่ใกล้เคียงสภาพแวดล้อมจริงของปัญหาด้วยการพิจารณาความน่าจะเป็นที่แปลงปลูกอ้อย จะมีผลผลิตอ้อยป้อนเข้าสู่โรงงานไม่แน่นอน ซึ่งเหตุการณ์ที่ทำให้ทราบปริมาณผลผลิตอ้อยในแต่ละแปลงที่ผลิตได้จะเกิดขึ้นหลังกระบวนการแก้ปัญหาการแบ่งพื้นที่เรียบร้อยแล้ว โดยในแต่ละปีเราจะทำการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ หลังจากทำการกำหนดแผนการเพาะปลูกสำหรับแต่ละแปลง ผลผลิตที่แต่ละแปลงผลิตได้ จะมีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่สภาพอากาศในปีนั้นๆ เช่น ถ้าฝนตกน้อย ปริมาณอ้อยที่พร้อมสำหรับการตัดเพื่อป้อนโรงงานก็จะน้อย และช่วงเวลาที่พร้อมจะป้อนเข้าสู่โรงงานจะล่าช้าออกไป แต่ถ้าปริมาณฝนมาก อ้อยที่พร้อมสำหรับการตัดก็จะมีปริมาณมากขึ้น และพร้อมเข้าสู่โรงงานในช่วงเวลาที่เร็วขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากอ้อยเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญกับโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ระบบการขนส่งอ้อยเพื่อป้อนโรงงานในช่วงที่อ้อยดิบให้ความหวานสูงจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตรวมของโรงงาน กลยุทธ์การรวมศูนย์รถบรรทุกเพื่อขนส่งอ้อยดิบจากไร่ไปยังโรงงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งได้ งานวิจัยฉบับนี้พิจารณาระบบการรวมศูนย์รถบรรทุกเพื่อการขนส่งอ้อย โดยมีสมมติฐานว่าพื้นที่เพาะปลูกที่เป็นแหล่งวัตถุดิบของโรงงาน มีการแบ่งออกเป็นโซนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีการกำหนดพื้นที่แต่ละโซน ระยะทางจากโรงงานไปยังพื้นที่แต่ละโซน คำนวณจากจุดศูนย์กลางของโรงงานไปยังจุดศูนย์กลางของแต่ละโซนโดยใช้ค่าตามละติจูด ลองติจูด และระยะทางจากโซนไปยังโซน คำนวณระยะทางจากจุดศูนย์กลางของแต่ละโซนโดยใช้ค่าตามละติจูด ลองติจูดเช่นกัน การวิจัยพิจารณาแบ่งปัญหาการขนส่งอ้อยออกเป็น 2 สเตท รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการในการแก้ปัญหาโดยนำเสนอแผนภาพแสดงกระบวนการในการตัดสินใจของปัญหาการขนส่งอ้อย สเตทแรก พิจารณากำหนดการรวมกลุ่มโซนเพื่อจำกัดขอบเขตการขนส่ง แต่ละกลุ่มโซนเรียกว่า ดีสตริคส์ (Districts) กำหนดจำนวนรถบรรทุกที่สามารถขนส่งอ้อยจากแต่ละโซนไปยังโรงงานมีจำนวนจำกัด จำนวนรถบรรทุกในแต่ละโซนกำหนดโดยคาดการณ์ปริมาณผลิตผลสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นในช่วงเวลา เพื่อใช้ในการขนส่งอ้อยจากไร่ไปยังโรงงาน รถบรรทุกในแต่ละดีสตริคส์สามารถขนส่งอ้อยจากไร่ไปยังโรงงานในดีสตริคส์เดียวกัน และสามารถใช้ในการขนส่งอ้อยจากดีสตริคส์อื่น ไปยังโรงงาน ไม่ได้เมื่อดีสตริคส์นั้นมีจำนวนรถบรรทุกไม่เพียงพอ จะทำการขนส่งให้ช่วงเวลาถัดไป ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้บางช่วงเวลา (Time period) นอกจากนี้งานวิจัยได้พิจารณาความน่าจะเป็นของปริมาณอ้อยดิบที่มีค่าความหวานเหมาะสมในแต่ละโซนเพื่อป้อนสู่โรงงาน โดยพิจารณาความน่าจะเป็นแบบช่วงของปริมาณอ้อยจากไร่ที่พร้อมจะป้อนเข้าสู่โรงงาน ในสเตทแรกนี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งให้ต่ำที่สุด หลังจากผลผลิตจริงเกิดขึ้น (ปริมาณอ้อยที่ต้องการขนส่งในแต่ละช่วงเวลา) เราพิจารณาการตัดสินใจของสเตทที่สองตัดสินใจเรื่องการวางแผนการขนส่งอ้อยในแต่ละโซน แต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดปริมาณอ้อยที่เหมาะสมที่จะต้องขนส่งไปยังโรงงานน้ำตาล โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด แนวทางการวิจัยได้ทำการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ปัญหาสองสเตท เพื่อวิเคราะห์ระบบขนส่งอ้อยข้างต้น โดยมีสมมติฐานของระบบแสดงในหัวข้อ 3.1

3.1 อภิปรายระบบการขนส่งอ้อย

ลักษณะของปัญหาระบบการขนส่งอ้อยเพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานอุตหสาหกรรมพิจารณาโดยรวมแปลงอ้อยเข้าโดยกัน โดยเรียกว่า โซนแปลงอ้อย (Cane field zones) แต่ละโซนแปลงอ้อยมีผลผลิตจากการเพาะปลูก ซึ่งมีการกำหนดแผนการเพาะปลูกเป็นสมมติฐานนำเข้าสู่ระบบ เราพิจารณาช่วงเวลาเป็นราย

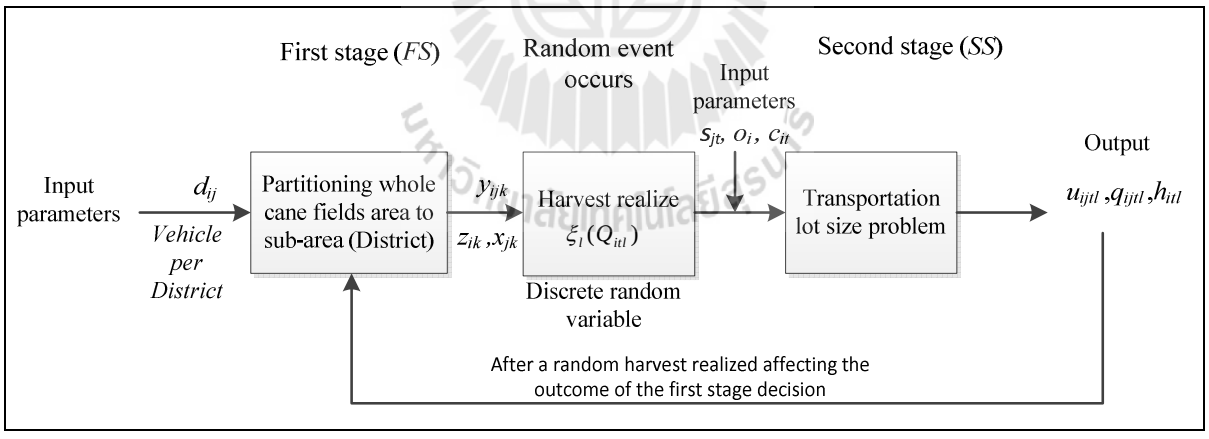
สัปดาห์ (Time period) แต่ละรายสัปดาห์จะมีผลผลิตจากแต่ละโซนแปลงอ้อยที่พร้อมป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม ที่ซึ่งมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น มีโอกาสที่แต่ละโซนแปลงอ้อย จะให้ผลผลิตไม่เป็นไปตามแผนการเพาะปลูก โดยปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้สามารถคาดการณ์ได้ด้วยความน่าจะเป็น ลักษณะวิธีการดำเนินงาน เราจะทำการรวมกลุ่ม โซนแปลงอ้อย (Cane field zones) เข้าด้วยกันเรียกว่า พื้นที่รับผิดชอบ (District) แบบจำลองจะต้องทำการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบของรถขนส่งแต่ละคัน และกำหนดขนาดขนส่ง (Transportation lot size) วิธีการแก้ไขปัญหาทำได้โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีสมมติฐานของระบบดังต่อไปนี้

- เราทำการกำหนดรวมแปลงอ้อยเข้าด้วยกันโดยแปลงที่มีเจ้าของเดียวกันจะถูกรวมกัน เรียกว่า โซนแปลงอ้อย (Cane field zone) และกำหนดจุดศูนย์กลางของแต่ละโซนแปลงอ้อย
- กำหนดให้พิจารณาระบบประกอบด้วย โรงงานอุตหสาหกรรมน้ำตาลจำนวน 1 โรงงาน
- แต่ละโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) ให้สัญลักษณ์ i, $i = 1, 2,\ldots, n$ ตั้งอยู่บริเวณโดยรอบโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยที่ n คือ จำนวนโซนแปลงอ้อยทั้งหมด
- เราพิจารณาระบบการขนส่งซึ่งมี รถขนส่งหนึ่งประเภท (รถบรรทุก 6 ล้อ) ให้สัญลักษณ์ของรถขนส่งเป็น j, $j = 1, 2,\ldots, J$ โดยที่ J คือ จำนวนรถขนส่งทั้งหมด
- เมื่อเริ่มต้นของปี จะมีการกำหนดแผนการเพาะปลูกโดยแผนการเพาะปลูกเป็นข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่ระบบ แต่ละโซนแปลงอ้อย จะมีแผนปริมาณเพาะปลูกไว้ล่วงหน้า ก่อนฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยจะมาถึง เราจะทำการวิเคราะห์ระบบ ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นเพื่อหาคำตอบในการรวมโซนแปลงอ้อย เข้าด้วยกันเป็นพื้นที่รับผิดชอบ (District) k, $k = 1, 2,\ldots, K$ โดยที่ K คือ จำนวนพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมด
- เราจะทำการทำหมดจำนวน K พื้นที่รับผิดชอบ และจำนวนของรถขนส่ง รวมตั้งสถานทีจอดรถ เราจะจัดสรรรถขนส่งให้แก่แต่ละสถานีจอดรถ ทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลป้อนเข้าระบบ
- การตัดสินใจในสเตทแรก (First stage: *FS*) แบบจำลองคณิตศาสตร์จะทำการกำหนดจัดสรรโซนแปลงอ้อยให้แก่แต่ละพื้นที่รับผิดชอบ พร้อมจัดสรรรถขนส่งให้กับแต่ละโซนแปลงอ้อย ขณะที่มีการจำกัดจำนวนรถขนส่งและสถานที่จอดรถของรถขนส่งแต่ละคัน ก่อนที่ฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะมาถึง เราจะยังไม่ทราบปริมาณผลผลิตของแต่ละแปลงโซนอ้อย ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งไม่แน่นอน
- เรากำหนดให้ เซตจำกัด $z = (z_{1k},\ldots, z_{ik},\ldots, z_{nk})$ ที่ซึ่ง เราจะต้องจัดสรรโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ให้กับพื้นที่รับผิดชอบ (District) k
- เรากำหนดให้ เซตจำกัด $x = (x_{1k},\ldots, x_{jk},\ldots, x_{Jk})$ ที่ซึ่ง เราจะต้องจัดสรรรถขนส่ง j ให้กับแต่ละพื้นที่รับผิดชอบ (District) k
- เรากำหนดให้ เซตจำกัด $y = (y_{11k},\ldots, y_{ijk},\ldots, y_{njk})$ ที่ซึ่ง เราจะต้องจัดสรรรถขนส่ง j ให้เพื่อทำการขนส่งผลผลิตอ้อยดิบจากโซนแปลงอ้อย i สำหรับพื้นที่รับผิดชอบ k เพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล แต่ละโซนแปลงอ้อย i จะมีการเลือกรถขนส่งเฉพาะไว้เพื่อทำการขนส่ง โดย

อาจมีรถขนส่งมากกว่าหนึ่งคันที่สามารถขนส่งผลผลิตอ้อยจากโซนแปลงอ้อย i ได้ และโซนแปลงอ้อย i กับรถขนส่งที่ถูกเลือกเพื่อขนส่งจะต้องอยู่ในพื้นที่รับผลิตชอบ (District) k เดียวกัน

- กำหนดให้แต่ละช่วงเวลา เป็นสัปดาห์ t, $t = 1, 2,\ldots, T$ โดยที่ T คือ จำนวนช่วงเวลาทั้งหมด ปริมาณผลผลิตแต่ละโซนแปลงอ้อยเป็นจำนวน ตัน จะต้องขนส่งเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ให้ได้เพียงพอต่อ กำลังการผลิตขึ้นต่ำของโรงงานอุตหสาหกรรมน้ำตาล
- ช่วงฤดูเก็บเกี่ยว เราจะมีการตัดสินใจในเรื่องการขนส่ง ในแต่ละช่วงเวลา t, $t = 1, 2,\ldots, T$ โดยผลผลิตปริมาณอ้อยที่ได้สำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อย i เกิดขึ้นแบบสุ่ม โดยกำหนด เซตจำกัด $Q = (Q_{1tl},\ldots, Q_{itl},\ldots, Q_{ntl})$ ที่ซึ่ง เป็นจำนวนตันของอ้อยที่พร้อมตัดเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที่ช่วงเวลา t หลังจากทราบผลผลิตที่ได้จริงตามช่วงเวลา เรากำหนด เซตจำกัด สำหรับแต่ละแผนการขนส่ง (Scenario) l, $l = 1, 2,\ldots, L$ ที่ซึ่ง L คือ จำนวนแผนการขนส่งทั้งหมด ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง การกำหนดแต่ละแผนการขนส่ง (Scenario) l มีลักษณะเป็นความน่าจะเป็นแบบช่วง (Discrete distribution) โดยโอกาสเกิดเป็น ξ_l
- การตัดสินใจใน สเตทที่สอง (Second stage: SS) เรากำหนดรีคอร์ทเอคชั่น (Recourse action) หรือ การตัดสินใจในเรื่องโซนแปลงอ้อยที่จะต้องตัดอ้อยและขนส่ง รวมทั้งปริมาณการขนส่ง (Lot size) $q(q_{1tl},\ldots, q_{itl},\ldots, q_{ntl},\ Q_{1tl},\ldots, Q_{itl},\ldots, Q_{ntl})$ โดยที่แบบจำลองคณิตศาสตร์จะต้องตอบคำถามเรื่อง โซนแปลงอ้อยที่ต้องตัดและขนส่ง และขนาดการขนส่ง (ตัน)
- สำหรับปริมาณผลผลิตอ้อยแต่ละโซนแปลงอ้อยที่มีการตัดเมื่อโตเต็มที่ แล้วไม่มีการขนส่งในช่วงเวลานั้นๆ จะต้องถูกเก็บไว้บริเวณแปลงโซนอ้อย ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการเก็บ สำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อย ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเก็บ เป็นบาทต่อตันต่อช่วงเวลา โดยข้อมูลนำเข้าค่าใช้จ่ายในการเก็บคือ $h(h_{1tl},\ldots, h_{itl},\ldots, h_{ntl},\ldots, Q_{1tl},\ldots, Q_{itl},\ldots, Q_{ntl})$ สำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อย i เราจะไม่อนุญาตให้มีการขนส่งอ้อยไปเก็บพักไว้ที่ลานหน้าโรงงาน หรือ จุดพักอ้อยต่างๆ ที่ไม่ใช่จุดพักอ้อยภายในโซนแปลงอ้อย
- ผลเฉลยที่ดีที่สุดในเรื่องขนาดขนส่งและปริมาณการเก็บของอ้อยที่ถูกตัดสำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อยสำหรับแต่ละช่วงเวลา จะถูกตัดสินใจในสเตทที่สอง รวมไปถึงการตัดสินใจจัดสรรรถขนส่งเพื่อใช้ในการขนอ้อยจากโซนแปลงอ้อยไปยังโรงงานแต่ละช่วงเวลา โดยที่ปริมาณของรถขนส่งมีปริมาณจำกัด โดยอิงพื้นฐานคำตอบที่ได้จาก สเตทแรก ซึ่งมีการตัดสินใจก่อนนี้ในเรื่อง พื้นที่รับผิดชอบ (District) และการจัดสรรโซนแปลงอ้อยและรถขนส่งให้แก่แต่ละพื้นที่รับผิดชอบ ที่ซึ่งตัวแปรตัดสินใจในสเตทแรก คือ ตัวแปร $x,\ y,\ z$ และ ความน่าจะเป็นในการเกิดแผนการขนส่ง (Scenario) ξ_l ซึ่งมีโอกาสเกิดแบบสุ่ม ขณะที่ตัวแปรตัดสินใจในสเตทที่สอง คือ กำหนดปริมาณขนส่งและกำหนดรถในการขนส่ง แต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา อนุญาตให้บางโซนแปลงอ้อย อาจไม่มีการขนส่งไปยังโรงงาน แต่ละช่วงเวลาได้

