การประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ของไทย

วิทยา วินิจฉัย[1] และ โรจนี หอมชาลี[2*]
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

** Corresponding Author: rojanee.h@msu.ac.th*
[1] นิสิต หลักสูตร วท.ม.วิทยาการจัดการสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
[2] อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 19 มีนาคม 2563
แก้ไข : 1 กุมภาพันธ์ 2564
ตอบรับ : 1 มีนาคม 2564

คำสำคัญ :
ข้าวหอมมะลิ / ทุ่งกุลาร้องไห้ / การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน / ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ / การโปรแกรมเชิงเส้น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานที่เหมาะสมสำหรับข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ของประเทศไทย เครือข่ายโซ่อุปทานของข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้มีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลัก ประกอบด้วย เกษตรกรผู้ปลูกข้าว ผู้รวบรวมข้าวเปลือก (ท่าข้าว/สหกรณ์การเกษตรที่ไม่มีเครื่องสี) ผู้ผลิตข้าวสาร (โรงสี/สหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสี) และลูกค้าผู้รับซื้อ แม้ว่าปัจจุบัน มีเพียงการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดา ส่วนข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีน้อยมาก แต่จากราคาและแนวโน้มการนิยมบริโภคข้าวอินทรีย์ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในเครือข่ายโซ่อุปทานด้วย และพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานสูงที่สุด ทั้งนี้ ประมวลผลตัวแบบที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม LINGO 11.0 จากผลการวิจัย พบว่า ทุ่งกุลาร้องไห้ควรมีสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาเท่ากับ 0.882 และข้าวหอมมะลิอินทรีย์เท่ากับ 0.118 ผลผลิตข้าวเปลือกที่ได้ควรขนส่งด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ จากแหล่งเพาะปลูกไปยังโรงสีภายในจังหวัดโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านผู้รวบรวมข้าวเปลือก และทุกจังหวัดส่วนใหญ่จะสีข้าวโดยโรงสี มีเพียงจังหวัดยโสธรที่สีข้าวโดยสหกรณ์การเกษตร ส่วนการขนส่งและกระจายข้าวสาร พบว่า ควรขนส่งด้วยรถบรรทุกพ่วง โดยข้าวสารหอมมะลิธรรมดาจะถูกกระจายไปยังแหล่งความต้องการทั้งในพื้นที่ นอกพื้นที่ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ส่วนข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์มีเพียงการกระจายเพื่อการบริโภคภายในพื้นที่และส่งไปยังจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ผลเฉลยที่ได้จากตัวแบบที่เสนอทำให้เกิดกำไรสูงสุดของโซ่อุปทานเท่ากับ 1,092 ล้านบาท

Application of Linear Programming Model for Managing Jasmine Rice Supply Chain Network in Thung Kula Ronghai Area of Thailand

Wittaya Winitchaiy[1] and Rojanee Homchalee[2*]
Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150

* *Corresponding Author: rojanee.h@msu.ac.th*
[1] *Graduate Student, Master of Science Program in Statistical Management Science, Faculty of Science.*
[2] *Lecturer, Department of Mathematics, Faculty of Science.*

Article Info

Article History:
Received: March 19, 2020
Revised: February 1, 2021
Accepted: March 1, 2021

Keywords:
Jasmine Rice /
Thung Kula Ronghai /
Supply Chain Network Design /
Mathematical Model /
Linear Programming

Abstract

The objective of this research was to design a supply chain network and develop mathematical models to manage an appropriate supply chain network of jasmine rice in the Thung Kula Ronghai area of Thailand. The supply chain network of jasmine rice consisted of farmers, paddy collectors (rice warehouse operators/ agricultural cooperatives with no milling machines), rice producers (rice mills/ agricultural cooperatives with milling machines) and customers as the primary stakeholders. Although most cultivation is currently dedicated to non-organic jasmine rice and there is very little demand for organic jasmine rice, based on the price and trend of consumption of organic rice, organic jasmine rice was also included in the supply chain network. A linear-programming-based mathematical model was then developed to properly manage the supply chain network. The objective of this model is to maximize the total profit of supply chain network; the proposed model was solved by LINGO 11.0. The results illustrated that Thung Kula Ronghai should allocate the proportion of non-organic jasmine rice cultivation area at 0.882 and organic jasmine rice cultivation area at 0.118. Paddy rice should directly be transported by 6-wheel trucks from cultivated areas to rice mills within each province without being transported through any collectors. Milling was noted to be conducted by rice mills in all the provinces, except for Yasothon province where milling was performed by agricultural cooperatives. As for rice transportation and distribution, the rice should be transported by trailers. Non-organic jasmine rice should be distributed to various demand sources, either in the area, outside the area, and to collection points for export, while organic jasmine rice should be distributed only for consumption within the area and to collection points for export. The proposed solution predicted the maximum profit of the supply chain at 1,092 million Baht.

1. บทนำ

ข้าวหอมมะลิถือเป็นข้าวคุณภาพดีที่มีชื่อเสียงของไทย มีความหอม อ่อนนุ่ม รสชาติอร่อย เป็นที่นิยมและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ ข้าวหอมมะลิจึงเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศปีละหลายล้านบาท โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวหอม 2 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 ที่เพาะปลูกในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ในฤดูฝน ทุ่งกุลาร้องไห้เป็นทุ่งกว้างขนาดใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ที่ครอบคลุมบางพื้นที่ของ 5 จังหวัด ได้แก่ ร้อยเอ็ด สุรินทร์ ศรีสะเกษ มหาสารคาม และยโสธร โดยพื้นที่มีลักษณะเป็นแอ่งขนาดใหญ่ ลักษณะสภาพทางภูมิศาสตร์เป็นดินร่วนปนทราย มีความเค็มในดิน ผนวกกับความแห้งแล้งของพื้นที่ และสภาพอากาศ ส่งผลให้ข้าวเกิดความเครียดและหลั่งสาร 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP) หรือสารหอม ซึ่งทำให้ข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้มีความหอมมากกว่าข้าวหอมมะลิที่ปลูกในพื้นที่อื่นของประเทศ จึงได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) จากคณะกรรมาธิการสหภาพยุโรป [1]

จากการรายงานข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่า ในปีการเพาะปลูก 2559/60 ทุ่งกุลาร้องไห้ มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวหอมมะลิจำนวน 2.29 ล้านไร่ และ 0.88 ล้านตัน ตามลำดับ และในปีการเพาะปลูก 2560/61 มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวหอมมะลิเพิ่มขึ้นเป็น 2.40 ล้านไร่ และ 0.96 ล้านตัน ตามลำดับ [2] ข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้เป็นที่ต้องการทั้งจากตลาดภายในประเทศและตลาดส่งออก แต่จากผลผลิตที่มีจำกัดทำให้ข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้มีราคาค่อนข้างสูง โดยในปี 2558 ราคาในประเทศเท่ากับ 31,085 บาท/ตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 34,198 บาท/ตัน ในปี 2561 [3] ส่วนขนาดบรรจุถุง 5 กิโลกรัม ที่ขายตามท้องตลาดหรือห้างสรรพสินค้าทั่วไป พบว่า มีราคาสูงสุดถึง 399 บาท และต่ำสุด 199 บาท [4-5] สำหรับด้านการส่งออก ในปี 2558 ทุ่งกุลาร้องไห้มีปริมาณการส่งออกข้าวสารหอมมะลิ 0.046 ล้านตัน โดยราคาส่งออกเฉลี่ยอยู่ที่ 869 ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน และมีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นในปี 2561 เท่ากับ 0.048 ล้านตัน ด้วยราคาเฉลี่ยที่สูงถึง 1,138 ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน ตามลำดับ [6]

จากความต้องการภายในประเทศและตลาดส่งออก รวมทั้งราคาข้าวหอมมะลิที่เพิ่มขึ้น จึงควรส่งเสริมและสนับสนุนการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่กำหนดแผนพัฒนาการเกษตรตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี รวมทั้งแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 ได้กำหนดยุทธศาสตร์สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานของสินค้าเกษตร ซึ่งข้าวหอมมะลินั้นถือเป็นสินค้าเกษตรหลักที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิที่ผลิตจากทุ่งกุลาร้องไห้ [7] ผนวกกับยุทธศาสตร์ข้าวไทย 5 ปี (พ.ศ. 2560-2564) แผนพัฒนากลุ่มจังหวัด และแผนพัฒนาจังหวัดของแต่ละจังหวัดในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ ก็ได้มียุทธศาสตร์การส่งเสริมและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิตลอดทั้งโซ่อุปทาน เนื่องจากข้าวหอมมะลิเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด [8-12]

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ตลอดทั้งโซ่อุปทานของข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของรัฐบาลและแผนพัฒนาจังหวัดดังที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานและการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานที่เหมาะสมสำหรับข้าวหอมมะลิในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ของประเทศไทย โดยผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายและแผนของภาครัฐ รวมทั้งเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตและกระจายข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ทั้งในประเทศและการส่งออก

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

วิธีการที่นำมาใช้ในการจัดการโซ่อุปทานมีหลายวิธีและแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับการออกแบบและการวิเคราะห์ ซึ่งเดิมการจัดการโซ่อุปทานถูกพิจารณาแยกเป็นสองกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการวางแผนการผลิตและการควบคุมสินค้าคงคลัง และกระบวนการโลจิสติกส์และการกระจายสินค้า แต่ในปัจจุบันได้มุ่งพิจารณาและวิเคราะห์แบบองค์รวม ซึ่งสามารถกำหนดประเภทของตัวแบบสำหรับการจัดการโซ่อุปทานออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ 1) Deterministic Model เป็นตัวแบบที่มีข้อมูลนำเข้าเป็นค่าคงที่หรือทราบค่าแน่นอน ภายใต้

เงื่อนไขที่กำหนด ทำให้คำตอบของตัวแบบมีค่าผลลัพธ์แน่นอน 2) Stochastic Model เป็นตัวแบบที่มีข้อมูลนำเข้าอยู่ในรูปแบบของความน่าจะเป็น ซึ่งทำให้คำตอบอยู่ในเชิงความน่าจะเป็น 3) Hybrid Model เป็นตัวแบบที่ผสมผสานระหว่าง Deterministic Model และ Stochastic Model และ 4) IT-driven Model เป็นตัวแบบที่มีการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการจัดการโซ่อุปทาน เช่น WMS, TMS เป็นต้น [13]