เราได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตณ์ของสองสเตทสโตแคสติกส์โปรแกรมมิ่ง (Two-stage stochastic programming model) เราพิจารณาวิธีการหาคำตอบโดยอิง แผนการขนส่งรูปแบบต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตจริงที่ได้ในฤดูกาลเก็บเกี่ยว ในแต่ละช่วงเวลา ในการหาคำตอบของปัญหานี้ เรากำหนดตัวแปรสุ่มแสดงการแจกแจงปริมาณผลผลิตอ้อยดิบของแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา เป็นการแจกแจงแบบช่วง ซึ่งรู้ลักษณะการแจกแจง หาได้จากข้อมูลในอดีต ในสเตทแรก เรามีการตัดสินใจที่ต้นปี ครั้งเดียวตั้งแต่ช่วงเวลาการวางแผนการเพาะปลูก โดยกำหนดพื้นที่รับผิดชอบ ซึ่งเป็นการรวมหลายๆ โซนแปลงอ้อยเข้าด้วยกัน และจัดสรรรถขนส่งให้กับแต่ละพื้นที่รับผลิตชอบ จากนั้นเป็นการตัดสินในในสเตทที่สอง ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากทราบปริมาณผลผลิตที่ได้แต่ละช่วงเวลาตลอดฤดูการเก็บเกี่ยวของแต่ละโซนแปลงอ้อย ในสเตทที่สอง แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเป็นแบบมิคอินทิเจอร์โปรแกรมมิ่ง (Mixed integer programming model) โดยแบ่งช่วงเวลาตลอดการวางแผนเป็น รายสัปดาห์ การขนส่งจะกำหนดปริมาณขนส่ง และจัดสรรรถขนส่งให้ ของแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา จุดประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อหาแผนการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและขนาดการขนส่งอ้อย ที่ให้ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยค่าใช้จ่ายรวมประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (ค่าน้ำมันรถซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางจากโซนแปลงอ้อย ไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล และค่าเสื่อมราคารถ) ค่าใช้จ่ายในการเก็บ (หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการเก็บอ้อยที่ตัดแล้วและไม่ได้ขนส่งไปยังโรงงาน หน่วยเป็นบาทต่อตันต่อช่วงเวลา) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (ประกอบด้วยค่าตัดอ้อย ค่าขนขึ้นรถบรรทุก ในที่นี้เป็นค่าแรงงาน) และ ค่าใช้จ่ายในการผลิต (หมายถึง ค่าใช้จ่ายแปรผัน ขึ้นกับปริมาณผลิต) แผนภาพแสดงการไหลของระบบแสดงได้ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภูมิกระบวนการไหลของแบบจำลองระบบสำหรับปัญหาการตัดสินใจพื้นที่รับผิดชอบ (District) และปัญหาขนาดขนส่งร่วมกัน

การดำเนินการของระบบเริ่มจาก พารามิเตอร์นำเข้า ซึ่งได้แต่แผนการเพาะปลูก ของแต่ละโซนแปลงอ้อย ซึ่งกำหนดปริมาณเพาะปลูกอ้อย จำนวนโซนแปลงอ้อย จำนวนรถขนส่ง และสถานีจอดรถของรถขนส่งแต่ละคัน ระยะทางจากสถานีจอดรถ ไปยังแต่ละโซนแปลงอ้อย และระยะทางจากแต่ละโซนแปลงอ้อยไปยังโรงงาน จำนวนช่วงเวลาที่พิจารณา ความน่าจะเป็นของปริมาณผลผลิตจริงที่ได้ เพื่อการตัดสินใจ

สำหรับแต่ละแผนการขนส่ง (Scenario) ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บ, ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และ ค่าใช้จ่ายในการผลิต จากรูปที่ 3.1 พารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบ และในสเตทแรก มีการตัดสินใจในเรื่อง พื้นที่รับผิดชอบ โดยมีตัวแปรตัดสินใจ *x, y, z* หลังการนี้ เมื่อ ผลผลิตเกิดขึ้นจริง (เกิดแบบไม่แน่นอน เป็นการแจกแจงแบบช่วง) ในสเตทที่สอง เรามีการตัดสินใจในเรื่องขนาดขนส่ง ขนาดในการเก็บหน้าจุดพักอ้อยภายในโซนแปลงอ้อย และจัดสรรรถที่ใช้ในการขนส่งของแต่ละโซนแปลงอ้อย และแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่างๆ เกิดขึ้น การตัดสินใจในสเตทสอง ขึ้นกับ สเตทแรก และดังนั้น ผลโดยรวมของระบบจึงขึ้นกับการตัดสินใจทั้งสองสเตทร่วมกัน ไม่สามารถแยกปัญหา หรือตัดสินใจทีละปัญหาได้

3.2 ตัวแปรต่างๆ ของปัญหาการกำหนดพื้นที่ขนส่งและการจัดการขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล

3.2.1 ความหมายของสัญลักษณ์

แบบจำลองคณิตศาสตร์สร้างขึ้นโดยใช้สัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

1) ดัชนี

n	จำนวนของโซนแปลงอ้อย (Number of cane field zones)
J	จำนวนของรถขนส่ง (Number of trucks)
K	จำนวนพื้นที่รับผิดชอบ (Number of districts)
T	จำนวนช่วงเวลา (Number of time periods)
L	จำนวนแผนการขนส่ง (Number of scenarios)
i	ดัชนีโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) $i = 1, 2, \ldots, n$
j	ดัชนีรถขนส่ง (Existing truck) $j = 1, 2, \ldots, J$
k	ดัชนีพื้นที่รับผิดชอบ (District) $k = 1, 2, \ldots, K$
t	ดัชนีช่วงเวลา (Time period) $t = 1, 2, \ldots, T$
l	ดัชนีแผนการขนส่ง (Scenario) $l = 1, 2, \ldots, L$
$BigM$	จำนวนเต็มค่ามาก (A large integer number)
VPD	จำนวนรถขนส่งต่อพื้นที่รับผิดชอบ (Number of trucks per district)
COV	ปริมาณที่สามารถขนส่งได้ของรถขนส่ง: ตัน (Capacity of each truck)
COF	ปริมาณที่ต้องการของโรงงานต่อช่วงเวลา: ตัน (Delivery quantity of sugarcane required per period)

2) พารามิเตอร์

d_{ij}	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสำหรับโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยรถขนส่ง (Truck) j

s_{jt} ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Setup cost: fixed cost) สำหรับรถขนส่ง (Truck) j ที่ช่วงเวลา (Time period) t ประกอบด้วยค่าตัดอ้อย ค่าขนขึ้นรถบรรทุก ในที่นี้เป็นค่าแรงงาน

o_i ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อตันของโซนแปลงอ้อย i (Cane field zone) ประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายแปรผัน ขึ้นกับปริมาณผลิต

c_{it} ค่าใช้จ่ายในการเก็บต่อตันต่อช่วงเวลาของโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ที่ช่วงเวลา (Time period) t ประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายในการเก็บอ้อยที่ตัดแล้วและไม่ได้ขนส่งไปยังโรงงาน หน่วยเป็นบาทต่อตันต่อช่วงเวลา

Q_{itl} ปริมาณผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ของโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ที่ช่วงเวลา (Time period) t และต้องใช้แผนการขนส่ง (Scenario) l

ξ_l ความน่าจะเป็นที่จะต้องเลือกใช้แผนการขนส่ง (Scenario) l

VPD จำนวนรถบรรทุกที่ต่ำที่สุดต้องประจำที่แต่ละพื้นที่รับผิดชอบ (District) k

COF ปริมาณความต้องการอ้อยของโรงงาน (ตัน) ต่อช่วงเวลา (Time period) t

COV กำลังการขนส่งสูงสุดของรถขนส่ง (ตัน) ต่อคัน

3) ตัวแปรตัดสินใจ

z_{ik} 1 ถ้าจัดสรรโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ให้กับพื้นที่รับผิดชอบ (District) k

0 อื่นๆ

x_{jk} 1 ถ้าจัดสรรรถขนส่ง j ให้กับพื้นที่รับผิดชอบ(District) k

0 อื่นๆ

y_{ijk} 1 ถ้าจัดสรรโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i และรถขนส่ง j ให้กับพื้นที่รับผิดชอบเดียวกัน k

0 อื่นๆ

u_{ijtl} 1 ถ้าขนส่งอ้อยจากโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i โดยรถขนส่ง j ที่ช่วงเวลา (Time period) t และต้องใช้แผนการขนส่ง (Scenario) l

0 อื่นๆ

q_{ijtl} ปริมาณอ้อยที่ต้องขนส่งโดยรถขนส่ง j ที่ช่วงเวลา (Time period) t และต้องใช้แผนการขนส่ง (Scenario) l

h_{itl} ปริมาณอ้อยที่ต้องเก็บรักษาไว้ที่โซนแปลงอ้อย หน่วย ตัน (Holding units) ของโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ที่ปลายช่วงเวลา (Time period) t ต้องใช้แผนการขนส่ง (Scenario) l

f ค่าที่ต่ำที่สุด (Optimal value)

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการกำหนดพื้นที่ขนส่งและการจัดการขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล

จากการวิเคราะห์ระบบ ได้นำเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการหาคำตอบของปัญหา การแบ่งพื้นที่รับผิดชอบจากแปลงอ้อยทั้งหมดเพื่อให้ได้แต่ละโซนแปลงอ้อย อย่างไรก็ตามเราพิจารณาความน่าจะเป็นที่ช่วงฤดูเก็บเกี่ยวจะให้ผลผลิตอ้อย แต่ละโซนแปลงอ้อยไม่เป็นไปตามที่วางแผนเพาะปลูก ระบบการขนส่งพิจารณาจำนวนรถขนส่งจำกัด ทั้งหมด และกำหนดจำนวนรถบรรทุกขั้นต่ำของแต่ละพื้นที่รับผิดชอบ โดยพิจารณา รถขนส่งประเภทเดียว คือ รถหกล้อ ซึ่งขนส่งได้ปริมาณ (ตัน) จำกัดต่อรอบ ในสเตทที่สอง ปัญหานี้พิจารณาวางแผนการขนส่งในแต่ละลักษณะของผลผลิตจากโซนแปลงอ้อย โดยทำการหาคำตอบของปริมาณขนส่ง (ตัน) ที่ประหยัด (Lot size) และคำตอบของปริมาณเก็บรักษา (ตัน) ที่แปลงอ้อย ถ้าไม่ถูกตัดตามช่วงเวลาที่เหมาะสม สำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อย ของแต่ละช่วงเวลา และทำการหาคำตอบของการจัดสรรรถขนส่งให้กับแต่ละโซนแปลงอ้อยที่พิจารณาให้มีการขนส่งได้ โดยคำตอบของสเตทที่ 2 เกี่ยวข้องกับความน่าจะเป็นของการเกิดผลผลิตแต่ละโซนแปลงอ้อย ที่มีผลต่อการเลือกโซนแปลงอ้อยที่ต้องขนส่งอ้อยไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล จากการวิเคราะห์ได้พิจารณาสร้างสมการคณิตศาสตร์สองสเตทสโตแคสติกส์โปรแกรมมิ่ง (Two – stage stochastic programming model) เพื่อหาคำตอบของปัญหานี้ ในสเตทแรกทำการตัดสินใจปัญหาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ (District problem) ก่อนที่ผลผลิตจากแต่ละโซนแปลงอ้อยจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว ขณะที่สเตทที่สอง (Recourse stage) ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม ของปริมาณผลผลิตของแต่ละโซนแปลงอ้อย และขึ้นกับการตัดสินใจในการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบในสเตทแรก โดยคำตอบในสเตทที่สอง หาคำตอบเรื่องปริมาณขนส่งอ้อย แต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา และระบุรถขนส่งที่จะต้องใช้ขนส่ง นอกจากนั้นแล้วคำตอบของสเตทที่สองในการนำไปใช้ในทางปฏิบัติจะขึ้นอยู่กับผลผลิตที่ได้ในฤดูเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้แผนการขนส่งที่ดีที่สุด จุดประสงค์ของระบบเพื่อให้เกิดค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด แบบจำลองคณิตศาสตร์ของปัญหานี้ แสดงดังด้านล่าง

$$f = \min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} d_{ij} y_{ijk} + \sum_{l=1}^{L} \xi_l \left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} s_{jt} u_{ijtl} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} o_i q_{ijtl} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{T} c_{it} h_{itl} \right) \qquad (3.1)$$

Constraints

(*First Stage*)

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} y_{ijk} \geq 1 \qquad \forall i \qquad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jk} = 1 \qquad \forall j \qquad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^{J} x_{jk} \geq VPD \qquad \forall k \qquad (3.4)$$

$$y_{ijk} \leq z_{ik} \qquad \forall i, j, k \qquad (3.5)$$

$$y_{ijk} \le x_{jk} \qquad \forall i, j, k \qquad (3.6)$$

$$z_{ik} + x_{jk} - y_{ijk} \le 1 \qquad \forall i, j, k \qquad (3.7)$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_{ik} = 1 \qquad \forall i \qquad (3.8)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\}, y_{ijk} \in \{0,1\}, z_{ik} \in \{0,1\} \qquad (3.9)$$

(*Second Stage*)

$$h_{itl} = h_{it-1,l} + Q_{itl} - \sum_{j=1}^{J} q_{ijtl} \qquad \forall i, t, l \qquad (3.10)$$

$$Q_{itl} \ge \sum_{j=1}^{J} q_{ijtl} \qquad \forall i, t, l \qquad (3.11)$$

$$q_{ijtl} \le BigM(u_{ijtl}) \qquad \forall i, j, t, l \qquad (3.12)$$

$$q_{ijtl} \le BigM(\sum_{k=1}^{K} y_{ijk}) \qquad \forall i, j, t, l \qquad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{J} q_{ijtl} \ge COF \qquad \forall t, l \qquad (3.14)$$

$$\sum_{i=1}^{n} q_{ijtl} \le COV(\sum_{k=1}^{K} x_{jk}) \qquad \forall j, t, l \qquad (3.15)$$

$$q_{ijtl} \ge 0 \qquad \forall i, j, t, l \qquad (3.16)$$

$$h_{itl} \ge 0 \qquad \forall i, t, l \qquad (3.17)$$

$$u_{ijtl} \in \{0,1\}, q_{ijtl} \in \{\text{int}\}, h_{itl} \in \{\text{int}\} \qquad (3.18)$$

ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด แบบจำลองคณิตศาสตร์ของปัญหาการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและขนาดการขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนนี้ได้สร้างด้วยวิธีสองสเตทสโตแคสติกส์โปรแกรมมิ่ง (Two – stage stochastic programming model) ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ คือ ผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บ, ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และ ค่าใช้จ่ายในการผลิต แสดงในสมการที่ (3.1) สมการประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนแรก ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ซึ่งคือ ผลคูณระหว่าง ตัวแปรตัดสินใจ y_{ijk} และระยะทาง d_{ij} (ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากระยะทางระหว่างสถานีจอดรถของรถคันที่ j ไปยังโซนแปลงอ้อย (cane field zone) i บวกด้วยระยะทางระหว่าง โซนแปลงอ้อย (cane field zone) i ไปโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล) ค่าใช้จ่ายส่วนที่สอง ค่าใช้จ่ายปริมาณขนส่งที่เหมาะสม (Lot size) ซึ่งเป็นผลคูณของ ความน่าจะเป็นในการเกิดผลผลิตในฤดูกาลเก็บเกี่ยว ξ_l และต้องใช้แผนในการขนส่ง (Scenario) l ส่วนที่สองนี้เป็นค่าใช้จ่ายรวมของการตัดสินใจที่เกิดขึ้นที่สเตทที่สอง โดยที่การตัดสินใจในสเตทที่สอง ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บ และ ค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง คือ ผลคูณระหว่างค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่อครั้ง s_{ij} ของโซนแปลงอ้อย i รถขนส่ง j และการตัดสินใจจะมีการขนส่งหรือไม่ขนส่ง โดยเป็นตัวแปรตัดสินใจแบบอินทิเจอร์ u_{ijtl} ถ้ามีปริมาณขนส่ง (ตัน) จะมีค่าเป็น 1 แต่ถ้าไม่มีการขนส่งจะมีค่าเป็น 0 สำหรับค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อตัน และการตัดสินใจในเรื่องขนาดขนส่ง ของแต่ละโซนแปลงอ้อย i รถขนส่ง j ที่ช่วงเวลา t เมื่อผลผลิตเป็น l ที่ซึ่งปริมาณขนส่งคือ

q_{ijtl} ระบบต้องมีการตัดสินใจเรื่อง ปริมาณอ้อยที่ต้องเก็บรักษาที่โซนแปลงอ้อย เมื่อช่วงเวลาเก็บเกี่ยว แล้วตัดสินใจไม่ขนส่ง แต่เก็บไว้ขนส่งในช่วงเวลาอื่น เราจะมีค่าใช้จ่ายในการเก็บ ซึ่งคือ ผลคูณ ระหว่างค่าใช้จ่ายในการเก็บต่อหน่วย c_{it} และตัวแปรตัดสินใจปริมาณที่เก็บ h_{itl} หน่วยเป็น ตัน

สมการข้อจำกัดของสเตทแรก สมการข้อจำกัดที่ (3.2) เพื่อการันตีว่าแต่ละโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ระบบได้จัดสรรไปยังพื้นที่รับผิดชอบ (District) k อย่างน้อยหนึ่ง และผลผลิตจะถูกขนส่งโดยรถขนส่ง j ได้อย่างน้อยหนึ่งรถขนส่ง สมการข้อจำกัดที่ (3.3) กำหนดให้แต่ละรถขนส่ง j ถูกจัดสรรไปยังพื้นที่รับผิดชอบ k ได้เพียงพื้นที่รับผิดชอบเดียว สมการข้อจำกัดที่ (3.4) กำหนดเฉพาะไปที่จำนวนรถขนส่งที่น้อยที่สุดที่จะต้องจัดสรรไปยังแต่ละพื้นที่รับผิดชอบ สมการข้อจำกัดที่ (3.5), สมการข้อจำกัดที่ (3.6) และสมการข้อจำกัดที่ (3.7) เพื่อให้แน่ใจว่าถ้าเราจัดสรรโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ไปยังพื้นที่รับผิดชอบ (District) k แล้วรถขนส่ง j ถูกจัดสรรให้ไปยังพื้นที่รับผิดชอบ (District) k เช่นกัน เราสามารถจัดสรรรถขนส่ง j เพื่อขนส่งผลผลิตอ้อยจากโซนแปลงอ้อย i ไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลได้ สมการข้อจำกัดที่ (3.8) เพื่อให้แน่ใจได้ว่าเราจัดสรรโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ไปยังพื้นที่รับผิดชอบ (District) k เพียงพื้นที่รับผิดชอบเดียว สมการข้อจำกัดที่ (3.9) กำหนดตัวแปรตัดสินใจ x_{jk}, y_{ijk} และ z_{ik} เป็นตัวแปรประเภทอินทิเจอร์ มีค่าได้เพียง 0 หรือ 1

สมการข้อจำกัดของสเตทที่สอง เริ่มที่สมการข้อจำกัดที่ (3.10) กำหนดจำนวนปริมาณตันของอ้อยที่เก็บรักษาที่ปลายช่วงเวลา t ขึ้นอยู่กับผลผลิตที่ได้จริง (Scenario) l สำหรับโอกาสที่จะเกิดผลผลิตที่แตกต่างกัน สมการข้อจำกัดที่ (3.11) เพื่อให้แน่ใจว่าผลรวมของปริมาณขนส่ง (Lot size) ของแต่ละโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ที่ขนส่งโดยใช้รถขนส่งตั้งแต่หนึ่งคันขึ้นไป ในช่วงเวลา (Time period) เดียวกัน เมื่อรวมปริมาณขนส่งของทุกรถขนส่ง ไม่เกินปริมาณผลผลิตจริงของโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i หลังจากที่ทราบผลผลิตจริงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น สมการข้อจำกัดที่ (3.12) คำตอบกำหนดให้มีการขนส่งอ้อยจากโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ในช่วงเวลา (Time period) t แล้ว ปริมาณขนส่งมากกว่า 0 ตัน จะต้องมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการตัดอ้อยและขนอ้อยขึ้นรถขนส่ง คล้ายๆ กันนี้ สมการข้อจำกัดที่ (3.13) เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณขนส่งอ้อยจากโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ในช่วงเวลา (Time period) t ถ้ามีปริมาณขนส่งมากกว่า 0 ตันแล้ว ต้องมีการจัดสรรรถขนส่ง j ไปเพื่อขนส่งอ้อยของโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i โดยที่ โซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i และ รถขนส่ง j ต้องถูกจัดสรรให้อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบ (District) k เดียวกัน ซึ่งเกิดจากการตัดสินใจในสเตทแรก สมการข้อจำกัดที่ (3.14) กำหนดเพื่อให้ปริมาณขนส่งรวมทุกโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i และ ทุกรถขนส่ง j ที่ช่วงเวลา t เดียวกัน มากกว่าความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล สมการข้อจำกัดที่ (3.15) กำหนดขึ้นเพื่อจัดสรรรถขนส่งสำหรับขนอ้อยเฉพาะให้กับโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i ที่มีปริมาณขนส่งมากกว่า 0 ที่ช่วงเวลา t ใดๆ สมการข้อจำกัดที่ (3.16) และ (3.17) กำหนดเพื่อให้คำตอบของการตัดสินใจปริมาณขนส่ง (Lot size) และปริมาณเก็บรักษา (Holding units) ของแต่ละโซนแปลงอ้อย (Cane field zone) i มีค่าเป็นจำนวนเต็มบวก

(Non-negative integer) สมการข้อจำกัดที่ (3.18) กำหนดเพื่อให้คำตอบของตัวแปรตัดสินใจ u_{ijtl} เป็นจำนวนเต็ม (Integer) ที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น และตัวแปรตัดสินใจ q_{ijtl} และ h_{itl} เป็นจำนวนเต็ม (Integer)

3.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 การเก็บข้อมูลระยะทางจากสถานีจอดรถไปยังโซนแปลงอ้อย

จากงบประมาณสนับสนุนการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้วิจัยได้ดำเนินงานติดต่อโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลกรณีศึกษา เพื่อเก็บข้อมูลขนาดปัญหาจริงที่เกิดขึ้น ข้อมูลนำเข้าที่มีความสำคัญอย่างมากคือ ข้อมูล GPS แสดงพื้นที่เพาะปลูกอ้อยรอบๆ โรงงานอุตสาหกรรม ตำแหน่งที่ตั้งของแปลงปลูกอ้อยตามระบบ GPS และปริมาณผลผลิตอ้อยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนั้นแล้วตำแหน่งที่ตั้งของสถานีจอดรถทุกแห่งตามระบบ GPS ก็มีความสำคัญเช่นกัน รวมทั้งการคำนวณหาระยะทางจากสถานีจอดรถไปยังโซนแปลงอ้อย และระยะทางจากโซนแปลงอ้อยไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ข้อมูลที่เก็บได้ของระยะทางจากสถานีจอดรถ 9 สถานีไปยังโซนแปลงอ้อย 70 โซน ระยะทางมีหน่วยเป็นกิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลที่เก็บได้ของระยะทางจากสถานีจอดรถ 9 สถานีไปยังโซนแปลงอ้อย 70 โซน ระยะทางมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

Field	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4	ST 5	ST 6	ST 7	ST 8	ST 9
1	48.59	34.27	34.64	42.15	36.00	28.66	9.65	19.05	27.72
2	44.55	34.77	30.18	32.03	23.59	19.99	6.56	23.60	38.03
3	18.84	28.64	18.17	6.56	16.76	19.51	39.70	36.65	50.77
4	13.98	22.49	12.29	7.40	17.31	16.36	36.47	31.32	44.88
5	29.27	25.54	16.41	14.25	7.88	4.52	19.49	23.33	39.85
6	36.85	19.92	25.90	39.15	37.72	27.23	21.18	6.97	10.68
7	54.95	39.35	41.59	50.41	44.66	36.88	18.38	23.81	27.09
8	24.40	20.62	11.20	12.68	10.74	1.06	21.25	20.68	36.80
9	49.12	35.53	34.92	41.30	34.52	27.94	7.98	20.74	30.58
10	52.50	36.15	39.92	50.34	45.75	36.96	20.71	21.00	21.44
11	30.25	14.41	18.19	31.15	30.16	19.50	18.55	1.27	17.21
12	56.16	40.71	42.68	51.11	45.09	37.60	18.64	25.16	28.71
13	16.71	25.72	15.27	5.82	16.31	17.47	37.72	33.90	47.88
14	37.96	20.75	28.93	43.28	42.91	32.22	27.41	12.08	4.53
15	53.89	37.91	40.87	50.46	45.24	36.97	19.44	22.48	24.47
16	53.16	37.02	40.32	50.28	45.33	36.83	19.85	21.69	23.09
17	62.37	49.88	47.94	51.28	42.58	38.94	19.55	35.38	44.16
18	30.53	13.39	20.82	35.27	35.55	24.79	24.27	6.30	12.05
19	51.58	37.89	37.38	43.57	36.56	30.27	10.14	22.96	31.95
20	24.39	20.56	11.17	12.73	10.80	1.05	21.22	20.62	36.74
21	24.67	20.45	11.29	13.26	11.12	0.73	20.71	20.17	36.34
22	31.13	14.19	20.65	34.67	34.45	23.71	22.38	4.48	12.90
23	34.80	19.53	21.83	33.11	30.43	20.33	14.11	4.32	18.60
24	21.77	24.48	13.26	4.07	8.52	9.46	29.44	28.51	43.96
25	56.05	40.94	42.37	50.27	43.94	36.78	17.40	25.39	30.01
26	31.13	14.20	20.64	34.66	34.43	23.69	22.36	4.46	12.92
27	41.86	32.15	27.48	29.78	21.78	17.44	5.91	21.47	36.42
28	47.49	33.08	33.59	41.39	35.47	27.88	9.38	17.85	26.70
29	36.55	28.59	22.40	23.67	16.02	11.56	10.56	20.72	36.87
30	29.25	25.57	16.41	14.19	7.81	4.53	19.56	23.39	39.91
31	24.87	20.73	11.53	13.20	10.88	0.52	20.68	20.37	36.56

Field	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4	ST 5	ST 6	ST 7	ST 8	ST 9
32	53.92	37.53	41.36	51.75	47.06	38.35	21.82	22.42	22.28
33	31.92	36.99	25.76	10.91	9.58	19.39	36.05	39.71	55.77
34	41.88	24.70	31.62	45.08	43.51	33.10	24.93	12.89	7.51
35	25.28	10.58	12.96	26.44	26.60	15.83	20.47	6.49	21.04
36	21.30	24.41	13.17	3.60	9.04	9.95	29.99	28.78	44.14
37	32.12	16.48	19.67	31.99	30.31	19.82	16.80	1.28	17.44
38	41.57	31.00	27.12	30.68	23.24	17.86	3.65	19.56	34.19
39	47.30	33.40	33.22	40.30	34.01	26.84	7.62	18.47	28.36
40	37.14	19.91	27.60	41.75	41.19	30.52	25.69	10.30	6.35
41	56.16	40.94	42.54	50.60	44.36	37.10	17.84	25.38	29.65
42	20.68	3.56	12.81	28.31	31.15	20.88	28.38	12.19	20.50
43	48.10	34.51	33.92	40.44	33.81	27.05	7.26	19.76	29.89
44	37.00	21.32	24.24	35.58	32.69	22.72	14.48	5.77	17.36
45	30.98	13.99	20.65	34.76	34.64	23.89	22.75	4.83	12.73
46	29.52	26.97	17.32	13.02	5.75	5.95	21.26	25.42	41.91
47	52.72	36.70	39.76	49.52	44.47	36.05	18.90	21.30	23.42
48	17.51	3.86	8.21	23.74	27.10	17.23	27.88	14.03	24.83
49	12.20	8.90	15.36	28.91	35.38	27.13	39.61	24.37	29.63
50	37.12	19.91	27.39	41.42	40.74	30.09	25.08	9.83	6.90
51	19.80	6.86	8.08	22.91	25.08	14.78	24.67	11.87	24.62
52	14.60	2.97	11.21	26.31	31.29	22.14	33.50	18.50	25.99
53	42.75	30.42	28.37	34.05	27.45	20.73	1.36	17.14	30.40
54	44.05	27.18	36.38	51.10	50.98	40.28	34.33	20.13	3.78
55	48.62	36.39	34.20	38.72	31.11	25.77	5.80	22.64	34.39
56	49.93	38.32	35.48	38.95	30.80	26.37	7.38	24.98	37.06
57	34.65	17.43	25.65	40.17	40.22	29.48	26.57	9.82	7.18
58	35.05	28.04	21.11	21.52	13.84	9.79	12.71	21.41	37.79
59	38.65	29.72	24.34	26.38	18.68	14.02	8.03	20.42	36.13
60	27.06	15.62	12.89	22.86	21.06	10.46	16.01	9.89	26.29
61	55.28	39.98	41.72	50.00	43.92	36.49	17.46	24.43	28.64
62	53.07	36.63	40.58	51.12	46.58	37.76	21.57	21.57	21.38
63	25.02	29.38	18.14	3.80	7.35	13.34	32.32	33.17	48.83
64	23.96	8.41	12.71	27.08	28.08	17.38	22.82	7.56	20.24
65	48.55	34.25	34.60	42.09	35.93	28.60	9.58	19.05	27.76
66	38.32	22.25	25.88	37.53	34.72	24.73	15.78	6.83	15.88
67	45.96	33.07	31.64	37.51	30.72	24.21	4.16	18.98	30.71
68	26.77	10.42	15.82	30.00	30.42	19.65	22.20	5.16	17.34
69	20.46	17.62	7.41	11.73	13.17	4.93	24.12	20.48	35.88
70	31.69	14.82	20.97	34.81	34.35	23.64	21.75	4.00	12.97

ข้อมูลแสดงผลผลิตที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา เป็นข้อมูลที่ความสำคัญอย่างมากในการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจริง งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลจริงของปริมาณผลผลิต (ตัน) แสดงดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละโซนแปลงอ้อย ในช่วงเวลาต่างๆ ที่เก็บข้อมูลได้จากโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา หน่วยตัน

Field	Period 1	Period 2	Period 3	Period 1	Period 2	Period 3
Field 1	64.6	63.6	61.7	66.5	66.2	64.4
Field 2	23.3	22.9	21.9	23.7	23	21.3
Field 3	49.3	49.3	49.1	50.7	49.3	49
Field 4	66.9	65.6	65	68.4	66.5	65.7
Field 5	30.2	28.2	27.4	31.3	30	28.8
Field 6	50.2	50.1	49.2	50.1	48.2	46.8
Field 7	58.3	57.1	56.4	56.8	56.5	55.4
Field 8	54.5	53.3	53.3	53.6	52.3	51.1

Field	Period 1	Period 2	Period 3	Period 1	Period 2	Period 3
Field 9	63.9	63.6	61.7	65.5	64.8	63.3
Field 10	63.8	62.6	62	65	63.3	61.9
Field 11	53.1	51.4	49.7	51.3	49.3	47.9
Field 12	43.5	43.5	42.7	44	43.8	41.9
Field 13	33.1	32.9	31	31.8	31	29.9
Field 14	53.6	53.3	52.9	52.3	52.1	50.1
Field 15	59.7	58.2	58.2	60.7	59.1	58.5
Field 16	44.3	43.2	42.9	43.8	41.9	40
Field 17	49.9	49.6	48.5	49.6	48.1	47.5
Field 18	49.6	48.7	48.5	51.1	50.6	48.8
Field 19	64	63	62.2	62.2	60.8	59.8
Field 20	70.6	69.2	67.7	68.8	67.9	66.5
Field 21	54.7	53.8	52.8	55.6	53.7	52.9
Field 22	65.3	64.8	63.8	64.7	63	62.2
Field 23	40.5	38.6	38.6	40.4	40.3	39.8
Field 24	67.1	66.1	64.7	69.1	67.6	66.1
Field 25	12.8	14.5	13.8	14.6	15.3	14.3
Field 26	35.7	36.6	35	34.9	35.3	34.3
Field 27	23.5	23.5	22.6	22.3	22.3	22.3
Field 28	67.7	68.4	68.1	65.3	66.5	64.8
Field 29	53.4	54.8	54.4	54.9	54.9	53.9
Field 30	15.1	15.6	14.8	14.3	15.3	14.5
Field 31	40.8	42.6	42.3	39.4	40.9	40.1
Field 32	48.9	48.9	47.4	50.2	50.4	49.9
Field 33	21.6	23.5	23.3	19.9	21.5	21
Field 34	50.7	52.3	50.4	51	52.5	51.3
Field 35	66.1	68.1	67.2	69.3	69.7	68.7
Field 36	47.4	49	47.9	45.8	47.2	46.1
Field 37	61.7	61.8	61.3	61.8	62.3	61
Field 38	42	43.6	41.7	40.8	42.8	41.7
Field 39	66.1	67.4	65.6	66.7	67.3	66
Field 40	49	49	48.2	47.5	47.9	47.8
Field 41	31.8	32.4	32.1	32.7	33.6	32.8
Field 42	37.2	38.2	37	35.9	37.2	36.2
Field 43	31.3	32.2	30.2	30.6	31.6	31
Field 44	53.5	53.8	52.3	53.6	53.9	53.2
Field 45	47.8	48.8	46.9	47.8	49.6	48.3
Field 46	47.4	48.1	46.4	48.2	49.6	47.8
Field 47	58.7	59.1	58.9	58.3	59.3	58
Field 48	57.1	57.4	56	56.4	57.4	55.9
Field 49	36.3	37.1	37.1	32.9	34.6	36.6
Field 50	12	13.8	15.5	14.4	15.3	16.3
Field 51	40.8	42	42	40.8	41.5	42.6
Field 52	49.4	49.4	51.3	49.4	50.7	51.3
Field 53	53.8	55.6	56.9	53.1	53.6	55.3
Field 54	50.5	51.9	53.4	52.9	53.7	53.7
Field 55	52	52.2	53.3	53.1	54	55
Field 56	55	55.1	55.2	51.6	53.2	55.2

Field	Period 1	Period 2	Period 3	Period 1	Period 2	Period 3
Field 57	34	34.6	36.6	32.2	34	35.3
Field 58	36.6	36.6	37.1	32.5	33.7	35.6
Field 59	58	58.9	60.8	59	59.7	60.9
Field 60	29	31	31.2	28.6	29.3	30.3
Field 61	65	65.7	67.6	67	67.9	69.4
Field 62	12.1	12.7	14.5	15.3	16.1	16.5
Field 63	48.6	50.2	50.2	45.2	46.8	48.4
Field 64	62.4	64.1	64.9	64.1	64.5	66.3
Field 65	18.4	18.8	19.8	18.6	20.6	21
Field 66	40.1	40.9	41.6	40.5	41.2	41.8
Field 67	29.8	30.3	30.8	29.9	30.9	32.4
Field 68	44	45.3	47	46	46.4	47.3
Field 69	52.4	54.2	54.2	50.2	50.9	52.6
Field 70	54.3	55.6	56.6	56	56.4	58.2
Total	3275.8	3298.2	3273.3	3272.5	3288.6	3262.5

การทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ อภิปรายในส่วนของ บทที่ 4 แสดงวิธีการทดสอบและผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดพร้อมทั้งอภิปรายผลเฉลย โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้การตัดสินใจที่ให้ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

3.4.2 การเก็บข้อมูลการแจกแจงของแผนการขนส่ง (Scenario distribution)

การเก็บข้อมูลการแจกแจงของแผนการขนส่ง มีสมมติฐานว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบช่วง เนื่องจากปัญหาเป็นการจำลองเบื้องต้น ดังนั้นสมมติฐานนี้สามารถใช้ได้ในกรณีความแตกต่างของผลผลิตกับแผนการปลูกอ้อยเกิดขึ้นเป็นช่วงและเป็นอัตราส่วนความแตกต่างของผลผลิตกับแผนการปลูกอ้อย การเก็บข้อมูลแบ่งได้ดังนี้

(1) เก็บข้อมูลปริมาณแปลงปลูกอ้อยของแต่ละโซนแปลงอ้อย
(2) ใช้วิธีการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตของแต่ละโซนแปลงอ้อยที่ 100 เปอร์เซ็น ผลผลิตโดยใช้สมการถดถอย จากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ข้อมูลนี้แสดงดังในตารางที่ 3.2
(3) เก็บข้อมูลในอดีต 3- 5 ปีของปริมาณแปลงปลูกอ้อย และปริมาณผลผลิตที่ได้
(4) เปรียบเทียบอัตราส่วน เปอร์เซ็นผลผลิต (ข้อ 3) กับปริมาณผลผลิตที่ 100 เปอร์เซ็น (ข้อ 2)
(5) คำนวณสัดส่วนของผลผลิตที่ได้จริงเปรียบเทียบกับ 100 เปอร์เซ็น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยให้น้ำหนักสัมพันธ์กับปริมาณแปลงปลูกอ้อยที่มีปริมาณเพาะปลูกมาก ผลการคำนวณ คือ Q_{itl} ปริมาณผลผลิตจริงที่ไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งเป็นแผนการขนส่งต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ (Scenarios)
(6) หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนที่ตกบนพื้นที่เพาะปลูกกับปริมาณผลผลิตที่ได้จากผลการคำนวณข้อ 5

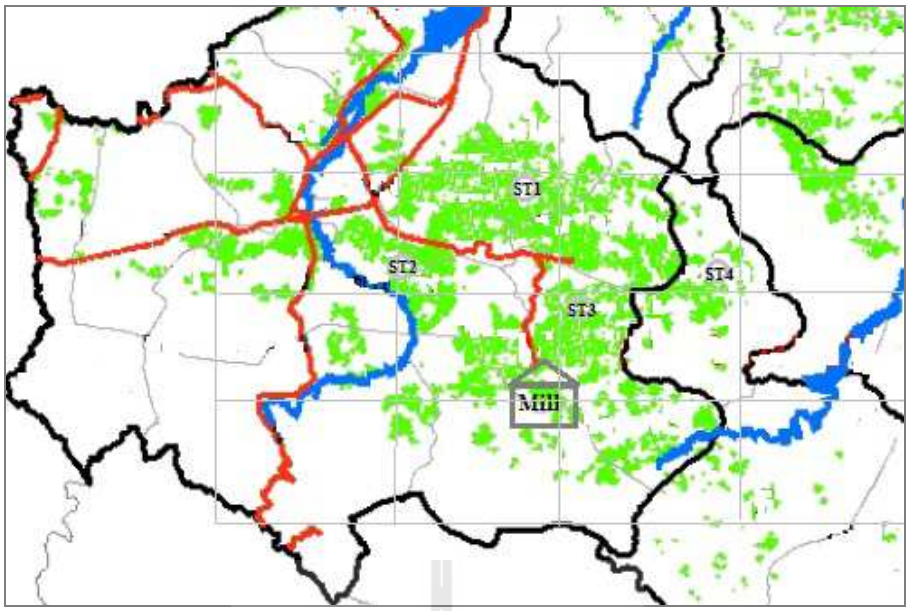
(7) เก็บข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนที่จะตกบนพื้นที่เพาะปลูกในปีหน้า จากกรมอุตนิยมวิทยา เพื่อคำนวณโอกาสเกิดของแผนการขนส่ง ในข้อ 5 ผลที่ได้รับ คือ ξ_l ความน่าจะเป็นที่จะต้องเลือกใช้แผนการขนส่ง (Scenario) l

บทที่ 4
ผลดำเนินงานวิจัย

จากการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ และกำหนดปริมาณขนส่งอ้อยจากโซนแปลงอ้อยไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ในบทนี้จะทำการทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถให้คำตอบของปัญหาที่ถูกต้องหรือไม่ วิธีการทดสอบสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ เราได้สร้างข้อมูลนำเข้าโดยการสุ่มข้อมูลนำเข้า เพื่อใช้ในการทดสอบระบบที่สร้างขึ้น การทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ เราใช้ข้อมูลนำเข้าขนาดเล็กโดยที่ไม่ใช่ข้อมูลจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลที่เก็บข้อมูลได้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4 เนื่องจากว่าข้อมูลดังกล่าวมีขนาดใหญ่ ต้องใช้เวลาในการรันเพื่อหาคำตอบนาน และบางตัวอย่างไม่สามารถหาคำตอบได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านคอมพิวเตอร์และเวลา และทางผู้วิจัยเห็นว่า ถ้าแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถใช้ได้ผลกับขนาดปัญหาเล็กแล้วนั้น การนำไปใช้สำหรับขนาดปัญหาใหญ่ก็จะไม่ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยฉบับนี้เรากำหนดขอบเขตเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาสำหรับตัวอย่างปัญหาขนาดเล็ก ดังนั้นผลการทดสอบปัญหาขนาดเล็กจึงเพียงพอที่จะสรุปผลประสิทธิภาพของแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ สำหรับข้อมูลที่ได้จากหัวข้อ 3.4 ไส่สำหรับทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ซึ่งเป็นขนาดปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ทางผู้วิจัยจะนำไปใช้ทดสอบเมื่อเราทำการขยายผลจากงานวิจัยฉบับนี้ต่อไป

4.1 การสร้างข้อมูลเบื้องต้นเพื่อทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาตร์

ในส่วนนี้ เราแสดงผลของการทดสอบแบบจำลองจากคณิตศาสตร์ โดยทำการทดสอบด้วยขนาดปัญหาขนาดเล็ก ข้อมูลนำเข้าซึ่งสร้างขึ้นแบบสุ่ม ข้อมูลแปลงอ้อยทั้งหมดเราทำการแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ เรียกว่า โซนแปลงอ้อย (Cane field zone) โดยมีจำนวนโซนแปลงอ้อยทั้งหมด 8 โซน เราพิจารณาจำนวนรถขนส่ง 4 คัน ที่ต้องเป็นรถประเภทเดียวกันและขนาดเท่ากัน มีประสิทธิภาพและข้อจำกัดอื่นๆ เหมือนกัน โดยเราจะทำการกำหนดตำแหน่งสถานีจอดรถของรถทั้ง 4 คัน พื้นที่แสดงแปลงอ้อยทั้งหมดรอบๆ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลแสดงดังรูปที่ 4.1 กำหนดให้มีความน่าจะเป็นแบบช่วงสำหรับผลผลิตจริงของแต่ละโซนแปลงอ้อยแต่ละช่วงเวลา โดยทำให้มีโอกาสเกิดปริมาณผลผลิตจริง (Scenario) 3 ชุดข้อมูล และกำหนดทำการันโปรแกรม 3 ช่วงเวลา ผู้วิจัยได้ทำการสร้างข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการขนส่งแต่ละช่วงเวลา ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีจอดรถขนส่งกับโซนแปลงอ้อย และระยะทางระหว่างโซนแปลงอ้อยกับโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล และค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อตัน ของแต่ละโซนแปลงอ้อย และแต่ละรถขนส่ง แสดงดังในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงภาพพื้นที่แปลงอ้อยรอบๆ โรงงานอุตสาหกรรม และจุดสถานีจอดรถขนส่งของปัญหากรณีศึกษาขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการผลิต ต่อตัน

โซนแปลงอ้อย (i)	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของรถขนส่ง (ต่อตัน)				ค่าใช้จ่ายในการผลิต (ต่อตัน)
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	
1	18	2	35	16	3
2	17	2	33	14	4
3	16	2	34	15	2
4	15	5	32	13	4
5	14	2	31	11	5
6	13	4	29	10	3
7	15	2	32	14	3
8	14	2	31	12	2

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของผลผลิตรวมจริง (ตัน) ภายใต้แผนการขนส่ง (SCENARIO) สำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา

โซนแปลงอ้อย (i)	ช่วงเวลา (t)								
	$t = 1$			$t = 2$			$t = 3$		
	Scenario $l = 1$	*Scenario* $l = 2$	*Scenario* $l = 3$	*Scenario* $l = 1$	*Scenario* $l = 2$	*Scenario* $l = 3$	*Scenario* $l = 1$	*Scenario* $l = 2$	*Scenario* $l = 3$
1	630	700	770	495	550	605	450	500	550
2	576	640	704	405	450	495	450	500	550
3	675	750	825	360	400	440	423	470	517
4	495	550	605	342	380	418	450	500	550
5	693	770	847	423	470	517	468	520	572
6	585	650	715	360	400	440	432	480	528
7	666	740	814	342	380	418	405	450	495
8	585	650	715	351	390	429	495	550	605

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างปริมาณผลผลิตจริงแบบสุ่มสำหรับแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา แสดงดังตารางที่ 4.2 แสดงผลผลิตจริงในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวหลังจากมีการตัดสินใจในสเตทแรกในปัญหาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ข้อมูลในตารางแสดง จำนวนตันของผลผลิตของแต่ละโซนแปลงอ้อย ตามแต่ละชุดข้อมูลที่มีโอกาสเกิด (Scenario) และแต่ละช่วงเวลา (Time period) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาอ้อยแสดงดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งในแต่ละช่วงเวลา

รถขนส่ง (j)	ช่วงเวลา		
	t=1	*t=2*	*t=3*
1	4000	10000	13000
2	15000	20000	24000
3	4000	11000	12000
4	6000	11000	14000

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาอ้อย ต่อตันต่อช่วงเวลา

โซนแปลงอ้อย (i)	ช่วงเวลา		
	t=1	*t=2*	*t=3*
1	2	3	4
2	2	3	4
3	1	4	5
4	1	4	5
5	2	4	5
6	2	3	4
7	1	4	5
8	2	3	4

กำหนดให้ปริมาณอ้อยที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล คือ 3,000 ตันต่อช่วงเวลา ปริมาณขนส่งได้สูงสุดของรถขนส่งคือ 1,500 ตันต่อรอบ ผู้วิจัยได้กำหนดความน่าจะเป็นของการเกิดปริมาณผลผลิตจริงในฤดูเก็บเกี่ยวเป็น 3 ชุดข้อมูล โดยแต่ละชุดข้อมูลมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นเป็นดังตารางที่ 4.5 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบปัญหาขนาดเล็ก 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ปัญหา A และ B

ตารางที่ 4.5 แสดง ความน่าจะเป็นของการเกิดผลผลิตจริง (SCENARIO) ในฤดูเก็บเกี่ยวของ 2 ตัวอย่างปัญหา