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วิธีการต่างๆ ในการออกแบบหรือกำหนดตัวแบบเพื่อการจัดการโซ่อุปทาน โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในปี 2010 Mula และคณะ ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์และจำแนกวรรณกรรมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการผลิตและการขนส่งในโซ่อุปทาน โดยการสืบค้นบทความวิจัยจากวารสารที่ตีพิมพ์ในฐานข้อมูลต่างๆ และได้จำแนกบทความวิจัยดังกล่าว โดยพิจารณาจากเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้ 1) โครงสร้างของโซ่อุปทาน ซึ่งเป็นตัวระบุองค์กรต่างๆ ที่อยู่ภายในโซ่อุปทาน รวมทั้งความเชื่อมโยงและความสัมพันธ์ระหว่างองค์กร 2) ระดับการตัดสินใจ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับยุทธศาสตร์ ระดับยุทธวิธี และระดับปฏิบัติการ 3) วิธีการออกแบบตัวแบบ เป็นการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการแก้ปัญหาของโซ่อุปทาน 4) เป้าหมาย เป็นจุดมุ่งหมายที่กำหนดในตัวแบบเพื่อจัดการโซ่อุปทาน 5) ข้อมูลข่าวสารที่มีการแบ่งปัน เป็นการใช้ข้อมูลร่วมกันในแต่ละส่วนภายในโซ่อุปทาน เพื่อช่วยในการวางแผนการผลิตและการขนส่ง 6) ข้อจำกัดของตัวแบบ เป็นการระบุข้อจำกัดหรือเงื่อนไขต่างๆ ภายในตัวแบบของโซ่อุปทาน 7) ความเป็นผลงานใหม่ เป็นการสร้างผลงานใหม่โดยมีความเกี่ยวข้องกับการศึกษาที่ผ่านมา และ 8) การนำไปประยุกต์ใช้ โดยนำเสนอการประยุกต์ใช้งานจากผลการวิเคราะห์ของตัวแบบ ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบส่วนใหญ่พิจารณาการวางแผนการผลิตและการขนส่งภายในโซ่อุปทานด้วยการตัดสินใจในระดับยุทธวิธี ตัวแบบที่ใช้มากที่สุดเป็นตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) ส่วนใหญ่กำหนดเป้าหมายเพื่อให้เกิดต้นทุนโดยรวมของโซ่อุปทานต่ำที่สุด ข้อมูลข่าวสารที่มีการใช้ร่วมกัน คือ ระดับความต้องการ ต้นทุนการผลิต ความสามารถในการขนส่ง ระดับสินค้าคงคลัง และความสามารถในการผลิต ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของตัวแบบส่วนใหญ่จะพิจารณาเฉพาะศูนย์การผลิตและการกระจาย แต่ไม่พิจารณาถึงผู้ผลิตวัตถุดิบ จึงไม่มีความสอดคล้องกับกำลังการผลิต การพยากรณ์ และแผนการผลิตของผู้ผลิต นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวแบบส่วนใหญ่นำเสนอความถูกต้องและความเหมาะสมในเชิงตัวเลขมากกว่าการนำไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาจริง [14]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่นำหลักการการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการจัดการวัตถุดิบและทรัพยากรที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งตัวแบบที่ใช้มีความคล้ายคลึงและแตกต่างกันไปตามลักษณะปัญหา เช่น การศึกษาและการเพิ่มประสิทธิภาพหลายขั้นตอนของโซ่อุปทานเชื้อเพลิงชีวภาพในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ภายใต้ขอบเขตจากวัตถุดิบชีวภาพจนถึงคลังเก็บเอทานอล ด้วยการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมของโซ่อุปทานต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า โซ่อุปทานที่เหมาะสมควรมีการตั้งโรงกลั่นเอทานอล 4 แห่ง และต้องเพิ่มกำลังการผลิตตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอนาคต และยังพบว่าต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากวัตถุดิบชีวภาพในรัฐแคลิฟอร์เนียนั้น มีความสามารถในการแข่งขันได้เชิงเศรษฐศาสตร์ [15] การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการการผสมและการขนส่งเมล็ดธัญพืช ภายใต้ข้อจำกัดที่ประกอบด้วยปริมาณผลผลิตเมล็ดธัญพืช จำนวนถังบรรจุเมล็ดธัญพืชที่จำกัดและแตกต่างกัน ข้อจำกัดด้านการขนส่ง และปริมาณความต้องการเมล็ดธัญพืช โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถจัดการการผสมและขนส่งเมล็ดธัญพืชได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการลดลงของต้นทุนโดยรวมของโซ่อุปทาน พร้อมทั้งมีการวิเคราะห์ความไวเพื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่อาจเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์ [16] และการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโซ่อุปทานเมล็ดธัญพืชในอินเดีย โดยองค์กร Food Corporation of India (FCI) เป็นหน่วยงานสำคัญที่ทำหน้าที่จัดหา จัดเก็บ และกระจายธัญพืชไปยังรัฐต่างๆ ของอินเดีย ซึ่งปัจจุบันการวางแผนการจัดเก็บและกระจายยังไม่เหมาะสม ทำให้มีต้นทุนการจัดเก็บและการขนส่งสูง ตัวแบบ

การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหา โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ผลการวิเคราะห์ได้ถูกนำเสนอต่อองค์กร FCI สำหรับเป็นแนวทางในการวางแผนจัดการโซ่อุปทานเมล็ดธัญพืช ทำให้การจัดหา การจัดเก็บ รวมทั้งการขนส่งและกระจายธัญพืชมีความเหมาะสม และเพียงพอต่อความต้องการในแต่ละรัฐของอินเดีย [17] สำหรับโซ่อุปทานข้าวนั้น มีหลายงานวิจัยที่พัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพโซ่อุปทานข้าวสาลีในหลายประเทศ โดยตัวแบบส่วนใหญ่มีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด แต่มีขอบเขตปัญหาของโซ่อุปทานที่แตกต่างกันออกไป เช่นในด้านการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยว มีการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับพื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทานและในเขตชลประทาน เพื่อวางแผนและจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกข้าวสาลีของประเทศสเปน โดยการพัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) ผลการศึกษาพบว่าการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกข้าวสาลีนอกเขตชลประทานและในเขตชลประทาน มีความเหมาะสมและเป็นระบบมากขึ้น สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำในการเพาะปลูก นอกจากนี้ยังนำไปเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายภาคการเกษตรเพื่อเปลี่ยนแปลงไปสู่อุตสาหกรรมการเกษตรที่ยั่งยืน [18] และการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพแบบองค์รวมสำหรับการเก็บเกี่ยวและการขนส่งข้าวสาลีของประเทศจีน ซึ่งเดิมมีระบบการขนส่งผลผลิตไม่เหมาะสม และเกิดความซ้ำซ้อนในการขนส่ง ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนโดยรวมของโซ่อุปทาน ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการเก็บเกี่ยวและต้นทุนการขนส่งของเกษตรกรได้ รวมทั้งต้นทุนของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภายในโซ่อุปทาน [19] สำหรับด้านการจัดเก็บและการขนส่ง มีงานวิจัยจำนวนมากที่ดำเนินการศึกษาในด้านนี้ เช่น การพัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) ร่วมกับกรณีศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บและการขนส่งข้าวสาลีของประเทศที่กำลังพัฒนา ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นถึงการลดลงของต้นทุนการจัดเก็บและการขนส่งตลอดทั้งโซ่อุปทาน ทำให้โซ่อุปทานมีประสิทธิภาพมากขึ้น [20] การพัฒนาตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) สำหรับปัญหาการขนส่งข้าวภายใต้ข้อจำกัดหลายด้าน ประกอบด้วย ปริมาณข้าวเปลือก ขีดจำกัดในการสต็อกข้าว และความจุในการขนส่ง

ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลง 24% และทำให้ระบบโซ่อุปทานมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีปริมาณการสต็อกและการขนส่งข้าวที่เพียงพอต่อความต้องการ [21] และการพัฒนาตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) สำหรับการจัดการผลิต จัดเก็บ และขนส่งข้าวสาลีของประเทศอีหร่าน โดยพิจารณาถึงการจัดการโซ่อุปทานที่เหมาะสม และการพิจารณาในเชิงระบบเศรษฐกิจของประเทศ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถลดต้นทุนได้หลายด้าน ส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมของโซ่อุปทานลดลงมากถึง 14.29% อีกทั้งตัวแบบยังมีความยืดหยุ่นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับจัดการทรัพยากรการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้ [22] นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MINP) สำหรับการจัดเก็บ ขนส่ง และกระจายข้าวสาลีของประเทศอินเดีย ภายใต้ปริมาณข้าวสาลีจำนวนมาก แต่มีระยะเวลาจำกัดในการดำเนินงาน จากขอบเขตตั้งแต่แหล่งเพาะปลูกไปจนถึงแหล่งความต้องการ ซึ่งตัวแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโซ่อุปทานข้าวสาลีในอินเดียได้ [23] ส่วนด้านการแปรรูปและการนำเข้าหรือส่งออก มีงานวิจัยที่เสนอการจัดการโซ่อุปทานข้าวสาลีของประเทศตุรกีด้วยตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เพื่อวางแผนและจัดการการผสมและการขนส่งผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีด้วยเรือบรรทุกสินค้า จากท่าเรือต้นทางในประเทศไปยังท่าเรือปลายทางของต่างประเทศ เนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มาจากต่างประเทศ ดังนั้นการวางแผนการจัดส่งสินค้าจึงมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก โดยตัวแบบที่พัฒนามีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านปริมาณข้าวสาลี ปริมาณผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลี จำนวนและความจุของเรือบรรทุก และปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วางแผนและตัดสินใจเกี่ยวกับปริมาณข้าวสาลีที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ปริมาณการสต็อกสินค้า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จะขนถ่ายไปยังเรือบรรทุก และจำนวนเรือบรรทุกแต่ละประเภทที่จะขนส่งสินค้าไปยังแหล่งความต้องการที่เหมาะสม [24] การวิจัยเกี่ยวกับโซ่อุปทานแป้งขนมปังข้าวสาลีแบบบูรณาการของประเทศอิหร่าน โดยข้าวสาลีเป็นสินค้าเกษตรหลักที่นิยมบริโภคมากที่สุดในประเทศ แต่ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศปีละหลาย

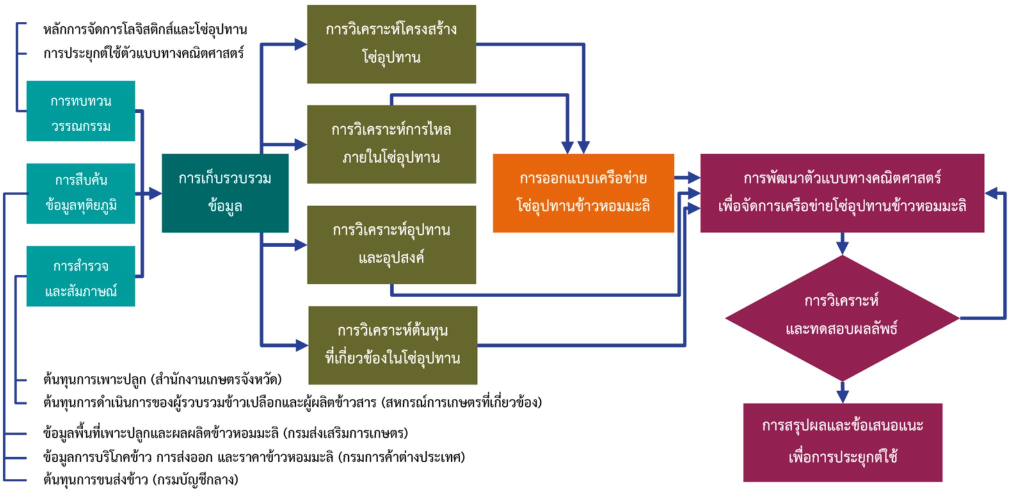
ล้านตัน ดังนั้นเพื่อการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงเสนอตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) เพื่อใช้ตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ในการนำเข้าและตัดสินใจเชิงยุทธวิธีในการจัดสรรข้าวสาลี ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจได้อย่างเหมาะสมเกี่ยวกับปริมาณการจัดซื้อและปริมาณการขนส่งข้าวสาลีสำหรับการนำเข้า รวมทั้งปริมาณการผลิต การจัดเก็บ และการขนส่งแป้งขนมปังไปยังแหล่งความต้องการของเมืองต่างๆ [25] และงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวสาลีแบบบูรณาการ และการพัฒนาตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เพื่อพิจารณาในเชิงยุทธศาสตร์และการวางแผนโซ่อุปทานข้าวสาลีที่เหมาะสมในประเทศอิหร่าน เป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกซัพพลายเออร์และจุดนำเข้า และค่าที่เหมาะสมสำหรับปริมาณการจัดซื้อข้าวสาลีและการขนส่งมายังคลังจัดเก็บ ปริมาณการขนส่งจากคลังจัดเก็บมายังโรงโม่แป้ง รวมทั้งปริมาณการผลิตและการขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังแหล่งความต้องการ โดยตัวแบบที่พัฒนาขึ้นยังมีความยืดหยุ่นและสามารถประยุกต์ใช้กับสินค้าทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะและเงื่อนไขที่คล้ายกันได้ [26]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาจากปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) เพื่อการวางแผนการเพาะปลูกและการกระจายสินค้าเกษตรของไทย จากรูปแบบปัญหาที่ทราบว่า เกษตรกรแต่ละรายมีพื้นที่และเงินทุนจำกัดสำหรับการเพาะปลูกในแต่ละฤดูกาล โดยมีทางเลือกในการกระจายสินค้าให้กับผู้ซื้อ 3 ทาง ได้แก่ ตลาดกลางสินค้าเกษตร สหกรณ์การเกษตร และพ่อค้าคนกลาง ผลการวิจัยนี้ พบว่า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอสามารถใช้สำหรับการวางแผนการเพาะปลูกและการกระจายสินค้าเกษตรในพื้นที่กรณีศึกษาได้ในระดับที่เหมาะสม ทำให้รายได้ของเกษตรกรเพิ่มขึ้น 25.67% หรือ 609,685 บาทต่อฤดูกาล [27]

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว จะเห็นได้ว่า การประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานได้อย่างเหมาะสม โดยประเภทของตัวแบบที่ประยุกต์ใช้มีความหลากหลายแตกต่างกันไปในแต่ละลักษณะปัญหาและตัวแปรตัดสินใจที่ต้องการทราบ จากการที่ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เชิงกำหนด (Deterministic Model) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองระบบปัญหาที่เกิดในระดับองค์กรหรือระดับโซ่อุปทาน จึงเป็นการหาแนวทางในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดตามเป้าหมายที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขของปัญหา ซึ่งส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้กับการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยตัวแปรตัดสินใจในตัวแบบสามารถมีค่าเป็นได้ทั้งจำนวนจริงที่มีค่าต่อเนื่องหรือจำนวนเต็ม กรณีมีเฉพาะตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าต่อเนื่อง จะประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) หากมีเฉพาะตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม จะประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (IP หรือ ILP) และหากมีทั้งตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าต่อเนื่องและตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม จะประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เป็นต้น [28-30] ซึ่งงานวิจัยนี้ มีเฉพาะตัวแปรตัดสินใจที่เป็นจำนวนจริงและมีค่าต่อเนื่อง ประกอบด้วย สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวหอมมะลิธรรมดาและข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ปริมาณการขนส่งและกระจายข้าวเปลือก ปริมาณการผลิตข้าวสาร รวมทั้งปริมาณการขนส่งและกระจายข้าวสาร เป็นต้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) สำหรับการจัดการที่เหมาะสมของเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ของไทย

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิ รวมทั้งพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ภายใต้ขอบเขตจากแหล่งเพาะปลูกไปจนถึงแหล่งรับซื้อข้าวสารหอมมะลิทั้งในประเทศและแหล่งส่งออก ด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการทบทวนวรรณกรรมและสืบค้นข้อมูลทุติยภูมิ รวมทั้งสัมภาษณ์ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์เครือข่ายปัจจุบันของโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ และนำมาออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ รวมทั้งการวิเคราะห์อุปทาน อุปสงค์ และต้นทุนที่เกี่ยวข้องภายในโซ่อุปทาน

จากการศึกษาในเบื้องต้น พบว่า ในปัจจุบันมีการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาเป็นส่วนใหญ่ ส่วนข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีการเพาะปลูกน้อยมาก และยังไม่เป็นระบบอินทรีย์ที่แท้จริง แต่จากราคาและแนวโน้มความนิยมบริโภคผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์ ผู้วิจัยจึงออกแบบให้มีการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในเครือข่ายโซ่อุปทาน และได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้น สำหรับการจัดการโซ่อุปทานที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์และตัดสินใจเกี่ยวกับสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาและข้าวหอมมะลิอินทรีย์ พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าว การขนส่งและกระจายข้าวเปลือก การผลิตข้าวสาร รวมทั้งการขนส่งและกระจายข้าวสาร และวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานในอนาคต เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ภายในโซ่อุปทานอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ โดยประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 11.0

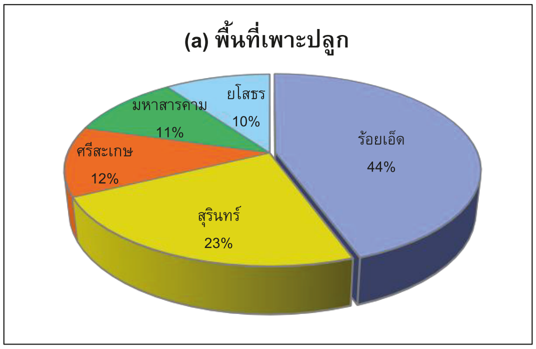
4. ผลการวิจัย

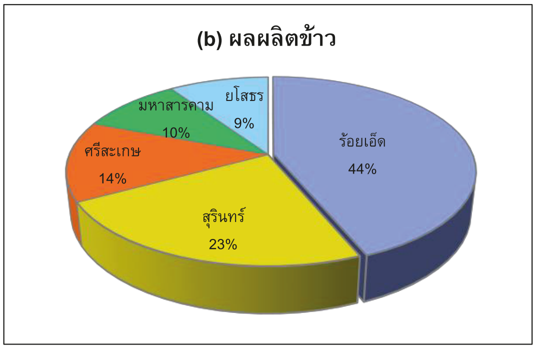
4.1 เครือข่ายปัจจุบันของโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

จากการทบทวนวรรณกรรม การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและสัมภาษณ์ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์โครงสร้างโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ พบว่า โซ่อุปทานประกอบด้วยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลัก (Primary Partners) ได้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกข้าว ผู้รวบรวมข้าวเปลือก (ท่าข้าวและสหกรณ์การเกษตรที่ไม่มีเครื่องสี) ผู้ผลิตข้าวสาร (โรงสีและสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสี) และแหล่งความต้องการ สำหรับผู้มีส่วนสนับสนุน (Supporting Partners) ประกอบด้วย หน่วยงานภาคเอกชนและภาครัฐ ได้แก่ ผู้ให้บริการขนส่ง สำนักงานเกษตรจังหวัด ศูนย์วิจัยข้าวจังหวัด และสำนักงานพาณิชย์จังหวัด เป็นต้น

เมื่อพิจารณาเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ พบว่า แหล่งเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอยู่ในพื้นที่บางส่วนของ 5 จังหวัด ได้แก่ ร้อยเอ็ด สุรินทร์ ศรีสะเกษ มหาสารคาม และยโสธร โดยจังหวัดร้อยเอ็ดมีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 44 รองลงมาเป็นจังหวัดสุรินทร์ ศรีสะเกษ มหาสารคาม และยโสธร ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 ผู้รวบรวมข้าวเปลือกจากเกษตรกรไปยังผู้ผลิตข้าวสาร ประกอบด้วยท่าข้าวและสหกรณ์การเกษตรที่ไม่มีเครื่องสี โดยอยู่ในพื้นที่

จังหวัดร้อยเอ็ดมากที่สุดจำนวน 13 แห่ง รองลงมาเป็นจังหวัดสุรินทร์ และน้อยที่สุดเป็นจังหวัดศรีสะเกษ ผู้ผลิตข้าวสารประกอบด้วย โรงสี และสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสี โดยอยู่ในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ดมากที่สุดจำนวน 11 แห่ง รองลงมาเป็นจังหวัดสุรินทร์ ส่วนแหล่งความต้องการ ประกอบด้วย แหล่งความต้องการในพื้นที่ 12 แหล่ง ซึ่งถือเป็นการบริโภคข้าวหอมมะลิภายในพื้นที่ของทุ่งกุลาร้องไห้ทั้ง 12 อำเภอ แหล่งความต้องการนอกพื้นที่เป็นบริษัทบรรจุข้าวถุงหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ 8 แห่ง และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก 2 แห่ง ได้แก่ ท่าเรือกรุงเทพ และท่าเรือแหลมฉบัง ดังตารางที่ 1 ทั้งนี้การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักภายในโซ่อุปทาน แสดงดังรูปที่ 3 จากการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ พบว่า การเพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดา มีต้นทุนประมาณ 4,332 บาท/ไร่ ซึ่งสูงกว่าข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ที่มีต้นทุนการเพาะปลูกเพียง 3,735 บาท/ไร่ สำหรับต้นทุนการขนส่งข้าวเปลือกและข้าวสาร พบว่ารถบรรทุกขนาดเล็กมีต้นทุนสูงกว่ารถบรรทุกขนาดใหญ่ เนื่องจากรถบรรทุกขนาดใหญ่มีปริมาณการขนส่งในแต่ละครั้งมากกว่า ซึ่งทำให้ต้นทุนการขนส่งต่ำเมื่อเทียบกับรถบรรทุกขนาดเล็ก [31] สำหรับผู้รวบรวมข้าวเปลือกมีต้นทุนการดำเนินการเท่ากับ 1,953.73 บาท/ตัน และกรณีผู้ผลิตข้าวสาร พบว่า ต้นทุนในการดำเนินการของสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสีและโรงสีขนาดเล็กจะมีต้นทุนที่สูงกว่าโรงสีขนาดใหญ่ เนื่องจากโรงสีขนาดใหญ่มีปริมาณการสีข้าวในแต่ละครั้งมากกว่า ซึ่งทำให้มีต้นทุนในการผลิตข้าวสารต่ำกว่าเมื่อเทียบกับโรงสีขนาดเล็ก ดังตารางที่ 2

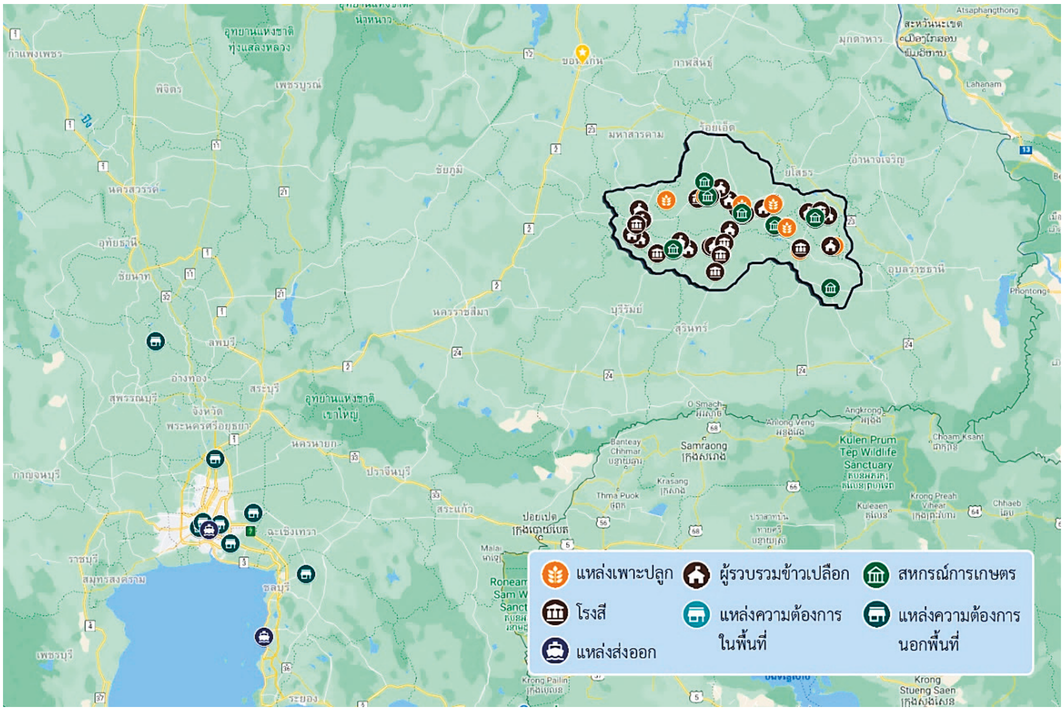




รูปที่ 2 สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ปี 2561

ตารางที่ 1 จำนวนผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักภายในเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

จังหวัด	แหล่งเพาะปลูก (อำเภอ)	ผู้รวบรวมข้าวเปลือก		ผู้ผลิตข้าวสาร		แหล่งความต้องการในพื้นที่ (อำเภอ)
		ท่าข้าว	สหกรณ์ฯ	โรงสี	สหกรณ์ฯ	
ร้อยเอ็ด	5	5	8	7	4	5
สุรินทร์	2	6	4	4	1	2
ศรีสะเกษ	2	1	1	1	1	2
มหาสารคาม	1	5	3	2	-	1
ยโสธร	2	1	3	1	1	2
แหล่งความต้องการนอกพื้นที่ เป็นบริษัทผู้บรรจุถุงข้าวสารหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ จำนวน 8 แห่ง						
จุดรวบรวมเพื่อการส่งออก จำนวน 2 แห่ง ได้แก่ ท่าเรือกรุงเทพ และท่าเรือแหลมฉบัง						



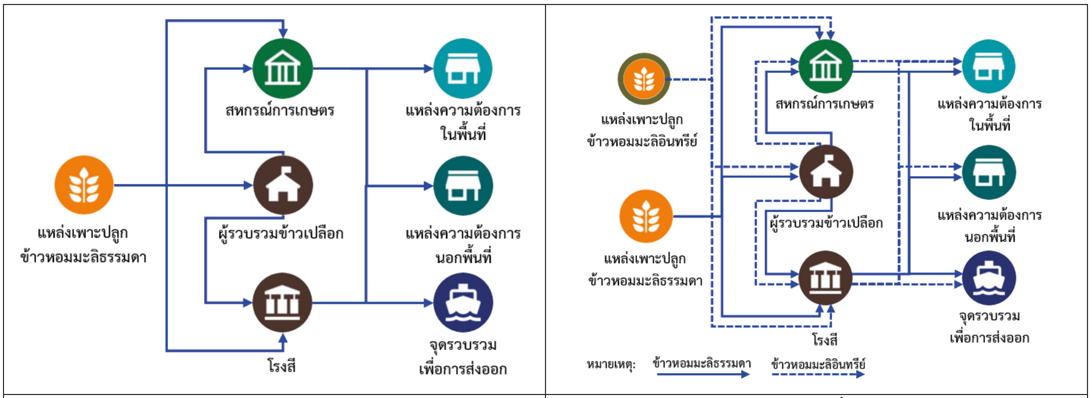
รูปที่ 3 การกระจายตัวของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักภายในโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