ตัวอย่าง	จำนวน Scenario	ความน่าจะเป็นของการเกิด Scenarios		
		l=1	*l=2*	*l=3*
A	3	0.333	0.333	0.333
B	2	0.65	0.35	-

เราได้ทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งที่เหมาะสม โดยนโยบายที่ดีที่สุดได้ผลมาจากการทดสอบกับปัญหาขนาดเล็กที่ถูกสร้างขึ้นด้านบน ผลเฉลยค่าที่ดีที่สุด แสดงดังในส่วนหัวข้อ 4.2

4.2 ผลการวิจัยและการอธิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบสำหรับปัญหาที่ผลผลิตจริงมีความไม่แน่นอน เป็นข้อมูลแบบสุ่ม ในรูปแบบการแจกแจงแบบเป็นช่วง เราได้กำหนดเซตของ ข้อมูลโอกาสเกิดผลผลิตจริง จำกัด จำนวนข้อมูลผลผลิตที่เป็นไปได้เป็น L โอกาสเกิดของผลผลิตจริงเป็นความน่าจะเป็นในการเกิด ξ_l แสดงดังในตารางที่ 4.6 แบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งสร้างด้วยวิธีสองสเตทสโตแคสติกส์โปรแกรมมิ่ง เราใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.5 รันเพื่อหาค่าตัวแปรตัดสินใจ และค่าจุดประสงค์ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยทดสอบด้วยตัวอย่างปัญหาขนาดเล็กที่อภิปรายไปแล้วในหัวข้อ 4.1 เราพิจารณาจำนวนช่วงเวลาของแผนทั้งหมด 3 ช่วงเวลา เรากำหนดให้มีจำนวนพื้นที่รับผิดชอบ (District) 2 พื้นที่รับผิดชอบ จำนวนรถขนส่งที่ต่ำที่สุดที่จะต้องประจำแต่ละพื้นที่รับผิดชอบกำหนดให้เป็นอย่างน้อย 1 คัน ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้ผลเฉลยที่ให้ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด สำหรับปัญหา A เวลาที่ใช้ในการรันคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบใช้เวลา 3 ชั่วโมง 2 นาที ขณะที่ปัญหา B เวลาที่ใช้ในการรันคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบใช้เวลา 2 ชั่วโมง 54 นาที ผลเฉลยของปัญหาทั้ง 2 ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งภายใต้สภาวการณ์ที่ไม่แน่นอน กับวิธีไม่กำหนดพื้นที่รับผิดชอบภายใต้ความแน่นอนที่ผลผลิตจริงจะเป็นไปตามข้อมูลชุดแรก

ตัวอย่างปัญหา	จำนวน scenarios	ความน่าจะเป็นของแต่ละ scenario	วิธีกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอน ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	วิธีไม่กำหนดพื้นที่รับผิดชอบ ภายใต้ผลผลิตจริงตาม Scenario แรก ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ผลต่างของค่าใช้จ่าย (บาท)
A	3	(0.33, 0.33, 0.33)	232,869.33	242,530.00	9,660.67
B	2	(0.65, 0.35)	118,411.38	226,255,00	107,843.62

จากผลเฉลยที่แสดงในตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบ วิธีการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งภายใต้สภาวการณ์ที่ไม่แน่นอน กับวิธีไม่กำหนดพื้นที่รับผิดชอบภายใต้ความแน่นอนที่ผลผลิตจริงจะเป็นไปตาม Scenario แรกโดยทำการเปรียบเทียบค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวม ผลชี้ให้เห็นว่ากลยุทธ์การแบ่งพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งที่เหมาะสม ให้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำกว่าวิธีไม่พิจารณาแบ่งพื้นที่รับผิดชอบภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอน เนื่องจากว่าวิธีไม่พิจารณาแบ่งพื้นที่รับผิดชอบและไม่พิจารณาความไม่แน่นอนของผลผลิตจริงที่อาจมีความแปรผันจากที่วางแผนที่ต้นฤดูกาล แต่แบบจำลองไม่ได้คำนึงถึงความแปรผันนี้ ทำให้แบบจำลองให้ผลเฉลยที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นแล้ววิธีกลยุทธ์การแบ่งพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งที่เหมาะสม ยังให้ผลเฉลยที่มีความสมดุลการใช้ทรัพยากรรถขนส่งมากกว่า เนื่องจากว่าถ้าไม่มีการกำหนดให้แบ่งพื้นที่รับผิดชอบ แบบจำลองคณิตศาสตร์จะให้ผลเฉลยที่จัดสรรรถขนส่งที่ใกล้ที่สุดให้กับโซนแปลงอ้อย และจะไม่พิจารณาจัดสรรรถให้การขนส่งให้กับรถขนส่งที่มีสถานีจอดรถอยู่ไกล

ออกไป ทำให้ภาระงานจะไปตกหนักกับรถขนส่งที่อยู่ใกล้มากกว่า ผลคือทำให้ไม่สมดุลการใช้รถ จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้รถไม่ดี การนำกลยุทธ์การกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งภายใต้สภาวการณ์ที่ไม่แน่นอน ไปใช้ในทางปฏิบัติ ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ออกเป็น 2 พื้นที่รับผิดชอบ และได้ผลเฉลยที่ดีที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลเฉลยของการตัดสินใจจัดสรรโซนแปลงอ้อยและรถขนส่งให้กับแต่ละพื้นที่รับผิดชอบ

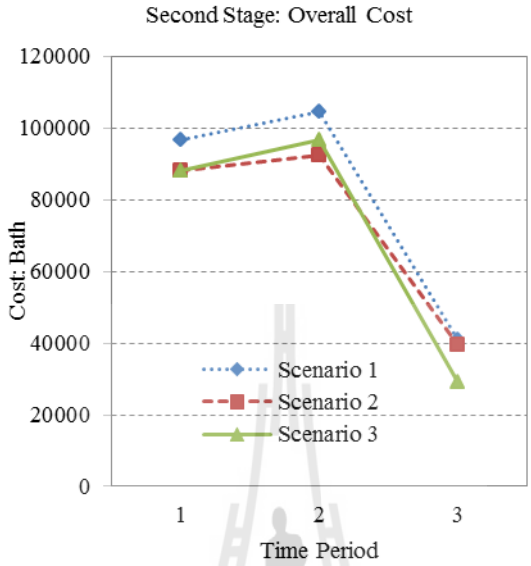
ตัวอย่างปัญหา	จำนวน scenarios	ความน่าจะเป็นของแต่ละ scenario	จำนวนโซนแปลงอ้อย	พื้นที่รับผิดชอบ	รถขนส่ง
A	3	(0.33, 0.33, 0.33)	1	2	3,4
			2	1	1,2
			3	1	1,2
			4	2	3,4
			5	2	3,4
			6	1	1,2
			7	2	3,4
			8	1	1,2
B	2	(0.65, 0.35)	1	1	2,3
			2	2	1,4
			3	2	1,4
			4	1	2,3
			5	1	2,3
			6	2	1,4
			7	2	1,4
			8	2	1,4

ตารางที่ 4.8 แสดงผลเฉลยที่ดีที่สุดเกี่ยวกับปริมาณการขนส่งแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา เมื่อกำหนด 3 ชุดข้อมูลผลผลิตจริง กับความน่าจะเป็นในการเกิดผลผลิตจริงของทั้ง 3 ชุดข้อมูล เป็นการแจกแจงแบบช่วงที่ DISCRETE(0.33, 0.33, 0.33)

ตัวอย่างปัญหา	ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	โซนแปลงอ้อย	Scenario *l* = 1			Scenario *l* = 2			Scenario *l* = 3		
			period t = 1	*period t = 2*	*period t = 3*	*period t = 1*	*period t = 2*	*Period t = 3*	*period t = 1*	*period t = 2*	*period t = 3*
A	232,869.33	1	630	495	450	700	550	500	0	605	550
		2	0	405	0	0	450	0	0	0	0
		3	675	360	423	750	400	470	825	440	517
		4	0	342	450	0	380	500	0	418	455
		5	693	423	345	770	470	500	686	517	0
		6	0	360	432	0	0	480	0	440	378
		7	666	342	405	740	380	0	814	418	495
		8	585	351	495	650	390	550	675	429	605

การตัดสินใจเกี่ยวกับปริมาณขนส่งแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลาหลังที่ผลผลิตจริงขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการเกิดปริมาณผลผลิตจริง ผลการทดสอบแบบจำลองในตารางที่ 4.8 แสดงผลเฉลยที่ดีที่สุดเกี่ยวกับปริมาณการขนส่งแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา นอกจากนั้นแล้วได้แสดงผลค่าคาดหวัง

ค่าใช้จ่ายรวมที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับจำนวนชุดข้อมูลผลผลิตจริงที่อาจเกิดขึ้น และความน่าจะเป็นที่จะได้ผลผลิตจริงที่คาดการณ์ไว้ เมื่อเราพิจารณาปัญหาตัวอย่างที่กำหนด 3 ชุดข้อมูลผลผลิตจริง ผลของนโยบายที่ดีที่สุดให้ผลแตกต่างจากเมื่อเรากำหนด 2 ชุดข้อมูลผลผลิตจริง ในการจัดสรรโซนแปลงอ้อยและรถขนส่งไปยังแต่ละพื้นที่รับผิดชอบ

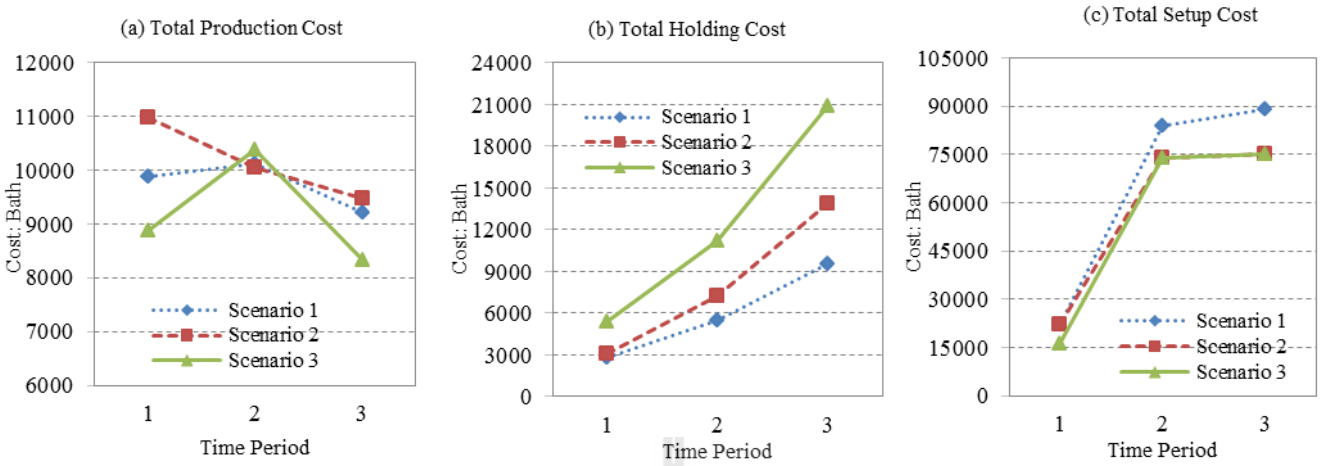


รูปที่ 4.2 แสดงผลเฉลยที่ดีที่สุดของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจในสเตทที่สองของแต่ละชุดข้อมูลผลผลิตจริงที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวซึ่งจะให้แผนการขนส่งที่แตกต่างกัน ของแต่ละช่วงเวลา

พฤติกรรมของค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจในสเตทที่สองของแต่ละชุดข้อมูลผลผลิตจริงที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวซึ่งจะให้แผนการขนส่งที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายรวมในช่วงเวลาที่ 2 ให้ผลของค่าใช้จ่ายรวมมากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ นอกจากนั้นแล้ว ผลเฉลยแสดงให้เห็นว่า ถ้าปริมาณผลผลิตจริงในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวเป็นไปตามชุดข้อมูลที่ 3 จะให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดทั้งในช่วงเวลาที่ 1 และช่วงเวลาที่ 2 ตามแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อย แต่ถ้าผลผลิตจริงในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวเป็นไปตามชุดข้อมูลที่ 2 แล้ว จะให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดในช่วงเวลาที่ 2 ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์นี้ เราจะเห็นได้ว่าประโยชน์ในด้านค่าใช้จ่ายที่ดีที่สุด เราควรดำเนินการใดๆ ก็ตามเพื่อสนับสนุนให้แปลงอ้อยของเกษตกร ให้ผลผลิตเป็นไปตามชุดข้อมูลที่ 3 มากที่สุด เพราะให้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ในด้านค่าใช้จ่ายรวมเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ช่วงเวลา

จากรูปที่ 4.3 แสดงการพิจารณาผลเฉลยโดยการแยกประเภทของค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่สเตทที่สองหลังจากผลผลิตจริงเกิดขึ้น ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ผลของรูปที่ 4.3 (b) ชี้ให้เห็นได้ว่าข้อมูลผลผลิตจริงชุดที่ 3 ทำให้เกิดค่าเก็บรักษาสูงกว่าข้อมูลชุดอื่นๆ กล่าวเป็นนัยได้ว่า ถ้าเราเก็บรักษาอ้อยที่ค่าความหวานเหมาะสม โดยที่ไม่ทำการขนส่งไปยังโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลทันทีในช่วงเวลานั้นๆ จะมีค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสูงมากเมื่อผลผลิตจริงในฤดูเก็บเกี่ยว

เป็นไปตามชุดข้อมูลชุดที่ 4 รูปที่ 4.3 (a) และ รูปที่ 4.3 (c) แสดงผลของค่าใช้จ่ายในการผลิตและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของข้อมูลผลผลิตจริงชุดที่ 3 ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าข้อมูลชุดอื่นๆ



รูปที่ 4.3 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ในการตัดสินใจสเตทที่สอง ประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายในการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ของแต่ละชุดข้อมูลผลผลิตจริงที่อาจเกิดขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ เราได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาที่พิจารณา 2 ปัญหาร่วมกันคือ ปัญหาการกำหนดแบ่งพื้นที่รับผิดชอบและปัญหาการกำหนดปริมาณขนส่งที่เหมาะสม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาโลจิสติกส์ของระบบการดำเนินงานในอุตหสากรรมน้ำตาล วิธีการที่เลือกใช้เป็นวิธีสองสเตทสโตแคสติกส์โปรแกรมมิ่ง ซึ่งพิจารณาความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นของผลผลิตอ้อยของแต่ละโซนแปลงอ้อย อาจมีความแปรผันในด้านปริมาณผลผลิตจากที่วางแผนเพาะปลูกเอาไว้ แบบจำลองได้พิจารณากำหนดกำลังการขนส่งของรถขนส่งและความต้องการอ้อยเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล การพิจารณาปริมาณขนส่งต้องให้เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ผู้วิจัยได้กำหนดข้อมูลนำเข้า คือ จำนวนรถขนส่งและสถานีจอดรถของแต่ละรถขนส่ง และจำนวนพื้นที่รับผิดชอบ ในสเตทแรกของการแก้ปัญหา เราจะทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดในการกำหนดแบ่งพื้นที่โซนแปลงอ้อย เข้าเป็นพื้นที่รับผิดชอบ ซึ่งจะทำการกำหนดในช่วงก่อนการเพาะปลูกอ้อย จากนั้นแผนการเพาะปลูกอ้อยของแต่ละแปลงอ้อยจะเป็นข้อมูลนำเข้า แบบจำลองคณิตศาสตร์พิจารณาความไม่แน่นอนของผลผลิตจริงที่เกิดขึ้น โดยกำหนดเซตจำกัด ของชุดข้อมูลผลผลิตจริงที่อาจเกิดขึ้น และพิจารณาความน่าจะเป็นในการเกิดผลผลิตจริงในแต่ละชุดข้อมูล การตัดสินใจในสเตทที่สอง เกิดจากผลของความไม่แน่นอนของปริมาณผลผลิตจริงของแต่ละโซนแปลงอ้อย แบบจำลองคณิศาสตร์ทำการหาคำตอบของปริมาณขนส่งที่เหมาะสมแต่ละโซนแปลงอ้อย แต่ละช่วงเวลา โดยพิจารณาระบุรถขนส่งที่จะทำหน้าที่ขนส่งอ้อยของแต่ละโซนแปลงอ้อยด้วย ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลกรณีศึกษา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบและใช้ในการทดสอบกับปัญหาขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะมีการขยายผลจากงานวิจัยฉบับนี้ในอนาคต