ตารางที่ 2 ต้นทุนที่เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

ประเภทต้นทุน	โครงสร้างหลักของต้นทุน	ต้นทุน	หน่วย
ต้นทุนการเพาะปลูก	การเพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดา	4,332.00	บาท/ไร่
	การเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์	3,735.00	บาท/ไร่
ต้นทุนการขนส่ง	รถบรรทุก 4 ล้อ	5.12	บาท/ตัน/กิโลเมตร
	รถบรรทุก 6 ล้อ	3.10	บาท/ตัน/กิโลเมตร
	รถบรรทุก 10 ล้อ	2.36	บาท/ตัน/กิโลเมตร
	รถบรรทุกพ่วง	1.46	บาท/ตัน/กิโลเมตร
ต้นทุนการดำเนินการ	การดำเนินการของผู้รวบรวมข้าวเปลือก	1,953.73	บาท/ตัน
	การดำเนินการของสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสี	2,809.46	บาท/ตัน
	การดำเนินการของโรงสีขนาดเล็ก	2,809.46	บาท/ตัน
	การดำเนินการของโรงสีขนาดกลาง	2,307.07	บาท/ตัน
	การดำเนินการของโรงสีขนาดใหญ่	2,273.73	บาท/ตัน
หมายเหตุ: โรงสีขนาดเล็ก (กำลังการผลิต 5-60 ตัน) โรงสีขนาดกลาง (กำลังการผลิต 61-300 ตัน) โรงสีขนาดใหญ่ (กำลังการผลิตมากกว่า 300 ตัน)			

4.2 การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

เครือข่ายปัจจุบันของโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ดังรูปที่ 4(a) พบว่า เกษตรกรเพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีจำนวนน้อยมาก และยังไม่เป็นแบบอินทรีย์ที่แท้จริง เนื่องจากต้องควบคุมให้เป็นแบบอินทรีย์ในทุกขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่การเพาะปลูกจนถึงผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค แต่จากแนวโน้มความนิยมบริโภคข้าวอินทรีย์และราคาข้าวหอมมะลิอินทรีย์ที่สูงกว่า รวมทั้งการส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตข้าวอินทรีย์ของทั้งภาครัฐและเอกชน ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานโดยได้กำหนดให้มีการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในระบบเครือข่ายโซ่อุปทาน ดังรูปที่ 4(b) เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับโซ่อุปทาน และยังเป็นโอกาสในการส่งเสริมอาชีพและรายได้ให้แก่เกษตรกร



(a) เครือข่ายปัจจุบัน	(b) เครือข่ายที่ออกแบบ

รูปที่ 4 เครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

4.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

เครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ที่ออกแบบประกอบด้วย ข้าวหอมมะลิ 2 ประเภท และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักภายในโซ่อุปทาน ได้แก่ แหล่งเพาะปลูกข้าวซึ่งเป็นอำเภอทั้งหมดในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ ผู้รวบรวมข้าวเปลือก ผู้ผลิตข้าวสารซึ่งกำหนดตำแหน่งตามที่ตั้งของผู้รวบรวมข้าวเปลือกและผู้ผลิตข้าวสารที่อยู่ในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ในปัจจุบัน แหล่งความต้องการในพื้นที่เป็นการบริโภคข้าวหอมมะลิของประชากรทั้ง 12 อำเภอ แหล่งความต้องการนอกพื้นที่เป็นบริษัทบรรจุถุงข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก รายละเอียดดังตารางที่ 1

ในส่วนการขนส่งและการกระจายข้าว เกษตรกรมีการขนส่งข้าวเปลือกด้วยรถบรรทุก 4 ล้อ และ 6 ล้อ ผู้รวบรวมข้าวเปลือกขนส่งข้าวเปลือกด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ และรถบรรทุกพ่วง และผู้ผลิตข้าวสารขนส่งข้าวสารด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ 10 ล้อ และรถบรรทุกพ่วง

เพื่อการผลิตและการกระจายข้าวหอมมะลิแต่ละประเภทที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ภายใต้ขอบเขตจากแหล่งเพาะปลูกจนถึงแหล่งความต้องการ ซึ่งเป็นตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานสูงที่สุด ดังสมการที่ 1 โดยตัวแบบมีตัวแปรตัดสินใจและพารามิเตอร์ ดังนี้

ดัชนี (Indexes)

a แทน ประเภทข้าว ; $a \in A,\ A = 2$
i แทน แหล่งเพาะปลูก ; $i \in I,\ I = 12$
j แทน ผู้รวบรวมข้าวเปลือก ; $j \in J,\ J = 37$
k แทน สหกรณ์การเกษตร ; $k \in K,\ K = 7$
l แทน โรงสี ; $l \in L,\ L = 15$
m แทน แหล่งความต้องการในพื้นที่ ; $m \in M,\ M = 12$
n แทน แหล่งความต้องการนอกพื้นที่ ; $n \in N,\ N = 8$
o แทน จุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ; $o \in O,\ O = 2$
u แทน ประเภทรถบรรทุกของช่วงการขนส่งข้าวเปลือกจากแหล่งเพาะปลูกไปยังผู้รวบรวมข้าวเปลือก สหกรณ์การเกษตร และโรงสี ; $u \in U,\ U = 2$
v แทน ประเภทรถบรรทุกของช่วงการขนส่งข้าวเปลือกจากผู้รวบรวมข้าวเปลือกไปยังสหกรณ์การเกษตร และโรงสี ; $v \in V,\ V = 2$
w แทน ประเภทรถบรรทุกของช่วงการขนส่งข้าวสารจากสหกรณ์การเกษตรและโรงสีไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ แหล่งความต้องการนอกพื้นที่ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ; $w \in W,\ W = 3$

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

P_a แทน สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวประเภท a
IP_{ai} แทน พื้นที่เพาะปลูกข้าวประเภท a ของแหล่งเพาะปลูก i (ไร่)
IY_{ai} แทน ปริมาณผลผลิตข้าวประเภท a ของแหล่งเพาะปลูก i (ตัน)
IJY_{aiju} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวเปลือกประเภท a จากแหล่งเพาะปลูก i ไปยังผู้รวบรวมข้าวเปลือก j ด้วยรถบรรทุกประเภท u (ตัน)
IKY_{aiku} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวเปลือกประเภท a จากแหล่งเพาะปลูก i ไปยังสหกรณ์การเกษตร k ด้วยรถบรรทุกประเภท u (ตัน)
ILY_{ailu} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวเปลือกประเภท a จากแหล่งเพาะปลูก i ไปยังโรงสี l ด้วยรถบรรทุกประเภท u (ตัน)
JKY_{ajkv} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวเปลือกประเภท a จากผู้รวบรวมข้าวเปลือก j ไปยังสหกรณ์การเกษตร k ด้วยรถบรรทุกประเภท v (ตัน)
JLY_{ajlv} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวเปลือกประเภท a จากผู้รวบรวมข้าวเปลือก j ไปยังโรงสี l ด้วยรถบรรทุกประเภท v (ตัน)
KX_{ak} แทน ปริมาณการผลิตข้าวสารประเภท a ของสหกรณ์การเกษตร k (ตัน)
LX_{al} แทน ปริมาณการผลิตข้าวสารประเภท a ของโรงสี l (ตัน)
KMY_{akmw} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวสารประเภท a จากสหกรณ์การเกษตร k ไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ m ด้วยรถบรรทุกประเภท w (ตัน)
KNY_{aknw} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวสารประเภท a จากสหกรณ์การเกษตร k ไปยังแหล่งความต้องการนอกพื้นที่ n ด้วยรถบรรทุกประเภท w (ตัน)
KOY_{akow} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวสารประเภท a จากสหกรณ์การเกษตร k ไปยังจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก o ด้วยรถบรรทุกประเภท w (ตัน)
LMY_{almw} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวสารประเภท a จากโรงสี l ไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ m ด้วยรถบรรทุกประเภท w (ตัน)
LNY_{alnw} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวสารประเภท a จากโรงสี l ไปยังแหล่งความต้องการนอกพื้นที่ n ด้วยรถบรรทุกประเภท w (ตัน)
LOW_{alow} แทน ปริมาณการขนส่งข้าวสารประเภท a จากโรงสี l ไปยังจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก o ด้วยรถบรรทุกประเภท w (ตัน)

พารามิเตอร์ (Parameters)

NR_a แทน ราคาข้าวสารภายในประเทศประเภท a (บาท/ตัน)
OR_a แทน ราคาข้าวสารส่งออกประเภท a (บาท/ตัน)
PT_i แทน พื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมดของแหล่งเพาะปลูก i (ไร่)
IC_a แทน ต้นทุนการเพาะปลูกข้าวประเภท a (บาท/ไร่)

UC_u แทน ต้นทุนการขนส่งของรถบรรทุกประเภท u (บาท/กิโลเมตร)

VC_v แทน ต้นทุนการขนส่งของรถบรรทุกประเภท v (บาท/กิโลเมตร)

WC_w แทน ต้นทุนการขนส่งของรถบรรทุกประเภท w (บาท/กิโลเมตร)

JC_j แทน ต้นทุนการดำเนินการของผู้รวบรวมข้าวเปลือก j (บาท/ตัน)

KC_k แทน ต้นทุนการดำเนินการของสหกรณ์การเกษตร k (บาท/ตัน)

LC_l แทน ต้นทุนการดำเนินการของโรงสี l (บาท/ตัน)

$KCap_k$ แทน กำลังการผลิตสูงสุดของสหกรณ์การเกษตร k (ตัน)

$LCap_l$ แทน กำลังการผลิตสูงสุดของโรงสี l (ตัน)

$UCap_u$ แทน ความจุสูงสุดของรถบรรทุกประเภท u (ตัน)

$VCap_v$ แทน ความจุสูงสุดของรถบรรทุกประเภท v (ตัน)

$WCap_w$ แทน ความจุสูงสุดของรถบรรทุกประเภท w (ตัน)

MD_{am} แทน ความต้องการข้าวสารประเภท a ของแหล่งความต้องการในพื้นที่ m (ตัน)

ND_a แทน ความต้องการข้าวสารประเภท a จากแหล่งความต้องการนอกพื้นที่ (ตัน)

OD_a แทน ความต้องการข้าวสารประเภท a จากต่างประเทศ (ตัน)

α แทน อัตราการแปลงข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร (ตัน)

β แทน อัตราการแปลงพื้นที่เพาะปลูกเป็นผลผลิตข้าวเปลือก (ตัน/ไร่)

DIJ_{ij} แทน ระยะทางระหว่างแหล่งเพาะปลูก i ไปยังผู้รวบรวมข้าวเปลือก j (กิโลเมตร)

DIK_{ik} แทน ระยะทางระหว่างแหล่งเพาะปลูก i ไปยังสหกรณ์การเกษตร k (กิโลเมตร)

DIL_{il} แทน ระยะทางระหว่างแหล่งเพาะปลูก i ไปยังโรงสี l (กิโลเมตร)

DJK_{jk} แทน ระยะทางระหว่างผู้รวบรวมข้าวเปลือก j ไปยังสหกรณ์การเกษตร k (กิโลเมตร)

DJL_{jl} แทน ระยะทางระหว่างผู้รวบรวมข้าวเปลือก j ไปยังโรงสี l (กิโลเมตร)

DKM_{km} แทน ระยะทางระหว่างสหกรณ์การเกษตร k ไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ m (กิโลเมตร)

DKN_{kn} แทน ระยะทางระหว่างสหกรณ์การเกษตร k ไปยังแหล่งความต้องการนอกพื้นที่ n (กิโลเมตร)

DKO_{ko} แทน ระยะทางระหว่างสหกรณ์การเกษตร k ไปยังจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก o (กิโลเมตร)

DLM_{lm} แทน ระยะทางระหว่างโรงสี l ไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ m (กิโลเมตร)

DLN_{ln} แทน ระยะทางระหว่างโรงสี l ไปยังแหล่งความต้องการนอกพื้นที่ n (กิโลเมตร)

DLO_{lo} แทน ระยะทางระหว่างโรงสี l ไปยังจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก o (กิโลเมตร)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานสูงที่สุด ประกอบด้วย รายรับจากการจำหน่ายข้าวสารหอมมะลิลบด้วยต้นทุนของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักภายในโซ่อุปทาน ดังสมการ (1)

$$\text{Max Profit} = \left[\text{Krevenue} + \text{Lrevenue}\right] - \left[\text{Icost} + \text{Jcost} + \text{Kcost} + \text{Lcost}\right] \quad (1)$$

รายรับจากการจำหน่ายข้าวสารหอมมะลิ ประกอบด้วย รายรับจากการจำหน่ายข้าวสารของสหกรณ์การเกษตรและโรงสี ซึ่งราคาข้าวสารจะแตกต่างกันไปตามการจำหน่ายในประเทศและการส่งออก ดังสมการ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$\begin{aligned}\text{Krevenue} = &\sum_{a\in A}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} NR_a KMY_{akmw} + \sum_{a\in A}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N}\sum_{w\in W} NR_a KNY_{aknw} + \\ &\sum_{a\in A}\sum_{k\in K}\sum_{o\in O}\sum_{w\in W} OR_a KOY_{akow}\end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Lrevenue} = \sum_{a\in A}\sum_{l\in L}\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} NR_a LMY_{almw} + \sum_{a\in A}\sum_{l\in L}\sum_{n\in N}\sum_{w\in W} NR_a LNY_{alnw} + \sum_{a\in A}\sum_{l\in L}\sum_{o\in O}\sum_{w\in W} OR_a LOY_{alow} \quad (3)$$

ต้นทุนของเกษตรกร ประกอบด้วย ต้นทุนการเพาะปลูกและต้นทุนการขนส่งข้าวเปลือก โดยมีการขนส่งข้าวเปลือกไปยังผู้รวบรวมข้าวเปลือก สหกรณ์การเกษตร และโรงสี ดังสมการ (4)

$$\text{Icost} = \sum_{a\in A}\sum_{i\in I} IC_a IP_{ai} + \sum_{a\in A}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{u\in U} UC_u DIJ_{ij}\frac{IJY_{aiju}}{UCap_u} + \sum_{a\in A}\sum_{i\in I}\sum_{k\in K}\sum_{u\in U} UC_u DIK_{ik}\frac{IKY_{aiku}}{UCap_u} + \sum_{a\in A}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{u\in U} UC_u DIL_{il}\frac{ILY_{ailu}}{UCap_u} \quad (4)$$

ต้นทุนของผู้รวบรวมข้าวเปลือก ประกอบด้วย ต้นทุนการดำเนินการและต้นทุนการขนส่งข้าวเปลือก โดยมีการขนส่งข้าวเปลือกไปยัง สหกรณ์การเกษตร และโรงสี ดังสมการ (5)

$$\text{Jcost} = \sum_{a\in A}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{u\in U} JC_j IJY_{aiju} + \sum_{a\in A}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{v\in V} VC_v DJK_{jk}\frac{JKY_{ajkv}}{VCap_v} + \sum_{a\in A}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L}\sum_{v\in V} VC_v DJL_{jl}\frac{JLY_{ajlv}}{VCap_v} \quad (5)$$

ต้นทุนของสหกรณ์การเกษตร ประกอบด้วย ต้นทุนการดำเนินการและต้นทุนการขนส่งข้าวสารไปยังแหล่งความต้องการทั้งในพื้นที่ นอกพื้นที่ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ดังสมการ (6)

$$\text{Kcost} = \sum_{a\in A}\sum_{k\in K} KC_k KX_{ak} + \sum_{a\in A}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} WC_w DKM_{km}\frac{KMY_{akmw}}{WCap_w} + \sum_{a\in A}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N}\sum_{w\in W} WC_w DKN_{kn}\frac{KNY_{aknw}}{WCap_w} + \sum_{a\in A}\sum_{k\in K}\sum_{o\in O}\sum_{w\in W} WC_w DKO_{ko}\frac{KOY_{akow}}{WCap_w} \quad (6)$$

ต้นทุนของโรงสี ประกอบด้วย ต้นทุนการดำเนินการและต้นทุนการขนส่งข้าวสารไปยังแหล่งความต้องการทั้งในพื้นที่ นอกพื้นที่ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ดังสมการ (7)

$$\text{Lcost} = \sum_{a\in A}\sum_{l\in L} LC_l LX_{al} + \sum_{a\in A}\sum_{l\in L}\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} WC_w DLM_{lm}\frac{LMY_{almw}}{WCap_w} + \sum_{a\in A}\sum_{l\in L}\sum_{n\in N}\sum_{w\in W} WC_w DLN_{ln}\frac{LNY_{alnw}}{WCap_w} + \sum_{a\in A}\sum_{l\in L}\sum_{o\in O}\sum_{w\in W} WC_w DLO_{lo}\frac{LOY_{alow}}{WCap_w} \quad (7)$$

เงื่อนไข (Constraints) ประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้

การเพาะปลูก

พื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งสองประเภทในแต่ละแหล่งเพาะปลูก รวมแล้วต้องเท่ากับพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมด โดยพื้นที่เพาะปลูกข้าวแต่ละประเภท พิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวประเภทนั้น คูณกับพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด ดังสมการ (8) ทั้งนี้ สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งสองประเภท ต้องมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 และต้องมีผลรวมเท่ากับ 1 ดังสมการ (9) และ (10) ตามลำดับ โดยปริมาณผลผลิตข้าวแต่ละประเภท ได้จากพื้นที่เพาะปลูกคูณกับอัตราผลผลิตต่อไร่ ดังสมการ (11)

$$P_a PT_i = IP_{ai} \qquad ;\forall a \in A, i \in I \qquad (8)$$

$$0 \le P_a \le 1 \qquad ;\forall a \in A \qquad (9)$$

$$\sum_{a \in A} P_a = 1 \qquad (10)$$

$$\beta(IP_{ai}) = IY_{ai} \qquad ;\forall a \in A, i \in I \qquad (11)$$

การขนส่งและกระจายข้าวเปลือก

ปริมาณข้าวเปลือกที่ขนส่งจากแหล่งเพาะปลูกไปยังผู้รวบรวมข้าวเปลือก สหกรณ์การเกษตร และโรงสี ต้องเท่ากับปริมาณผลผลิตที่มี ดังสมการ (12) ส่วนปริมาณข้าวเปลือกที่ขนส่งจากผู้รวบรวมข้าวเปลือกไปยังสหกรณ์การเกษตรและโรงสี ต้องไม่เกินปริมาณข้าวเปลือกที่ผู้รวบรวมมี ดังสมการ (13)

$$\sum_{j \in J}\sum_{u \in U} IJY_{aiju} + \sum_{k \in K}\sum_{u \in U} IKY_{aiku} + \sum_{l \in L}\sum_{u \in U} ILY_{ailu} = IY_{ai} \qquad ;\forall a \in A, i \in I \qquad (12)$$

$$\sum_{k \in K}\sum_{v \in V} JKY_{ajkv} + \sum_{l \in L}\sum_{v \in V} JLY_{ajlv} \le \sum_{i \in I}\sum_{u \in U} IJY_{aiju} \qquad ;\forall a \in A, j \in J \qquad (13)$$

การผลิตข้าวสาร

ปริมาณข้าวสารที่สีได้ของสหกรณ์การเกษตรและโรงสี ได้จากอัตราการแปลงคูณกับปริมาณข้าวเปลือกที่ขนส่งมาจากแหล่งเพาะปลูกและผู้รวบรวมข้าวเปลือก ดังสมการ (14) และ (15) ทั้งนี้การผลิตข้าวสารต้องไม่เกินกำลังการผลิตของสหกรณ์การเกษตรและโรงสี ดังสมการ (16) และ (17) ตามลำดับ

$$\alpha\left(\sum_{i \in I}\sum_{u \in U} IKY_{aiku} + \sum_{j \in J}\sum_{v \in V} JKY_{ajkv}\right) = KX_{ak} \qquad ;\forall a \in A, k \in K \qquad (14)$$

$$\alpha\left(\sum_{i \in I}\sum_{u \in U} ILY_{ailu} + \sum_{j \in J}\sum_{v \in V} JLY_{ajlv}\right) = LX_{al} \qquad ;\forall a \in A, l \in L \qquad (15)$$

$$\sum_{a \in A} KX_{ak} \le KCap_k \qquad ;\forall k \in K \qquad (16)$$

$$\sum_{a \in A} LX_{al} \le LCap_l \qquad ;\forall l \in L \qquad (17)$$

การขนส่งและกระจายข้าวสาร

ปริมาณข้าวสารที่ขนส่งไปยังแหล่งความต้องการทั้งในพื้นที่ นอกพื้นที่ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ต้องไม่เกินปริมาณข้าวสารที่สหกรณ์การเกษตรและโรงสีผลิต ดังสมการ (18) และ (19) ในทำนองเดียวกัน ปริมาณข้าวสารที่ขนส่งไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ นอกพื้นที่ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ต้องเท่ากับปริมาณความต้องการจากในพื้นที่ นอกพื้นที่ และจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก ดังสมการ (20) (21) และ (22) ตามลำดับ

$$\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} KMY_{akmw} + \sum_{n\in N}\sum_{w\in W} KNY_{aknw} + \sum_{o\in O}\sum_{w\in W} KOY_{akow} \le KX_{ak} \quad ;\forall a\in A, k\in K \quad (18)$$

$$\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} LMY_{almw} + \sum_{n\in N}\sum_{w\in W} LNY_{alnw} + \sum_{o\in O}\sum_{w\in W} LOY_{alow} \le LX_{al} \quad ;\forall a\in A, l\in L \quad (19)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{w\in W} KMY_{akmw} + \sum_{l\in L}\sum_{w\in W} LMY_{almw} = MD_{am} \quad ;\forall a\in A, m\in M \quad (20)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N}\sum_{w\in W} KNY_{aknw} + \sum_{l\in L}\sum_{n\in N}\sum_{w\in W} LNY_{alnw} = ND_{a} \quad ;\forall a\in A \quad (21)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{o\in O}\sum_{w\in W} KOY_{akow} + \sum_{l\in L}\sum_{o\in O}\sum_{w\in W} LOY_{alow} = OD_{a} \quad ;\forall a\in A \quad (22)$$

ค่าของตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่าไม่ติดลบ ดังสมการ (23)-(36)

$$IP_{ai}, IY_{ai} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, i\in I \quad (23)$$

$$IJY_{aiju} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, i\in I, j\in J, u\in U \quad (24)$$

$$IKY_{aiku} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, i\in I, k\in K, u\in U \quad (25)$$

$$ILY_{ailu} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, i\in I, l\in L, u\in U \quad (26)$$

$$JKY_{ajkv} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, j\in J, k\in K, v\in V \quad (27)$$

$$JLY_{ajlv} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, j\in J, l\in L, v\in V \quad (28)$$

$$KX_{ak} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, k\in K \quad (29)$$

$$LX_{al} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, l\in L \quad (30)$$

$$KMY_{akmw} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, k\in K, m\in M, w\in W \quad (31)$$

$$KNY_{aknw} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, k\in K, n\in N, w\in W \quad (32)$$