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ขอบเขตของเราเพียงทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ ไม่ครอบคลุมการแก้ไขปัญหาขนาดใหญ่ทีเกิดขึ้นจริงในอุตสหากรรม เราจึงทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยการสร้างข้อมูลปัญหาขนาดเล็กเพื่อใช้ในการทดสอบ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลเฉลยการตัดสินใจทั้งสองสเตทและค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวม ของผลเฉลยที่ดีที่สุด ที่ให้ค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ผลเฉลยเชิงตัวเลขถ้าผลผลิตจริงที่เกิดขึ้นในฤดูเก็บเกี่ยวแตกต่างจากที่วางแผนไว้แล้ว จะให้ผลเฉลยในการตัดสินใจที่ดีที่สุดแตกต่างกัน ผลเฉลยที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการเกิดผลผลิตจริงที่เกิดขึ้นในฤดูเก็บเกี่ยว ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวิธีการกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและปริมาณขนส่งภายใต้สภาวการณ์ที่ไม่แน่นอน กับวิธีไม่กำหนดพื้นที่รับผิดชอบภายใต้ความแน่นอนที่ผลผลิตจริงจะเป็นไปตาม Scenario แรกโดยทำการเปรียบเทียบค่าคาดหวังค่าใช้จ่ายรวม ผลชี้ให้เห็นว่า การพิจารณากำหนดแบ่งพื้นที่รับผิดชอบและ

กำหนดปริมาณการขนส่งร่วมกันภายใต้ความไม่แน่นอนจะให้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำกว่า วิธีไม่พิจารณาแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ และไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของผลผลิตจริง เพราะในสถานการณ์จริงแล้ว มักเกิดความไม่แน่นอนเกิดขึ้น ซึ่งทำให้ผลผลิตอ้อยจริงของแต่ละโซนแปลงอ้อย ให้ผลผลิตแตกต่างจากที่วางแผนเพาะปลูกไว้ เนื่องจากสภาพอากาศและการดำเนินการต่างๆ ที่สนับสนุนให้เกิดผลผลิตอ้อยตรงตามแผน นอกจากนั้นแล้ววิธีการกำหนดแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ยังให้ผลที่มีประสิทธิภาพในการใช้รถขนส่งโดยทำให้มีความสมดุลของภาระของรถขนส่งแต่ละคันอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ ไม่ครอบคลุมการแก้ไขปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดขึ้นจริงในปัญหาการขนส่งอ้อยในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล เนื่องจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ไม่เหมาะสมในการใช้แก้ปัญหาเนื่องจากต้องใช้เวลาในการรันเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนาน และเงื่อนไขในเรื่องประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ แต่อย่างไรเสียแบบจำลองคณิตศาสตร์ยังมีความสำคัญที่จะใช้เป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนาอัลกอริทึ่มที่เหมาะสมสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ได้ สำหรับงานวิจัยฉบับนี้มีระยะเวลาในการทำงานวิจัยที่จำกัด จึงยังไม่มีการขยายผลงานวิจัยเพื่อพิจารณาการพัฒนาอัลกอริทึ่มสำหรับแก้ไขปัญหาขนาดใหญ่ จึงมีผลต่อการนำผลเฉลยที่ดีที่สุดในใช้ในทางปฏิบัติ แต่จากการสนับสนุนงบประมาณในเรื่องทุนวิจัยเพื่อสนับสนุนการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทางผู้วิจัยได้ใช้เงินสนับสนุนนี้ เพื่อดำเนินการเก็บข้อมูลนำเข้าจริงสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจริงในการขนส่งอ้อยของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ทำให้เป็นประโยชน์อย่างมากในการขยายผลจากงานวิจัยฉบับนี้ต่อไปในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

[1] Khalid Y. Al-Qahtani and Ali Elkamel. “Planning and Integration of Refinery and Petrochemical Operations.” Appendix A: Two-Stage Stochastic Programming, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, (2010):183 – 184

[2] Diaz, José, and Ileana G. Pérez. "Simulation and optimization of sugar cane transportation in harvest season." *Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter*. Vol. 2. IEEE, 2000.

[3] Higgins, Andrew. "Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: A case study at an Australian sugar mill." *European journal of operational research* 170.3 (2006): 987-1000.

[4] Milan, Esteban Lopez, Silvia Miquel Fernandez, and Lluis Miquel Pla Aragones. "Sugar cane transportation in Cuba, a case study." *European Journal of Operational Research* 174.1 (2006): 374-386.

[5] Grunow, Martin, H-O. Günther, and R. Westinner. "Supply optimization for the production of raw sugar." *International Journal of Production Economics* 110.1 (2007): 224-239.

[6] Piewthongngam, Kullapapruk, Supachai Pathumnakul, and Kanchana Setthanan. "Application of crop growth simulation and mathematical modeling to supply chain management in the Thai sugar industry." *Agricultural Systems* 102.1 (2009): 58-66.

[7] Hess, S.W., Weaver, J.B., Siegfeldt, H.J., Whelan, J.N., and Zitlau, P.A. “Nonpartisan political redistricting by computer.” *Operations Research*, *13*(6), (1965): 998–1006.

[8] Gass, S.I. “On the division of police districts into patrol beats.” *Proceedings of ACM national conference 23rd*, (1968): 459-473.

[9] Bertolazzi, P., Bianco, L., and Ricciardelli, S. “A method of determining the optimal districting in urban emergency service.” *Computer & Operations Research*, *4*(1), (1977): 1-12.

[10] Marlin, P.G. “Application of the transportation model to a large-scale districting problem.” *Computer & Operations Research*, *8*(2), (1981): 83-96.

[11] Fleischmann, B., and Paraschis, J.N. “Solving a large scale districting problem: a case report.” *Computer & Operations Research*, *15*(6), (1988): 521-533.

[12] Geroliminis, N., Karlaftis, M.G., and Skabardonis, A. “A spatial queuing model for the emergency vehicle districting and location problem.” *Transportation Research Part B: Methodological*, *43*(7), (2009): 798-811.

[13] Bandara, Damitha.,“Districting and dispatching policies to improve the efficiency of emergency medical service (EMS) systems,” 2012. All Dissertations. Paper 228.

[14] Sox, Charles R., et al. "A review of the stochastic lot scheduling problem." *International Journal of Production Economics* 62.3 (1999): 181-200.

[15] Beraldi, Patrizia, et al. "Scenario-based planning for lot-sizing and scheduling with uncertain processing times." *International Journal of Production Economics* 101.1 (2006): 140-149.

[16] Liu, Changzheng, Yueyue Fan, and Fernando Ordóñez. "A two-stage stochastic programming model for transportation network protection." *Computers & Operations Research* 36.5 (2009): 1582-1590.

[17] Winands, Erik MM, Ivo JBF Adan, and G. J. Van Houtum. "The stochastic economic lot scheduling problem: A survey." *European Journal of Operational Research* 210.1 (2011): 1-9.

ภาคผนวก

Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management

Kuala Lumpur, Malaysia, March 8-10, 2016

A Two-stage Stochastic Programming Model for Districting and Transportation Lot-size of Sugarcane

Kanchala Sudtachat

School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
111 University Avenue, Muange
Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand
kanchala@sut.ac.th

***Abstract*—The transporting sugarcane from cane fields to a mill factory is a potential cost in sugarcane logistics. The poorly operating vehicle (six-wheel truck) services and transportation lot size results in lost or excess of cane supplied. In this paper, we consider the integrated districting problem of whole cane field region and transportation lot size of each cane field. We formulate the combining two problems as two-stage stochastic model. The sugarcane yield in harvesting season is a random variable with known discrete distribution. The first stage, we determine the districts for each cane field zone. After, the harvesting sugarcane realized the second stage we make decision for transportation lot size. We formulate the transportation lot size as mixed integer programming model under a finite horizon during harvesting season of sugarcane. The optimal approach is based on the scenario-based method. The objective is to minimize the expected overall cost integrated two stages. We investigate the model based on generating data. Numerical results indicate that the model provides different optimal solution based on scenarios.**

Keywords—Sugarcane; Districting problem; Lot sizing problem; Two – stage stochastic programming model

I. INTRODUCTION

Sugar is large quantity export of goods in Thailand. The large fields of sugarcane are grown in the northeast of Thailand. Most sugar factories are located at particular regions surrounding the sugarcane fields. Currently, the international sugar market is serious competition because of the low price of suger from many contries, such as Brazil, Australia and Cuba. The goal of sugar production systems is to obtain raw material from suppliers, deliver goods to customer on-time and minimize transportation and production cost of systems. Most sugarcane is raw material to supply to sugar industries in a supply chain system. The cost of transportating sugarcane is alternative to reduce the sugar price. The major cost of sugar supply chain is transporting sugarcane from cane fields to the mill facilities. Pongwanich-anan [1] showed the 21.91% of production cost according to sugarcane transportation cost. Traditional transporting sugarcane in Thailand, we deliveried the harvesting sugarcane in a small lot size to mill facilities by using farm truck or six-wheeled truck. The small tons of transporting sugarcane to nearby mill by using farmer's vehicles, resulting in large transportation cost, complex production control and unbalance using trucks. One possible way to impose delivery time and lot size of sugarcane to mill is to partition whole sugarcane field region into small districts (sub-area). Each sub-area is grouped of nearby cane field zones, where each cane field zone consistes of grouping square of sugarcane fields area. Each sub-area (district) operates under a particular strategy. The transportation lot size strategy and high-technology to cutting-cane have been introduced and implemented in order to reduce transporation cost of sugercane delivery to mill facilities. These operate by logistic teams of mill facilities. Decision of transportation lot size to mill facilities can be scheduled, resulting in more efficiently of trucks (utilization), balancing utilization of trucks and less transportation cost. Delivery of sugarcane from fields to mill facility operates under sub-area (district) and transporation lot size policies.

Decisions regarding incorporated the sub-area (district) and the transporation lot size strategies could be improved by imposing the delivery on-time and sugarcane lot size, considering the capacity of truckloads. This transporting sugarcane problem is modeled as a two-stage stochastic programming under uncertainly. The decision of first stage is how to partition whole sugarcane field region into a sub-area (district). Decision variable is the district of each cane field zone. The district problem of cane fields zone refers to partition whold sugarcane field region into small sub-areas (district), given that the system has a fixed number and location of vehicles. We consider a sigle type of vehicle (six-wheeled truck). We consider an intra-district, which does not allow a truck to cross districts. Each sub-area transports sugarcane from cane fields zone to a mill facility using the paricular trucks which located in the same districts. We determine the sub-area before the uncertain parameters realized, which are the havesting sugarcane of each cane field zone for each period though planing horizon accounting to known discrete distribution. Once the random of havesting sugarcane presents themselves for each cane field zone. The logistic team can make decision of the second stage variables in which corresponding to the havesting sugarcane quantity realized for each period. The decision of second stage is to

978-1-4673-7762-1/16/$31.00 ©2016 IEEE

determine the transportion lot size of each cane field zone from fields to mill facilities and holding units, which kept sugarcane at their's fields for each period though planning horizon. do that for you.

The contribution of this paper is to determine the distict, indentify the particular truck for each cane field zone and analyze the transporation lot size for each cane field zone for each period, resulting in more efficiently of trucks (utilization), balancing utilization of trucks. The objective is to minimize the expected total cost, which are setup cost (events: cutting cane and load-unload sugarcane to trucks), holding cost per period, transportation cost (depanding on distances between location of a truck and distance from cane field to mill facility) and operation cost per ton of sugarcane. In this study we:

- Develop a two-stage stochastic programing model for incorporated sub-area (district) and transporation lot size policies, given the number of districts, fixed locations and number of trucks.
- Propose a optimal solutions of two-stage decision variables to determine the minimum overall expected cost.
  Show, through the numerical results based on generating small data, where harvesting yeild of each cane field zone per period according to known discrete distribution.

This paper is organized as follows. In Section 2 we present an iterature review of districting problem and transporting sugarcane problem. Section 3 we develop the two-stage stochastic programing model for incorporated sub-area (district) and transporation lot size strategies. Section 4 we show the numerical results and discussion of the optimal solution approached. Finally, Section 5 we present the conclusion and discussion of future research.

II. LITERATURE REVIEW

The study related to operation of sugarcane logistics to the mill factory. First we categorized related work by characteristic problems (e.g. transporting sugarcane, districting, and stochastic transporting lot size) being descripted.

Most of significant work had been proposed transporting sugarcane in harvesting season. Diaz and Perez [2] considered transporting sugarcane system in order to minimize a limited resource allocations using simulation. Higgins et al. [3] improved a value chain of harvesting sugarcane and transportation system. They build several models of harvesting sugarcane and transportation system, accounted for financial transfers, and analyzed scenarios with case study. In addition, Milan et al. [4] presented the transporting sugarcane to mill factory under various constraints using a mixed integer linear programming model. They considered scheduling of road transportation, cutting tasks and vehicle routing to minimize overall cost. Grunow et al. [5] investigated the production of sugarcane. The aim was operating system at a constant production rate, in which depended on preserving supply rate. They determined the cultivation and harvesting planning. The approach developed to supply chain of sugarcane operation system by Piewthongngam et al. [6]. They introduced cultivation planning, harvest scheduling into model using a mathematical programming in order to maximize the expected overall sugar production. In addition to location problem, Khamjan et al. [7] proposed the location of the sugarcane loading station problem. They allocated cane fields to each loading stations to minimize overall cost, including the investment, the transportation and the loss production cost. However, most of previous transporting sugarcane works considered a whole cane field region into model using limited trucks to transport sugarcane from cane fields to mill factories. The limited transportation time is important for implementation of sugarcane operation model. Therefore, the decisions regarding transportation could be developed by imposing a limitation on travel time from truck locations to each cane field. We consider districting strategy to improve the transportation system of sugarcane.

Initially study described in districting problem, Hess et al. [8] address the service area of police patrol system into small sub-areas. They formulated a model using an integer programming model. Gass [9] extended the model using heuristic for police patrol system. A few studies have investigated the overall travel time while considering workload balance (i.e., Marlin [10]). Fleischmann and Paraschis [11] presented the districting problem of sales territories. The aim of study was to minimize the total scores of products according to distances between center coordinate and center locations of sales territories. Hojati [12] considered the political districting problem using splitting problem to solve the problem. Iannoni et al. [13] presented two combined configuration of the location and districting problems into model bases along emergency medical service (EMS) system on highway. Recently, Bandara [14] improved the performance of EMS system by applying the combination of dispatching and districting strategies. He formulated the integer programing model of the districting problem given known locations of ambulances and number of districts.

Traditional approaches to this stochastic lot size involved with scheduling production. This problem considered multiple products with random demand that had limited capacity of resources. Sox et al. [15] proposed the survey of research dealing with the stochastic lot scheduling problem. Beraldi et al. [16] analyzed the parallel machine lot-sizing with uncertain situation. They formulated model based on scenario-based planning. Another related work dealing with a two-stage stochastic model for transportation, Liu et al. [17]

considered the transportation network protection models. They determine the allocation of resource over multiple highway brides. Winands [18] presented a survey of the stochastic economic lot scheduling model. This survey focuses on the production problems. Most previous researches of stochastic lot size ignored the transportation lot size aspect to district problem. This idea could impose delivery time and lot size of sugarcane to mill, resulting in balancing utilization of trasportation trucks.