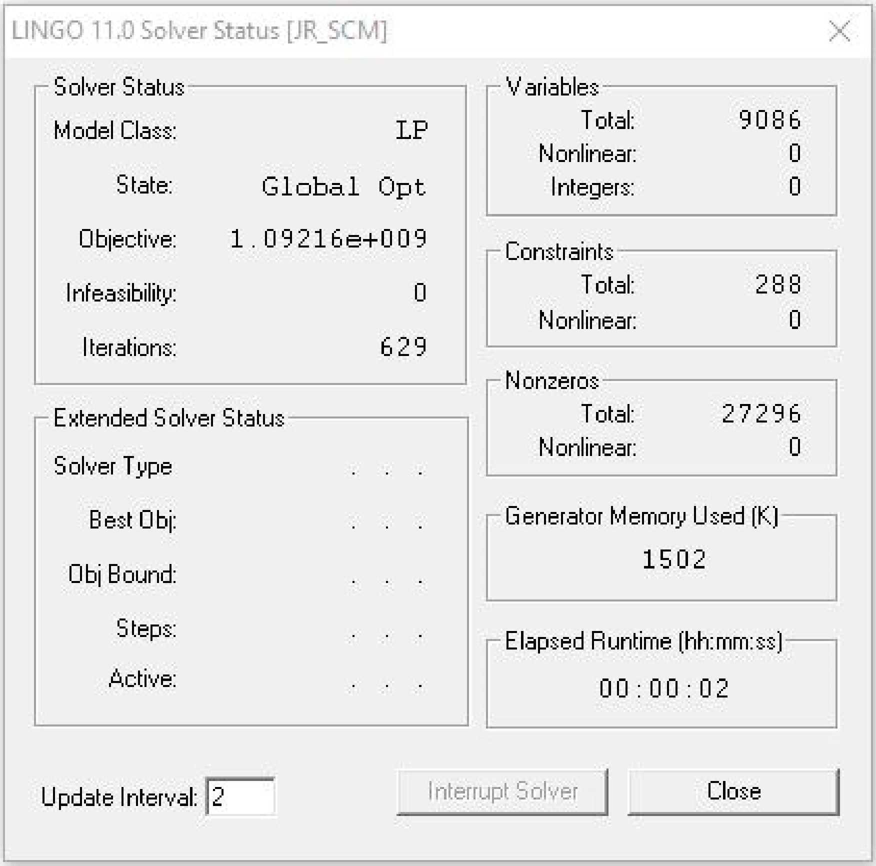
$$KOY_{akow} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, k\in K, o\in O, w\in W \quad (33)$$

$$LMY_{almw} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, l\in L, m\in M, w\in W \quad (34)$$

$$LNY_{alnw} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, l\in L, n\in N, w\in W \quad (35)$$

$$LOY_{alow} \ge 0 \quad ;\forall a\in A, l\in L, o\in O, w\in W \quad (36)$$

จากตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นที่พัฒนาได้ข้างต้น ผู้วิจัยได้นำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 11.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook รุ่น Acer Aspire E5-473-3604 ระบบปฏิบัติการ Windows 10 เครื่องประมวลผล CPU Core i3-5005U และหน่วยความจำ RAM 4 GB พบว่า ภายใต้ขนาดของปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนทั้งสิ้น 9,086 ตัวแปร และสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 288 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 2 วินาที ดังรูปที่ 5 ทำให้ได้ผลเฉลยของตัวแบบเพื่อนำไปจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้



รูปที่ 5 สรุปการประมวลผลตัวแบบด้วยโปรแกรม LINGO 11.0

4.4 ผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์และรูปแบบการจัดการที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

เมื่อผู้วิจัยได้ออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้โดยกำหนดให้มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์เข้ามาในระบบโซ่อุปทาน ผลเฉลยของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น ทำให้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานทั้งปีสูงสุดเท่ากับ 1,092 ล้านบาท ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายของตัวแบบ ดังในรูปที่ 5 และตารางที่ 3 และพบว่า ทุ่งกุลาร้องไห้ควรมีสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาเท่ากับ 0.882 และข้าวหอมมะลิอินทรีย์เท่ากับ 0.118 ซึ่งคิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 2.118 และ 0.284 ล้านไร่ ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 3) โดยจังหวัดร้อยเอ็ดมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งสองประเภทมากที่สุดซึ่งคิดเป็นร้อยละ 44 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาเป็นจังหวัดสุรินทร์ และน้อยที่สุดเป็นจังหวัดยโสธรซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมด

ตารางที่ 3 สรุปผลเฉลยของตัวแบบเกี่ยวกับสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตข้าวหอมมะลิธรรมดา และข้าวหอมมะลิอินทรีย์ และค่าเป้าหมายของตัวแบบ

จังหวัด	แหล่งเพาะปลูก (อำเภอ)	ข้าวหอมมะลิธรรมดา		ข้าวหอมมะลิอินทรีย์	
		สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูก 0.882		สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูก 0.118	
		พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
ร้อยเอ็ด	เกษตรวิสัย	342,934.54	150,205.33	46,022.46	20,157.84
	สุวรรณภูมิ	125,944.95	55,163.89	16,902.05	7,403.10
	ปทุมรัตต์	315,544.35	138,208.43	42,346.65	18,547.83
	โพนทราย	108,730.20	47,623.83	14,591.80	6,391.21
	หนองฮี	48,233.04	21,126.07	6,472.96	2,835.16
สุรินทร์	ท่าตูม	267,100.60	116,990.06	35,845.40	15,700.29
	ชุมพลบุรี	226,776.21	99,327.98	30,433.79	13,330.00
ศรีสะเกษ	ราษีไศล	196,601.68	86,111.54	26,384.32	11,556.33
	ศิลาลาด	52,339.01	22,924.48	7,023.99	3,076.51
มหาสารคาม	พยัคฆภูมิพิสัย	225,501.30	98,769.57	30,262.70	13,255.06
ยโสธร	มหาชนะชัย	139,067.90	60,911.74	18,663.17	8,174.47
	ค้อวัง	70,010.40	30,664.56	9,395.53	4,115.24
รวม		**2,118,784.17**	**928,027.46**	**284,344.83**	**124,543.04**
ค่าเป้าหมายของตัวแบบ: กำไรโดยรวมของเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ทั้งปีสูงที่สุด เท่ากับ 1,092 ล้านบาท					

สำหรับการขนส่งและกระจายข้าวเปลือกจากแหล่งเพาะปลูก พบว่า ไม่มีการขนส่งข้าวเปลือกไปยังผู้รวบรวมข้าวเปลือก แต่มีการขนส่งข้าวเปลือกโดยตรงไปยังโรงสีและสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสี โดยส่วนใหญ่ขนส่งด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ ทั้งนี้ยังพบว่า ข้าวเปลือกหอมมะลิทั้งหมดของแหล่งเพาะปลูกในจังหวัดร้อยเอ็ด สุรินทร์ และมหาสารคาม ควรถูกขนส่งไปสียังโรงสีภายในจังหวัดนั้นๆ ยกเว้นจังหวัดศรีสะเกษและยโสธร ซึ่งพบว่า ข้าวเปลือกหอมมะลิธรรมดาจากจังหวัดศรีสะเกษส่วนใหญ่ควรขนส่งไปยังโรงสีในจังหวัดร้อยเอ็ดซึ่งอยู่ใกล้เคียงกัน ส่วนที่เหลือถูกขนส่งไปยังโรงสีภายในจังหวัด แต่ข้าวเปลือกหอมมะลิอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกขนส่งไปยังโรงสีภายในจังหวัด มีเพียงบางส่วนที่ถูกขนส่งไปยังโรงสีในจังหวัดร้อยเอ็ด สำหรับการกระจายข้าวเปลือกของจังหวัดยโสธร พบว่า ข้าวเปลือกหอมมะลิธรรมดาถูกกระจายไปสีที่โรงสีในจังหวัดร้อยเอ็ด โรงสีในจังหวัดศรีสะเกษ และสหกรณ์การเกษตรในจังหวัดยโสธร แต่ข้าวเปลือกหอมมะลิอินทรีย์ถูกกระจายไปสีที่โรงสีในจังหวัดศรีสะเกษ และสหกรณ์การเกษตรในจังหวัดยโสธรเอง ดังรายละเอียดสรุปในตารางที่ 4 และรูปที่ 6

ตารางที่ 4 สรุปผลเฉลยของตัวแบบเกี่ยวกับปริมาณการขนส่งและกระจายข้าวเปลือกหอมมะลิจากแหล่งเพาะปลูกไปยังผู้ผลิตข้าวสาร

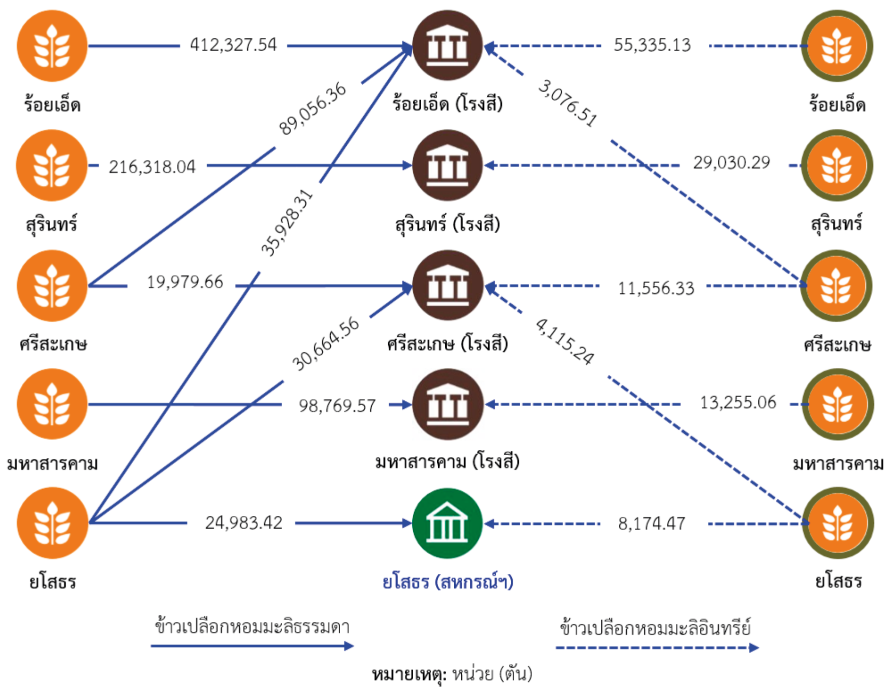
หน่วย: ตัน

แหล่งปลูก (จังหวัด)	ประเภทข้าวเปลือกหอมมะลิ	ผู้ผลิตข้าวสาร					รวม
		ร้อยเอ็ด (โรงสี)	สุรินทร์ (โรงสี)	ศรีสะเกษ (โรงสี)	มหาสารคาม (โรงสี)	ยโสธร (สหกรณ์ฯ)	
ร้อยเอ็ด	ธรรมดา	412,327.54	-	-	-	-	412,327.54
	อินทรีย์	55,335.13	-	-	-	-	55,335.13
สุรินทร์	ธรรมดา	-	216,318.04	-	-	-	216,318.04
	อินทรีย์	-	29,030.29	-	-	-	29,030.29
ศรีสะเกษ	ธรรมดา	89,056.36	-	19,979.66	-	-	109,036.02
	อินทรีย์	3,076.51	-	11,556.33	-	-	14,632.84
มหาสารคาม	ธรรมดา	-	-	-	98,769.57	-	98,769.57
	อินทรีย์	-	-	-	13,255.06	-	13,255.06
ยโสธร	ธรรมดา	35,928.31	-	30,664.56	-	24,983.42	91,576.29
	อินทรีย์	-	-	4,115.24	-	8,174.47	12,289.71
รวม	**ธรรมดา**	**537,312.21**	**216,318.04**	**50,644.22**	**98,769.57**	**24,983.42**	**928,027.46**
	อินทรีย์	**58,411.64**	**29,030.29**	**15,671.57**	**13,255.06**	**8,174.47**	**124,543.04**

ตารางที่ 5 สรุปผลเฉลยของตัวแบบเกี่ยวกับปริมาณการผลิตข้าวสารหอมมะลิธรรมดาและข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์

หน่วย: ตัน

จังหวัด	ผู้ผลิตข้าวสาร	ประเภทข้าวสารหอมมะลิ		รวม
		ธรรมดา	อินทรีย์	
ร้อยเอ็ด	โรงสี	204,178.65	22,196.43	226,375.08
สุรินทร์	โรงสี	82,200.85	11,031.51	93,232.36
ศรีสะเกษ	โรงสี	19,244.80	5,955.20	25,200.00
มหาสารคาม	โรงสี	37,532.44	5,036.92	42,569.36
ยโสธร	สหกรณ์ฯ	9,493.70	3,106.30	12,600.00
รวม		**352,650.44**	**47,326.36**	**399,976.80**