In this paper, we address the application of districting problem for transporting sugarcane problem. We extend the districting problem proposed by Bandara [14]. The modification determines the integrated districting and lot size problems in order to minimize the expected overall cost for transporting sugarcane problem. Moreover, our work differ the previous study in that we consider the realistic system accounting to probability of sugarcane yield occurring after we made decision for districting problem.

III. DESCRIPTION OF MODEL

Given the characteristics of realistic transporting sugarcane from the cane field zones to mill facilities, we incorporate sub-area (district) and transporation lot size strategies. The model is formulated using the assumptions given below. do that for you.

- We group a square of sugarcane fields into each cane field zone.
- Each cane field zone i, $i = 1, 2,\ldots, n$ is located surrounding the mill facility. We consider the transporting sugarcane system with a single vehicle type (six-wheeled truck) j, $j = 1, 2,\ldots, J$.
- Before harvesting sugarcane season coming, we analyse the system in which whole sugarcane field region is partitioned into sub-areas (districts) k, $k = 1, 2,\ldots, K$.. We have been grouping cane field zones to districts.
- We know the number of districts and the number of vehicles and their locations.
- The decision of this first stage (*FS*) is how to determine the district for each cane field zone given a fixed number of trucks and their locations, prior to tons of harvesting sugarcane yield realized.
- We define a finite set $z = (z_{1k},\ldots, z_{ik},\ldots, z_{nk})$, where we allocated the cane field zone i at district k. Each cane field zone i is operated under particular policy at same district k.
- There is a finite set $x = (x_{1k},\ldots, x_{jk},\ldots, x_{Jk})$, where we allocated the truck j at district k. Each truck j transports tons of sugarcane from particular cane field zones in its same district k.
- There is a finite set $y = (y_{11k},\ldots, y_{ijk},\ldots, y_{njk})$, where we assign the vehicle j to transport sugarcane from the cane field zone i at district k to the mill facility. Each cane field zone i is used particular truck s, which allocated in its same district k.
- Each period t, $t = 1, 2,\ldots, T$, the tons of sugarcane need to transport to satisfy capacity of the mill factory.
- After harvesting sugarcane yield realized, each period t, $t = 1, 2,\ldots, T$, the harvesting sugarcane of each cane field zone i have been its random tons of harvest, set $Q = (Q_{1tl},\ldots, Q_{itl},\ldots, Q_{ntl})$, and expressed in term of tons per time period t in which harvesting sugarcane is yield. We define a finite set of scenario l, $l = 1, 2,\ldots, L$, where a likelihood of the scenario l follows an arbitrary discrete distribution, ξ_l .
- The second stage (*SS*), we determine recourse action or decisions of transportation lot size, $q(q_{1tl},\ldots, q_{itl},\ldots, q_{ntl}, Q_{1tl},\ldots, Q_{itl},\ldots, Q_{ntl})$ and holding units (keeping at cane field zones), $h(h_{1tl},\ldots, h_{itl},\ldots, h_{ntl},\ldots, Q_{1tl},\ldots, Q_{itl},\ldots, Q_{ntl})$ for each cane field zone i, the optimal lot size and holding units of each cane field zone and each period given the first stage decision variables x, y, z and a scenario ξ_l of the random variables Q.

We formulate a model using a two-stage stochastic programming model. We consider the method of the scenario based approach, where known the random variables of harvesting sugarcane as discrete distribution. In the first stage, the decision is made at once particular time of starting planning time. We formulate the second stage model using a mixed integer programming model as a finite horizon. The objective is to minimize overall expected cost, including transportation cost, setup cost (cutting-cane and load-unload cane to trucks), production cost and holding cost. The process flow of the incorporation of sub-area (district) and transporation lot size strategies shown in figure 1 as following.

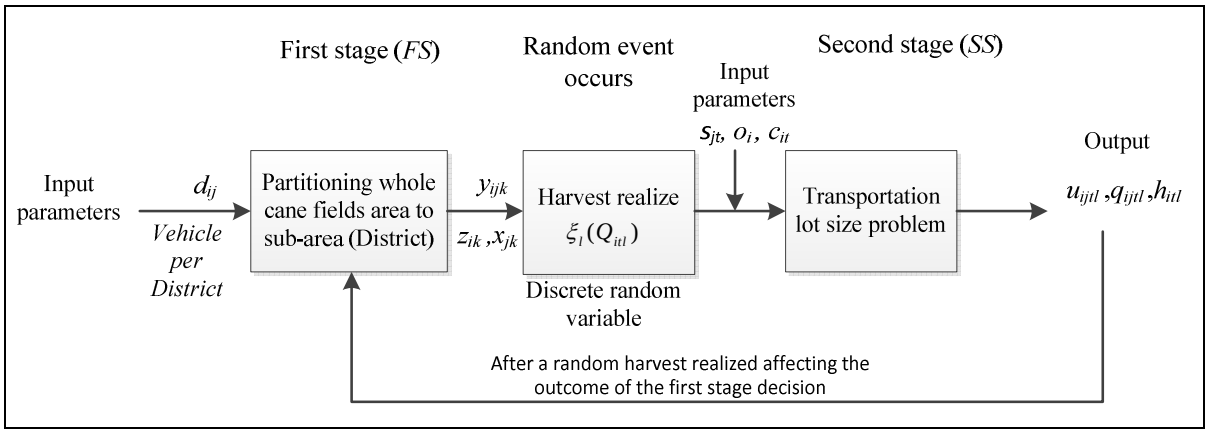


Figure 1. The process flow of the incorporating the sub-area (district) and the transporation lot size model

A. Notation

The model is formulated using the notation below:

1) *Indices*

n	number of cane field zones
J	number of trucks
K	number of districts
T	number of time periods
L	number of scenarios
i	cane field zone index as i = 1, 2, …., n
j	existing truck index as j = 1, 2,…,J
k	district index as k = 1, 2, …, K
t	time period as t = 1, 2,…, T
l	scenario index as l = 1, 2,…, L
$BigM$	a large integer number
VPD	number of trucks per district
COV	capacity of each truck
COF	delivery quantity of sugarcane required per period below:

2) *Parameters*

d_{ij}	transportation cost of cane field zone i to mill factory by truck j
s_{jt}	setup cost per time (fixed cost) of truck j at time period t, where consist of load-unload cost and cutting cane cost
o_i	production cost per ton of sugarcane of cane field zone i
c_{it}	holding cost per ton of sugarcane of cane field zone i at time period t
Q_{itl}	quantity of harvesting sugarcane of cane field zone i in time period t, if the scenario l occurs
ξ_l	probability of the scenario l occurs
VPD	the minimum number of trucks per district
COF	required tons of transporting sugarcane to mill factory per time period
COV	capacity of a truck (tons) notation below:

3) *Decision variables*

z_{ik}	1	if we allocate cane field zone i to district k
	0	otherwise
x_{jk}	1	if we allocate truck j to district k
	0	otherwise
y_{ijk}	1	if the cane field zone i and truck j are allocated to same district k
	0	otherwise
u_{ijtl}	1	if we transport sugarcane of cane field zone i by vehicle j at time t, when the scenario l occurs
	0	Otherwise

q_{ijtl} quantity of sugarcane, which transport by truck j at time t, when the scenario l occurs

h_{itl} holding units (tons) of cane field zone i, kept at its field at the end of time period t, where the scenario l occurring

f optimal value

B. Mathematical model

The proposed model can be used to determine the problem of how to partition the whole sugar field region to small sub-area. However, we consider on probability of sugar yield from each cane field zone after harvesting occurs. We focus on limited trucks risk to transport lot size for each cane field zone to mill factory. We consider a single type of vehicle (six-wheeled truck). The problem is stated as how many of transportation lot size for each period given district constraints and likelihood of harvesting yield realized. We formulated the model as the two-stage stochastic programming model; the first stage of district problem is to make decision before the harvesting occurs, while the second stage is to evaluate the total cost of transportation lot size due to a realized harvest. The second stage cost (recourse cost) is random variable dependent on the first stage district decision and the particular realized scenario for each cane field zone. The minimum overall expected cost is determined with respect to the random variables of harvest sugarcane yield occurring. The mathematical model is formulated as follow:

$$f = \min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} d_{ij} y_{ijk} + \sum_{l=1}^{L} \xi_l \left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} s_{jt} u_{ijtl} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} o_i q_{ijtl} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{T} c_{it} h_{itl} \right) \quad (1)$$

Constraints

(*FS*)

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} y_{ijk} \geq 1 \qquad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jk} = 1 \qquad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{J} x_{jk} \geq VPD \qquad \forall k \quad (4)$$

$$y_{ijk} \leq z_{ik} \qquad \forall i, j, k \quad (5)$$

$$y_{ijk} \leq x_{jk} \qquad \forall i, j, k \quad (6)$$

$$z_{ik} + x_{jk} - y_{ijk} \leq 1 \qquad \forall i, j, k \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_{ik} = 1 \qquad \forall i \quad (8)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\}, y_{ijk} \in \{0,1\}, z_{ik} \in \{0,1\} \quad (9)$$

(*SS*)

$$h_{itl} = h_{it-1,l} + Q_{itl} - \sum_{j=1}^{J} q_{ijtl} \qquad \forall i, t, l \quad (10)$$

$$Q_{itl} \geq \sum_{j=1}^{J} q_{ijtl} \qquad \forall i, t, l \quad (11)$$

$$q_{ijtl} \leq BigM(u_{ijtl}) \qquad \forall i, j, t, l \quad (12)$$

$$q_{ijtl} \leq BigM\left(\sum_{k=1}^{K} y_{ijk}\right) \qquad \forall i, j, t, l \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{J} q_{ijtl} \geq COF \qquad \forall t, l \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{n} q_{ijtl} \leq COV\left(\sum_{k=1}^{K} x_{jk}\right) \qquad \forall j, t, l \quad (15)$$

$$q_{ijtl} \geq 0 \qquad \forall i, j, t, l \quad (16)$$

$$h_{itl} \geq 0 \qquad \forall i, t, l \quad (17)$$

$$u_{ijtl} \in \{0,1\}, q_{ijtl} \in \{\text{int}\}, h_{itl} \in \{\text{int}\} \quad (18)$$

The minimum expected overall cost of the sub-areas (districts) and transportation lot size model under uncertainty is formulated as two-stage stochastic programing model. The objective fuction is total cost of

transportation cost, setup cost, production cost and holding cost as shown in equation (1). The equation consists of transportation cost, which is the product of the decision variable y_{ijk} and distance d_{ij} (distance cost between truck station j and cane field zone i adding distance cost between cane field zone i to sugar mill), adding the products of the probability of the scenario ξ_l and the total cost of the second stage decision. The second stage costs are setup cost, production cost and holding cost. The setup cost is the product of setup cost per time s_{ij} and the decision variable u_{ijtl}. There is production cost, which is the product of production cost per ton of sugarcane and the decision variable transportation lot size q_{ijtl}. The holding cost is product of holding cost per unit c_{it} (kept in cane field zones) and the decision variable h_{itl}.

The constraints of the first stage, constraint (2) ensures that each cane field zone i be allocated at least one of district k and be transported by at least one of truck j. Constraint (3) requires that each truck j be assigned to only one district k. Constraint (4) specifies the minimum number of trucks allowed at any district. Constraint (5) ensures that if we allocate cane field zone i to district k, we can assign the truck j to transport harvested sugarcane from cane field zone i to mill, when the truck j is assigned to district k. Similarly, constraint (6) ensures that if we assign the truck j to transport harvested sugarcane from cane field zone i, we can allocate cane field zone i and the truck j to the same district k. Constraint (7) guarantees that if the cane field zone i and the truck j are allocated to the same district k, the truck j requires to transport harvested sugarcane of cane field zone i to sugar mill. Condition (8) ensure that we allocate the cane field zone i to only one district k. Constraint (9) requires that the decision variables x_{jk}, y_{ijk} and z_{ik} are integer of 0 or 1.

The constraints of the second stage, constraint (10) calculates the holding units at the end of time period t dependent on the harvested sugarcane realized on each scenario l. Condition (11) ensures that total transportation lot size of cane field zone i is limited by harvested sugarcane of cane field zone i after yield realized on each scenario l. Constraint (12) requires that if the transportation lot size from cane field zone i is greater than zero, there is setup cost of cutting cane and load-unload sugarcane at cane field zone i occurs. Similarly, constraint (13) ensures that if the transportation lot size from sugarcane i in time period t is greater than zero, we assign truck j to transport sugarcane from cane field zone i, where i and j being in the same district k. Condition (14) requires the minimum total tons of transporting sugarcane to mill factory. Condition (15) specifies the minimum of tons of transporting sugarcane per truck. Constraint (15) and (16) requires that the decision of transportation lot size and the holding units of the cane field zone i is non-negative integer. Constraint (9) requires that the decision variable u_{ijtl} is integer of 0 or 1 and, the decision variables q_{ijtl} and h_{itl} are integer.

IV. Numerical Results

A. Generating Data

In this section, we show the results of our model based on random generating data. We partition the whole sugarcane field region into 8 small field areas called cane field zone. We consider a number of trucks of 4, where are fixed their locations. The map of the whole sugarcane field area shows in Figure 2. The generating data consists of transportation cost, where is the distance cost of pair each cane field zone and each truck station, the setup cost per time for each truck for each time period, production cost per unit of each cane field zone shown in Table 1.

TABLE I. The Data of Transportation Cost

Cane field zone (*i*)	**Truck**				**Production cost per unit**
	j=1	*j=2*	*j=3*	*j=4*	
1	18	2	35	16	3
2	17	2	33	14	4
3	16	2	34	15	2
4	15	5	32	13	4
5	14	2	31	11	5
6	13	4	29	10	3
7	15	2	32	14	3
8	14	2	31	12	2

TABLE II. THE QUANTITY OF HARVESTING SUGAR (TONS) OF EACH CANE FIELD ZONE FOR EACH TIME PERIOD

Cane field zone (*i*)	**Time period**								
	t = 1			*t = 2*			*t = 3*		
	Scenario l = 1	*Scenario l = 2*	*Scenario l = 3*	*Scenario l = 1*	*Scenario l = 2*	*Scenario l = 3*	*Scenario l = 1*	*Scenario l = 2*	*Scenario l = 3*
1	630	700	770	495	550	605	450	500	550
2	576	640	704	405	450	495	450	500	550
3	675	750	825	360	400	440	423	470	517
4	495	550	605	342	380	418	450	500	550
5	693	770	847	423	470	517	468	520	572
6	585	650	715	360	400	440	432	480	528
7	666	740	814	342	380	418	405	450	495
8	585	650	715	351	390	429	495	550	605

We generate the quantity of harvesting sugar (tons) of each cane field zone for each time period presented in Table 2. The Table 2 show the harvesting yield of sugar cane after made decision of districting problem. The data in Table 2 present the tons of sugar cane based on scenarios and time period. The setup cost, and holding cost of each cane field zone Table 3 and Table 4, respectively.