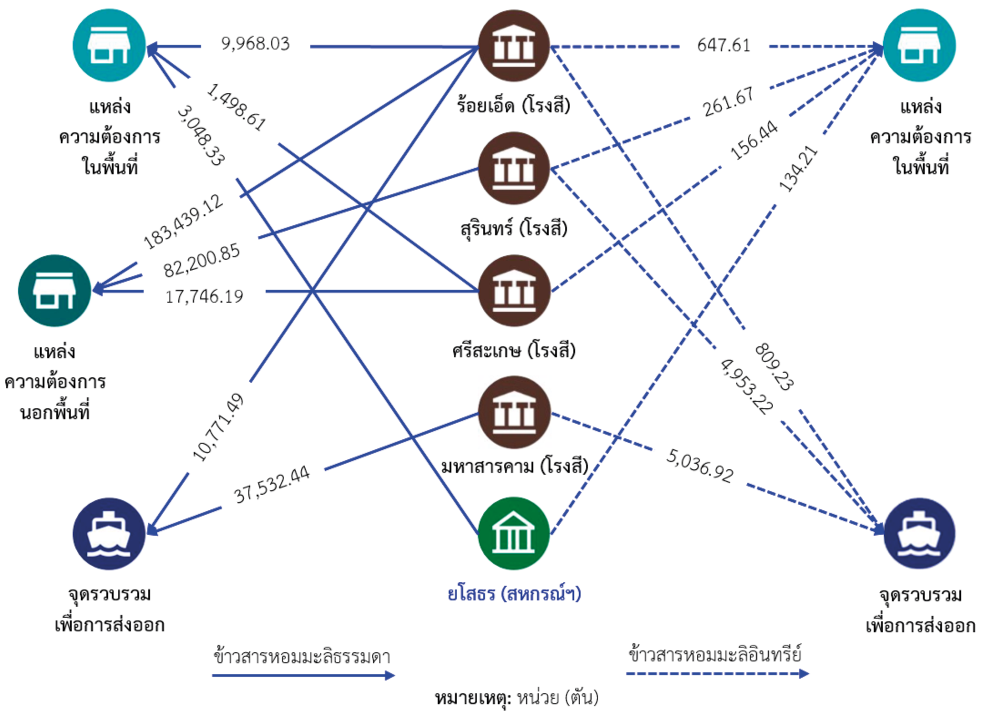
รูปที่ 6 สรุปผลเฉลยของตัวแบบเกี่ยวกับรูปแบบการกระจายข้าวเปลือกหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

ในการสีข้าวหรือผลิตข้าวสารนั้น แม้ในแต่ละจังหวัดจะมีทั้งโรงสีและสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสี ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่จากผลเฉลยของตัวแบบ พบว่า ผลผลิตข้าวเปลือกจากแหล่งเพาะปลูกส่วนใหญ่ควรถูกดำเนินการสีโดยโรงสีในจังหวัดร้อยเอ็ด สุรินทร์ ศรีสะเกษ และมหาสารคาม มีเพียงข้าวเปลือกบางส่วนจากแหล่งเพาะปลูกในจังหวัดยโสธรที่ควรถูกดำเนินการสีโดยสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสีของจังหวัดยโสธรเอง ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5 เมื่อพิจารณาในภาพรวม พบว่าทุ่งกุลาร้องไห้มีการผลิตข้าวสารหอมมะลิธรรมดาและข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์เท่ากับ 352,650.44 และ 47,326.36 ตัน ตามลำดับ โดยโรงสีในจังหวัดร้อยเอ็ดมีปริมาณการผลิตข้าวสารทั้งสองประเภทมากที่สุด เนื่องจากได้รับข้าวเปลือกจากแหล่งเพาะปลูกในปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นจังหวัดสุรินทร์ และน้อยที่สุดเป็นจังหวัดยโสธร ดังรายละเอียดสรุปในตารางที่ 5 สำหรับการขนส่งและกระจายข้าวสาร พบว่า ส่วนใหญ่เป็นการขนส่งข้าวสารด้วยรถบรรทุกพ่วง โดยมีการขนส่งข้าวสารหอมมะลิธรรมดาไปยังแหล่งความต้องการนอกพื้นที่มากที่สุด รวมทั้งสิ้น 283,386.16 ตัน รองลงมาขนส่งไปยังจุดรวบรวมเพื่อการส่งออก 48,303.93 ตัน และขนส่งไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่น้อยที่สุด 14,514.97 ตัน ตามลำดับ กรณีการขนส่งข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ มีการขนส่งไปยังจุดรวบรวมเพื่อการส่งออกมากที่สุด รวมทั้งสิ้น 10,799.37 ตัน รองลงมาขนส่งไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ 1,199.93 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 6 ทั้งนี้ยังพบว่า โรงสีในจังหวัดร้อยเอ็ดมีการขนส่งข้าวสารหอมมะลิธรรมดาไปทั้งแหล่งความต้องการในพื้นที่ นอกพื้นที่ และการส่งออก ส่วนข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์มีการขนส่งไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ และการส่งออก โรงสีในจังหวัดสุรินทร์มีการขนส่งข้าวสารหอมมะลิธรรมดาไปเพียงแหล่งความต้องการนอกพื้นที่ ส่วนข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์มีการขนส่งไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ และการส่งออก โรงสีในจังหวัดศรีสะเกษมีการขนส่งข้าวสารหอมมะลิธรรมดาไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ และนอกพื้นที่ ส่วนข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์มีการขนส่งไปเพียงแหล่งความต้องการในพื้นที่ โรงสีในจังหวัดมหาสารคามมีการขนส่งข้าวสารหอมมะลิธรรมดาและอินทรีย์ไปเพียงการส่งออก และสหกรณ์การเกษตรในจังหวัดยโสธรมีการขนส่งข้าวสารหอมมะลิธรรมดาและอินทรีย์ไปเพียงแหล่งความต้องการในพื้นที่ ดังรายละเอียดสรุปในตารางที่ 6 และ รูปที่ 7

ตารางที่ 6 สรุปผลเฉลยของตัวแบบเกี่ยวกับปริมาณการขนส่งและกระจายข้าวสารหอมมะลิจากผู้ผลิตไปยังแหล่งความต้องการ

หน่วย: ตัน

จังหวัด	ผู้ผลิตข้าวสาร	แหล่งความต้องการ					
		ในพื้นที่		นอกพื้นที่		ส่งออก	
		ธรรมดา	อินทรีย์	ธรรมดา	อินทรีย์	ธรรมดา	อินทรีย์
ร้อยเอ็ด	โรงสี	9,968.03	647.61	183,439.12	-	10,771.49	809.23
สุรินทร์	โรงสี	-	261.67	82,200.85	-	-	4,953.22
ศรีสะเกษ	โรงสี	1,498.61	156.44	17,746.19	-	-	-
มหาสารคาม	โรงสี	-	-	-	-	37,532.44	5,036.92
ยโสธร	สหกรณ์ฯ	3,048.33	134.21	-	-	-	-
รวม		**14,514.97**	**1,199.93**	**283,386.16**	**-**	**48,303.93**	**10,799.37**



รูปที่ 7 สรุปผลเฉลยของตัวแบบเกี่ยวกับรูปแบบการกระจายข้าวสารหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้

4.5 ผลการวิเคราะห์ความไว

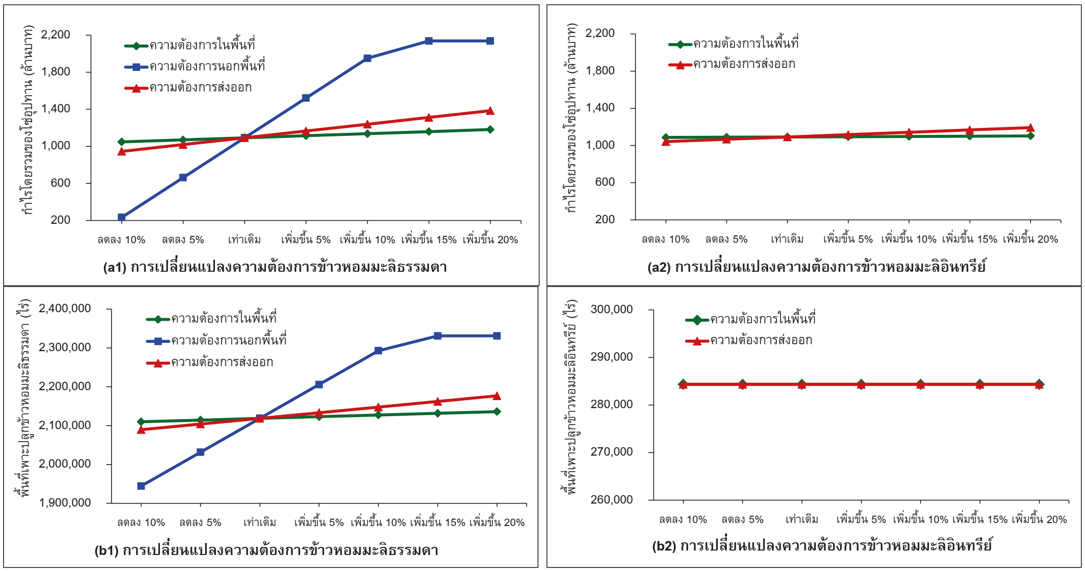
ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความไวโดยการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญภายในโซ่อุปทาน ทั้งต้นทุนการเพาะปลูก ราคาข้าวสาร และความต้องการข้าวสารหอมมะลิ ซึ่งพบว่า การลดลงของต้นทุนการเพาะปลูกและการเพิ่มขึ้นของราคาข้าวสาร ทำให้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับข้าวหอมมะลิธรรมดา ซึ่งส่งผลต่อกำไรโดยรวมของ

โซ่อุปทานอย่างมาก ดังรายละเอียดในตารางที่ 7 นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการเพาะปลูกและราคาข้าวสารหอมมะลิทั้งในประเทศและส่งออก ส่งผลต่อกำไรโดยรวมของโซ่อุปทาน แต่ไม่ส่งผลให้พื้นที่เพาะปลูกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ส่วนกรณีการเปลี่ยนแปลงความต้องการข้าวหอมมะลิทั้งสองประเภท พบว่า หากความต้องการเพิ่มขึ้นจะทำให้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความต้องการของข้าวหอมมะลิธรรมดา ส่งผลต่อทั้งกำไรโดยรวมของโซ่อุปทานและพื้นที่เพาะปลูก โดยการเปลี่ยนแปลงความต้องการข้าวหอมมะลิธรรมดาจากนอกพื้นที่ ส่งผลต่อกำไรโดยรวมของโซ่อุปทานและพื้นที่เพาะปลูกอย่างมาก แต่เมื่อความต้องการเพิ่มขึ้นจนถึง 15% และ 20% พบว่า กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานและพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาเริ่มคงที่ ส่วนการเปลี่ยนแปลงความต้องการข้าวหอมมะลิธรรมดาจากในพื้นที่และการส่งออก ส่งผลต่อกำไรโดยรวมของโซ่อุปทานและพื้นที่เพาะปลูกเล็กน้อย โดยหากความต้องการข้าวหอมมะลิธรรมดาจากการส่งออกเพิ่มขึ้น จะทำให้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และหากความต้องการข้าวหอมมะลิธรรมดาจากในพื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานเพิ่มขึ้นไม่มากนัก สำหรับข้าวหอมมะลิอินทรีย์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงความต้องการส่งผลต่อกำไรโดยรวมของโซ่อุปทาน แต่ไม่ทำให้พื้นที่เพาะปลูกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเฉพาะเมื่อความต้องการข้าวหอมมะลิอินทรีย์จากการส่งออกเพิ่มขึ้น จะทำให้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่หากความต้องการข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในพื้นที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ดังรูปที่ 8

ตารางที่ 7 สรุปผลเฉลยของตัวแบบเกี่ยวกับกำไรโดยรวมของโซ่อุปทานเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

หน่วย: ล้านบาท

การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์	ลดลง 10%	ลดลง 5%	เท่าเดิม	เพิ่มขึ้น 5%	เพิ่มขึ้น 10%
ต้นทุนการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดา	2,010.01	1,551.09	1,092.16	633.23	174.30
ต้นทุนการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์	1,198.36	1,145.26	1,092.16	1,039.06	985.95
ราคาข้าวหอมมะลิธรรมดาในประเทศ	51.38	517.77	1,092.16	1,612.54	2,132.93
ราคาข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในประเทศ	1,086.54	1,089.35	1,092.16	1,094.97	1,097.77
ราคาข้าวหอมมะลิธรรมดาส่งออก	922.93	1,007.54	1,092.16	1,176.77	1,261.38
ราคาข้าวหอมมะลิอินทรีย์ส่งออก	1,040.38	1,066.27	1,092.16	1,118.05	1,143.93



รูปที่ 8 กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานและพื้นที่เพาะปลูกเมื่อความต้องการข้าวหอมมะลิมีการเปลี่ยนแปลง

5. อภิปรายผล

ประเด็นสำคัญที่ได้จากผลการวิจัยนี้ คือ ทุ่งกุลาร้องไห้ควรมีการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในระบบเครือข่ายโซ่อุปทาน แม้สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกจะยังต่ำกว่าข้าวหอมมะลิธรรมดาอยู่มาก เนื่องจากมีความต้องการบริโภคทั้งจากในพื้นที่และการส่งออก ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน ที่ผู้วิจัยเสนอให้มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในระบบเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ในด้านรูปแบบการขนส่งและการกระจายข้าวเปลือก พบว่า ข้าวเปลือกจากพื้นที่เพาะปลูกถูกส่งไปยังโรงสีหรือสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสีโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านผู้รวบรวมข้าวเปลือก ส่งผลให้บทบาทของผู้รวบรวมข้าวเปลือกในโซ่อุปทานลดลง และยังพบอีกว่าเป็นการขนส่งข้าวเปลือกไปยังโรงสีหรือสหกรณ์การเกษตรซึ่งตั้งอยู่ใกล้เคียง แม้จะไม่ได้อยู่ในพื้นที่อำเภอหรือจังหวัดที่ตั้ง โดยสอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงสีหรือสหกรณ์การเกษตรที่มีในระบบเครือข่ายโซ่อุปทาน ส่วนรูปแบบการขนส่งและการกระจายข้าวสาร พบว่า มีทั้งการกระจายเพื่อตอบสนองความต้องการในพื้นที่ และการกระจายไปยังแหล่งความต้องการนอกพื้นที่ เพื่อนำไปเพิ่มมูลค่าด้วยการจัดทำเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวสารหอมมะลิบรรจุถุงหรือผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องแบบอื่นต่อไป ทั้งนี้ผลเฉลยยังได้เลือกรูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมและแตกต่างกันสำหรับการขนส่งข้าวเปลือกและข้าวสาร จึงสามารถสรุปได้ว่าเป็นการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์แบบบูรณาการ (Integrated Supply Chain and Logistics Management) และเป็นการบริหารโซ่อุปทานแบบองค์รวม (Holistic Supply Chain Management) ในพื้นที่ของทุ่งกุลาร้องไห้

สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ดำเนินการภายใต้ขอบเขตของเครือข่ายโซ่อุปทานและขนาดของปัญหาที่มีตัวแปรจำนวน 9,086 ตัวแปร และมีสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 288 สมการ แต่สามารถประมวลผลโดยใช้เวลาเพียง 2 วินาที และให้ผลเฉลยแบบ Global Optimum ซึ่งเป็นผลเฉลยที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้างหรือคำตอบที่ดีที่สุดแท้จริง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งตัวแบบยังมีความยืดหยุ่น จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการโซ่อุปทานของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์อื่นได้ โดยเฉพาะสินค้าเกษตรที่สำคัญของไทย แต่เนื่องด้วยความซับซ้อนของโซ่อุปทานสินค้าเกษตร จึงยังมีบางปัจจัยที่ค่อนข้างซับซ้อนและยังไม่ได้นำมาพิจารณาร่วมในการออกแบบ เช่น นโยบายของรัฐบาล ทั้งนโยบายในการช่วยเหลือปัจจัยการผลิต นโยบายการควบคุมราคา นโยบายการสต็อกและการกระจายข้าวเพื่อการจำหน่ายภายในประเทศและการส่งออก เป็นต้น และยังมีปัจจัยความผันผวนของราคาข้าวที่ขึ้นอยู่กับภาวะเศรษฐกิจและการแข่งขันจากภายนอกประเทศ ซึ่งในการวิจัยครั้งต่อไป สามารถนำปัจจัยเหล่านี้มาพิจารณาร่วมในการออกแบบและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนมากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของระบบโซ่อุปทานมากที่สุด

6. สรุปผลการวิจัย

ข้าวหอมมะลิเป็นพืชเศรษฐกิจและยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของจังหวัดร้อยเอ็ด สุรินทร์ ศรีสะเกษ มหาสารคาม และยโสธร แต่จากรูปแบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ที่ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงดำเนินการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ของประเทศไทย โดยออกแบบให้มีการเพิ่มข้าวหอมมะลิอินทรีย์เข้ามาในระบบเครือข่ายโซ่อุปทาน จากแต่เดิมที่มีเพียงข้าวหอมมะลิธรรมดา ทั้งนี้เนื่องจากแรงจูงใจทางด้านราคาของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ที่สูงกว่าข้าวหอมมะลิธรรมดา รวมทั้งกระแสความนิยมบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ทำให้ความต้องการบริโภคข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรโดยรวมของโซ่อุปทานสูงที่สุด เมื่อประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 11.0 ผลเฉลยของตัวแบบ พบว่า ทุ่งกุลาร้องไห้ควรมีสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาสูงกว่าข้าวหอมมะลิอินทรีย์อย่างมาก เนื่องจากข้าวหอมมะลิธรรมดามีความต้องการที่สูงกว่ามากทั้งจากในพื้นที่ นอกพื้นที่ และการส่งออก สำหรับการขนส่งข้าวเปลือกเกษตรกรควรขนส่งข้าวเปลือกด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ ไปยังโรงสีหรือสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสีภายในจังหวัดโดยตรง

โดยไม่ต้องผ่านผู้รวบรวมข้าวเปลือก กรณีการสีข้าว ทุกจังหวัดส่วนใหญ่ควรสีข้าวโดยโรงสี มีเพียงจังหวัดยโสธรที่บางส่วนควรสีข้าวผ่านสหกรณ์การเกษตรที่มีเครื่องสี ส่วนการกระจายข้าวสารไปยังแหล่งความต้องการ พบว่า ข้าวหอมมะลิธรรมดาควรถูกกระจายไปยังแหล่งความต้องการทั้งในพื้นที่ นอกพื้นที่และแหล่งส่งออก ส่วนข้าวหอมมะลิอินทรีย์ มีเพียงการกระจายไปยังแหล่งความต้องการในพื้นที่ และแหล่งส่งออกโดยการขนส่งข้าวสารส่วนใหญ่ควรขนส่งด้วยรถบรรทุกพ่วง ทั้งนี้ ผลเฉลยที่ได้ทำให้โซ่อุปทานข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้มีกำไรโดยรวมทั้งปีสูงสุด เท่ากับ 1,092 ล้านบาท และมีแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบโลจิสติกส์และการจัดการโซ่อุปทานโดยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจเพาะปลูกและซื้อขายข้าวหอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้กับท้องถิ่น

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2563 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัยระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรม LINGO 11.0 ในการประมวลผลข้อมูล

8. เอกสารอ้างอิง

1. Department of Intellectual Property, 2012, Geographical Indication [Online], Available: http://www.ipthailand.go.th. [14 May 2018]

2. Department of Agricultural Extension, 2018, Agricultural Production Information System [Online], Available: http://122.154.24.125/new/index.php. [20 May 2018]

3. Department of Internal Trade, 2018, Document Storage System [Online], Available: http://203.148.172.83/dmp2011/FormList/lst_main_public.aspx. [26 June 2018]

4. Tesco Lotus, 2020, Thung Kula Ronghai Jasmine Rice [Online], Available: https:// shop-online.tescolotus.com/groceries/th-TH/products/6074740474. [20 February 2020]

5. Shopee, 2020, Thung Kula Ronghai Jasmine Rice [Online], Available: https://shopee. co.th/. [20 February 2020]

6. Department of Foreign Trade, 2018, Information on Rice Production and Trade [Online], Available: http://www.thairiceinfo.go.th/?page=DataL3.ShowData&codeData=A1001. [26 June 2018]

7. Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2018, Agricultural Development Plan 2017 [Online], Available: http://planning.dld.go.th/th/images/stories/section-5/2560/strategy02.pdf. [26 June 2018]

8. Roiet Governor's Office, 2018, Roiet Provincial Development Plan 2018-2021 [Online], Available: http://www.roiet.go.th/2013/. [10 May 2018]

9. Surin Governor's Office, 2018, Surin Provincial Development Plan 2018-2021 [Online], Available: http://www.surin.go.th/. [10 May 2018]

10. Sisaket Governor's Office, 2018, Sisaket Provincial Development Plan 2018-2021 [Online], Available: http://www.sisaket.go.th/index1.php. [12 May 2018]

11. Maha Sarakham Governor's Office, 2018, Maha Sarakham Provincial Development Plan 2018-2021 [Online], Available: http://www.mahasarakham.go.th/. [14 May 2018]

12. Yasothon Governor's Office, 2018, Yasothon Provincial Development Plan 2018-2021 [Online], Available: http://www.yasothon.go.th/web/yaso_web.php. [14 May 2018]

13. Min, H. and Zhou, G., 2002, "Supply Chain Modeling: Past, Present and Future," *Computers and Industrial Engineering*, 43 (1), pp. 231-249.

14. Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M. and Vicens, E., 2010, "Mathematical Programming Models for Supply Chain Production and Transport Planning," *European Journal of Operational Research*, 204 (3),

pp. 377-390.

15. Huang, Y., Chen, C-W. and Fan, Y., 2010, "Multistage Optimization of The Supply Chains of Biofuels," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46 (6), pp. 820-830.

16. Thakur, M., Wang, L. and Hurburgh, C.R., 2010, "A Multi-objective Optimization Approach to Balancing Cost and Traceability in Bulk Grain Handling," *Journal of Food Engineering*, 101 (2), pp. 193-200.

17. Tanksale, A. and Jha, J., 2014, "Developing a Mathematical Model to Optimize Foodgrains Storage and Transport for Public Distribution System in India," *Manufacturing Excellence Imperative for Emerging Economics*, 12, pp. 305-312.

18. Galán-Martín, Á., Vaskan, P., Antón, A., Esteller, L.J. and Guillén-Gosálbez, G., 2017, "Multi-objective Optimization of Rainfed and Irrigated Agricultural Areas Considering Production and Environmental Criteria: A Case Study of Wheat Production in Spain," *Journal of Cleaner Production*, 140 (2), pp. 816-830.

19. He, P. and Li, J., 2020, "A Joint Optimization Framework for Wheat Harvesting and Transportation Considering Fragmental Farmlands," *Information Processing in Agriculture*, 7 (2), pp. 1-14.

20. Gholamian, M.R. and Taghanzadeh, A.H., 2017, "Integrated Network Design of Wheat Supply Chain: A Real Case of Iran," *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, pp. 139-147.

21. Bakhit, A. and Hashem, Z., 2016, "Building a Mathematical Model of the Transportation Problem under the Dynamics of Demand Restrictions with Practical Application," *Journal of Economics and Administrative Sciences*, 22 (91), pp. 353-366.

22. Asgari, N., Farahani, R.Z., Rashidi-Bajgan, H. and Sajadieh, M.S., 2013, "Developing Model-based Software to Optimise Wheat Storage and Transportation: A Real-world Application," *Applied Soft Computing*, 13 (2), pp. 1074-1084.

23. Mogale, D.G., Kumar, S.K., García Márquez, F. P. and Tiwari M. K., 2017, "Bulk Wheat Transportation and Storage Problem of Public Distribution System," *Computers and Industrial Engineering*, 104, pp. 80-97.

24. Bilgen, B. and Oakarahan, I., 2007, "A Mixed-integer Linear Programming Model for Bulk Grain Blending and Shipping," *International Journal of Production Economics*, 107 (2), pp. 555-571.

25. Gholamian, M. and Taghanzades, A., 2019, "An Integrated Bread Flour Supply Chain Model considering Import, Storage, Production and Distribution Planning," *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50 (1), pp. 65-78.

26. Ibrahim, H., El-Rayes, K. and Hashash, Y.M.A., 2015, "Optimizing the Storage and Transportation of Wheat in Developing Countries," *Applied Engineering in Agriculture*, 31 (4), pp. 669-678.

27. Supattananon, N. and Rattanawai, N., 2020, "Cultivation and Agricultural Products Distribution Short-term Planning with Mathematical Schedule Model to Increase Farmers' Revenue: A Case Study of the Farmers in Kao Kho District, Phetchabun Province," *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, 13 (1), pp. 89-101. (In Thai)

28. Render, B., Stair, R. and Hanna, M.E., 2012, Quantitative Analysis for Management, New Jersey, Prentice Hall.

29. Jamnarnwej, S., 2015, Quantitative Analysis, Witthayaphat, Bangkok.

30. Niammani, P., 2013, Resource Allocation Models, Bangkok, National Institute of Development Administration.

31. Comptroller General's Department, 2018, Guidelines and Details of the Calculation of the Middle Price for Construction Work [Online], Available: http://www.price.moc.go.th/ price/fileuploader/file_csi/price_stru_gov.pdf. [20 October 2019]