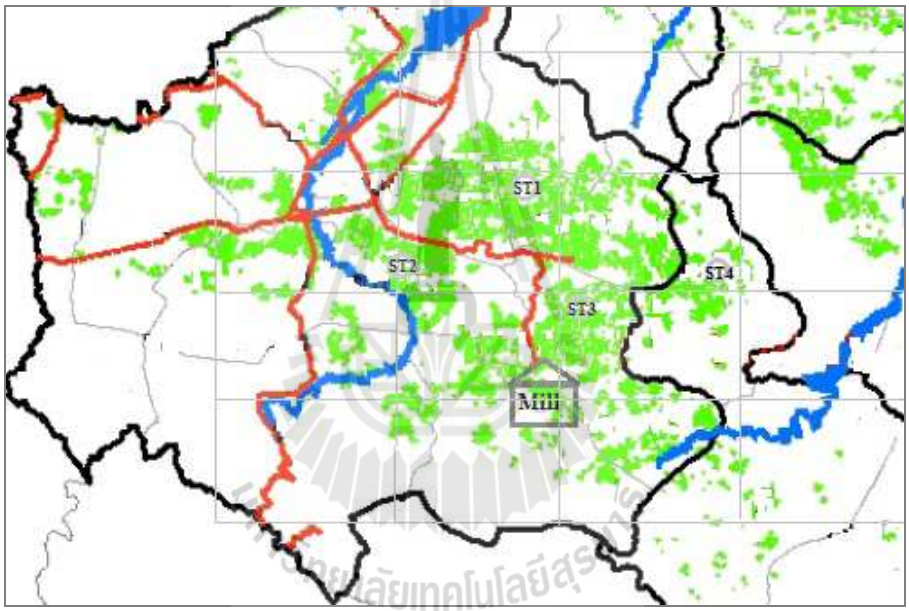


Figure 2. Small case study

TABLE III. THE DATA OF THE SETUP COST PER TIME

Truck (*j*)	**Time period**		
	t=1	*t=2*	*t=3*
1	4000	10000	13000
2	15000	20000	24000
3	4000	11000	12000
4	6000	11000	14000

TABLE IV. THE DATA OF HOLDING COST PER UNITS

Cane field zone (*i*)	**Time period**		
	t=1	*t=2*	*t=3*
1	2	3	4
2	2	3	4
3	1	4	5
4	1	4	5
5	2	4	5
6	2	3	4
7	1	4	5
8	2	3	4

The capacity required of sugar mill per time period is equal to 3,000 tons. The capacity of each truck is equal to 1,500 tons. We generate a probability of occurring scenario for each time period presented in Table 5.

TABLE V. THE PROBABILITY OF SCENARIO OCCURRING

ID	**# of Scenario**	**Probability of Scenarios**		
		l=1	*l=2*	*l=3*
A	3	0.333	0.333	0.333
B	2	0.65	0.35	-

We investigate the optimal solution of incorporating sub-area (district) and transporation lot size policies based on ganerating data above. The results shown in Section 4.2.

B. Results and Discussion

The approach considers the random space of the scenarios as discrete distribution. The discrete distribution of occurring scenarios with a finite number L of possible harvesting yield accords to the probability ξ_l shown in Table 5. The model could be formulated as mixed integer programming equivalent problem. We programed in IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.5. According to generated data in Section 4.1 we consider the number of time period of 3. We define the number of districts of 2. The minimum of number of truck per district is equal to 1. We run the model until providing the optimal solutions. The running time of size of problem 3 scenarios to find the optimal policy for each scenario was 36 hours 2 minutes and 21 seconds, while size of problem 2 scenarios spent running time only 2 hours 54 minutes and 2 seconds.

TABLE VI. THE COMPARISON OF THE DISTRICTING AND STOCHASTIC MODEL AND THE NON-DISTRICTING AND DETERMINISTIC MODEL

ID	**# of scenarios**	**Probability scenario occurring**	**Districting & Stochastic harvesting yield** **E(Total cost)**	**Non-Districting & harvesting yield based on the 1th scenario** **E(Total cost)**	**Deviation**
A	3	(0.33, 0.33, 0.33)	232,869.33	242,530.00	9,660.67
B	2	(0.65, 0.35)	118,411.38	226,255,00	107,843.62

TABLE VII. SOLUTIONS OF HOW TO ALLOCATE CANE FIELD ZONE AND TRUCKS TO DISTRICTS

ID	# of scenarios	Probability scenario occurring	Cane field zone	District	Truck
A	3	(0.33, 0.33, 0.33)	1	2	3,4
			2	1	1,2
			3	1	1,2
			4	2	3,4
			5	2	3,4
			6	1	1,2
			7	2	3,4
			8	1	1,2
B	2	(0.65, 0.35)	1	1	2,3
			2	2	1,4
			3	2	1,4
			4	1	2,3
			5	1	2,3
			6	2	1,4
			7	2	1,4
			8	2	1,4

Note in Table 6 that, we show the comparison of the district and stochastic model and the non-district and deterministic model based on the optimal of the expected overall cost. The results indicate that the of the district and stochastic model provides lower expected total cost than the non-district and deterministic model. The reasons are that the non-district and deterministic model considers a single harvesting yield situation in which might be made decisions different from realistic situation after harvesting yield realized. Moreover, non-district and deterministic model might be provided more unbalancing truck utilization because the optimal solution might choose nearby trucks first and ignores faraway trucks. This made much loads for nearby trucks and less loads for faraway trucks. The implementing policy, we partition the whole sugarcane region into 2 districts following the optimal solution in Table 7. The decision of lot size planning is made after harvesting yield realized depending on the scenarios. The results in Table 8 show the optimal solution of a lot size problem. The results show that the expected overall cost and solutions depend on the number of scenarios and the probability of scenario occurring. In addition, when we consider the size of problem 3 scenarios, the resulting optimal policies are different the size of problem 2 scenarios in allocating cane field zone and trucks to districts.

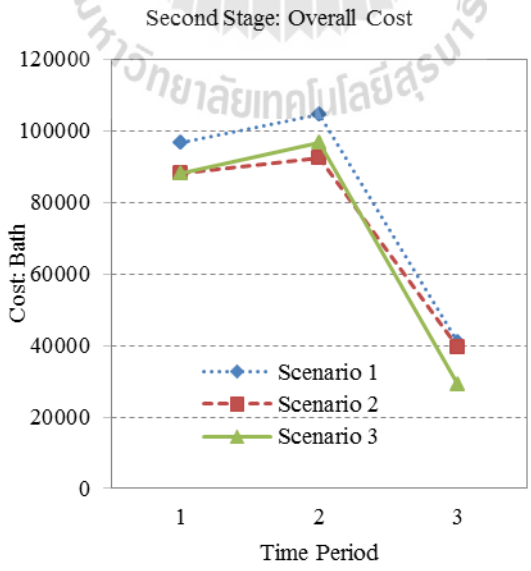


Figure 3. The second stage cost based on scenarios

Beharvior of overall cost in the second stage as affected by harvesting yield realized, scenarios are shown in Figure 3. Notice that optimal overall cost in the second stage for different scenarios where provided different optimal lot sizes. In Figure 3, the overall cost in the second stage in period 2 would result in greater cost than others. Moreover, the results indicate that if scenario 3 realized would provide the lower cost in period 1 and 3

and scenario 2 would provide the lower cost in period 2. Then, these results would be benefits for operating in period of the cultivation season.

TABLE VIII. SOLUTIONS OF TOTAL EXPECTED OVERALL COST AND HARVESTING LOT SIZE BASED ON 3 SCENARIOS WITH PROBABILITY SCENARIO OCCURRING (0.33, 0.33, 0.33)

ID	E(Total cost)	Cane field zone	Scenario l = 1			Scenario l = 2			Scenario l = 3		
			period t = 1	*period t = 2*	*period t = 3*	*period t = 1*	*period t = 2*	*period t = 3*	*period t = 1*	*period t = 2*	*period t = 3*
A	232,869.33	1	630	495	450	700	550	500	0	605	550
		2	0	405	0	0	450	0	0	0	0
		3	675	360	423	750	400	470	825	440	517
		4	0	342	450	0	380	500	0	418	455
		5	693	423	345	770	470	500	686	517	0
		6	0	360	432	0	0	480	0	440	378
		7	666	342	405	740	380	0	814	418	495
		8	585	351	495	650	390	550	675	429	605

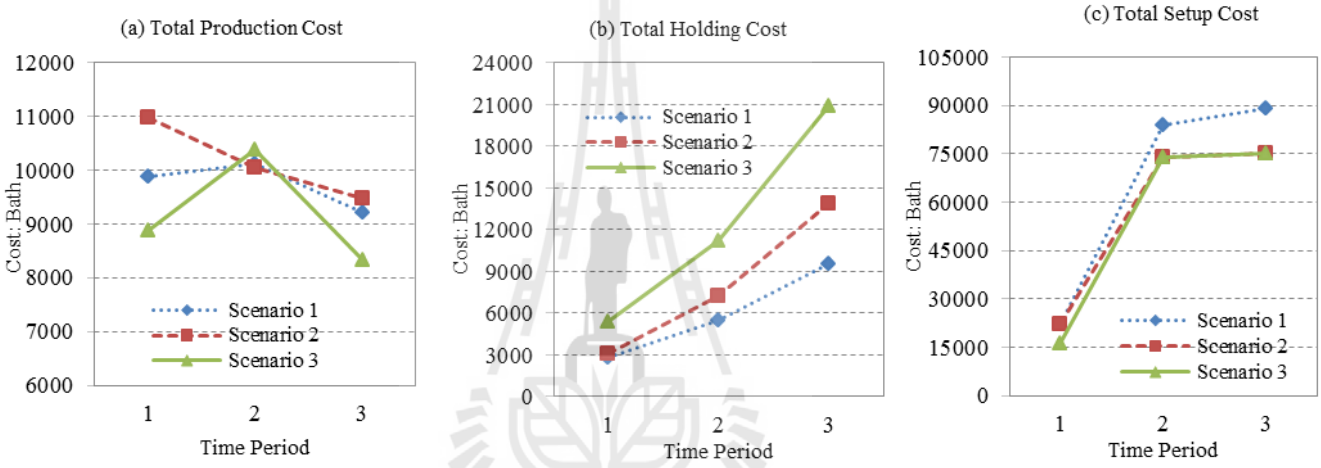


Figure 4. The second stage cost consists of production cost, holding cost and setup cost based on scenarios

In Figure 4 show the separated costs for the second stage cost: production cost, holding cost and setup cost. The results in Figure 4 (b) indicate that the scenario 3 provides higher holding cost rather than the others. This implied that we would keep sugarcane long periods at cane fields. Figure 4 (a) and Figure 4 (b) show that the production cost and setup cost of the scenario 3 provide in lower cost than the others.

V. CONCLUSION

In this paper, we developed the mathematical model to solve the integrated districting and transportation lot size problem for logistic system of sugarcane. The model formulated using the two-stage stochastic programming based on scenarios approach. The model addressed for the capacity enhancement of truck and mill factory, where we fixed the number of trucks and their locations, and number of districts. In the first stage, we determined how to partition whole cane field region into districts. We accounted the probability of scenarios occurring, in which provided different harvesting yield for each cane field zone. Then, we made decisions in the second stage for determining a lot size for each time period for each cane field zone. We investigated the mathematical model for small size problem. We presented the overall cost in the second stage based on scenarios. Numerical results on this instances showed than the different scenarios provide the different optimal solutions. The optimal solutions depend on the scenarios and the probability of scenarios occurring. We compared the district and stochastic model with non-district and deterministic model. The results showed that the district and stochastic model provided better solutions. Moreover, the district and stochastic solution trended to balancing truck utilizations. In the future, we will consider the balancing truck utilizations into model. Moreover, the heuristic algorithm will be present to approach large problem in real world.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to think the Institute of Research and Development, Suranaree University of Technology for research fund under the Development of New Researcher Fund Project. Thank to IBM developerWorks for free Cplex software for academics.

REFERENCES

[1] Pongwanich-anan, U. “Study of cost and benefit for sugar cane production, Tambon Don Chedi, Amphur Phanomthuan, arnchanaburi Province,” Crop Year 2007/2008. Master of Economics Degree in Managerial Economics at Srinakharinwirot Universty (2009).

[2] Diaz, José, and Ileana G. Pérez. "Simulation and optimization of sugar cane transportation in harvest season." *Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter*. Vol. 2. IEEE, 2000.

[3] Higgins, Andrew. "Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: A case study at an Australian sugar mill." *European journal of operational research* 170.3 (2006): 987-1000.

[4] Milan, Esteban Lopez, Silvia Miquel Fernandez, and Lluis Miquel Pla Aragones. "Sugar cane transportation in Cuba, a case study." *European Journal of Operational Research* 174.1 (2006): 374-386.

[5] Grunow, Martin, H-O. Günther, and R. Westinner. "Supply optimization for the production of raw sugar." *International Journal of Production Economics* 110.1 (2007): 224-239.

[6] Piewthongngam, Kullapapruk, Supachai Pathumnakul, and Kanchana Setthanan. "Application of crop growth simulation and mathematical modeling to supply chain management in the Thai sugar industry." *Agricultural Systems* 102.1 (2009): 58-66.

[7] Khamjan, W., S. Khamjan, and Supachai Pathumnakul. "Determination of the locations and capacities of sugar cane loading stations in Thailand." *Computers & Industrial Engineering* 66.4 (2013): 663-674.

[8] Hess, Sidney Wayne, et al. "Nonpartisan political redistricting by computer." *Operations Research* 13.6 (1965): 998-1006.

[9] Gass, Saul I. "On the division of police districts into patrol beats." *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*. ACM, 1968.

[10] Marlin, Paul G. "Application of the transportation model to a large-scale “districting” problem." *Computers & Operations Research* 8.2 (1981): 83-96.

[11] Fleischmann, Bernhard, and Jannis N. Paraschis. "Solving a large scale districting problem: a case report." *Computers & Operations Research* 15.6 (1988): 521-533.

[12] Hojati, Mehran. "Optimal political districting." *Computers & Operations Research* 23.12 (1996): 1147-1161.

[13] Iannoni, Ana Paula, Reinaldo Morabito, and Cem Saydam. "An optimization approach for ambulance location and the districting of the response segments on highways." *European Journal of Operational Research* 195.2 (2009): 528-542.

[14] Bandara, Damitha., “Districting and dispatching policies to improve the efficiency of emergency medical service (EMS) systems,” 2012. All Dissertations. Paper 228.

[15] Sox, Charles R., et al. "A review of the stochastic lot scheduling problem." *International Journal of Production Economics* 62.3 (1999): 181-200.

[16] Beraldi, Patrizia, et al. "Scenario-based planning for lot-sizing and scheduling with uncertain processing times." *International Journal of Production Economics* 101.1 (2006): 140-149.

[17] Liu, Changzheng, Yueyue Fan, and Fernando Ordóñez. "A two-stage stochastic programming model for transportation network protection." *Computers & Operations Research* 36.5 (2009): 1582-1590.

[18] Winands, Erik MM, Ivo JBF Adan, and G. J. Van Houtum. "The stochastic economic lot scheduling problem: A survey." *European Journal of Operational Research* 210.1 (2011): 1-9.

BIOGRAPHY

Kanchala Sudtachat is a Professor of School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering at Suranaree University of Technogogy, Nakhon Ratchasima, Thailand. She earned B.S. in Industrial Engineering from Khon Kaen University of Engineering, Khon Kaen, Thailand, Masters in Industrial Engineering from Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand and PhD in Industrial Engineering from Clemson University, South Carolina, USA. She has published journal and conference papers. Dr. Sudtachat has obtained a funding research from Suranaree University of Technology. Her research interests include deterministic/stochastic optimization, heuristic/meta-heuristic for production, transportation and service systems, and simulation. She is an academic member of IBM developerWorks.

ประวัตินักวิจัย

ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญชลา สุดตาชาติ ตำแหน่งอาจารย์ สาขาวิศวกรรมการผลิต, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เกิดวันที่ 7 พฤษภาคม ปีพุทธศักราช 2522 จบการศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีพุทธศักราช 2545 จบการศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีพุทธศักราช 2548 จบการศึกษาปริญญาเอก หลักสูตร Industrial Engineering, Doctor of Philosophy (Ph.D.) จาก Clemson University, USA แนวทางงานวิจัยที่สนใจ เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์อัลกอริทึ่มในการแก้ปัญหาทางอุตสาหกรรม ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ จำนวน 2 เรื่อง ได้แก่ เรื่อง “A Recommendations for Dispatching Emergency Vehicles under Multi-tiered Response via Simulation” วารสาร International Transactions in Operation Research, No 21, 581-617 และ เรื่อง “A nested-compliance table policy for emergency medical service systems under relocation” วารสาร Omega 58 (2016): 154-168 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ คือ สาขาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 อาคารวิชาการ 1 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ. นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 044-224-708 โทรสาร 044-224-411 e-mail address: kanchala@sut.ac.th

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี