บทความวิจัย

ตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นเพื่อการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับเลี้ยงโคนม

ฐิติพร พลจันทึก และ โรจนี หอมชาลี*
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1974 0250 อีเมล: rojanee.h@msu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.03.001
รับเมื่อ 31 ตุลาคม 2567 แก้ไขเมื่อ 29 ธันวาคม 2567 ตอบรับเมื่อ 13 มกราคม 2568 เผยแพร่ออนไลน์ 3 มีนาคม 2568
© 2025 King Mongkut’s University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นเพื่อการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับเลี้ยงโคนม โดยมีวัตถุประสงค์ของตัวแบบเพื่อให้กำไรโดยรวมสูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขเกี่ยวกับปริมาณวัตถุดิบที่จัดหาได้ คุณค่าทางโภชนาการที่ต้องการ คุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิด ราคาวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิต ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ การสำรองสินค้าคงคลัง และความต้องการของลูกค้า โดยประมวลผลตัวแบบที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม LINGO จากผลการวิจัยพบว่า สถานประกอบการกรณีศึกษาควรใช้วัตถุดิบ 10 ชนิด ที่มีสัดส่วนแตกต่างกันในการผสมอาหารสัตว์ โดยสัดส่วนวัตถุดิบที่ใช้มากที่สุด คือ กากถั่วเหลือง มันสำปะหลัง ใบกระถินป่น และรำข้าว รวมถึงผลลัพธ์เกี่ยวกับการตัดสินใจผลิตและจัดเก็บสินค้าคงคลังในแต่ละเดือนภายในรอบ 1 ปี ของการวางแผนการผลิต ทำให้สถานประกอบการกรณีศึกษามีกำไรโดยรวมสูงที่สุด 6,217,715.98 บาท ซึ่งสูงกว่ากำไรที่เกิดจากการดำเนินงานตามแนวทางเดิม 24.23% นอกจากนี้งานวิจัยยังมีการวิเคราะห์ความไวของตัวแบบโดยผันแปรค่าพารามิเตอร์ที่คาดว่าอาจมีความผันผวนในอนาคต และอาจส่งผลต่อกำไรโดยรวมและค่าของตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งพบว่า เมื่อราคาจำหน่ายหรือปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้กำไรโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนการเพิ่มขึ้นของราคาวัตถุดิบโดยเฉพาะมันสำปะหลังและกากถั่วเหลือง จะทำให้กำไรโดยรวมลดลงอย่างมาก แต่การเพิ่มขึ้นของราคาวัตถุดิบผสมอาหารและต้นทุนการผลิต ส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อกำไรโดยรวม จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงทำให้ได้ผลเฉลยที่สามารถนำไปวางแผนการผลิตอาหารโคนมได้อย่างเหมาะสม และนำไปสู่การตัดสินใจเกี่ยวกับสัดส่วนการผสมวัตถุดิบ ปริมาณการผลิต และปริมาณสินค้าคงคลังที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา

คำสำคัญ: โคนม อาหารสัตว์ การวางแผนการผลิต การหาค่าเหมาะที่สุด ตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้น

การอ้างอิงบทความ: ฐิติพร พลจันทึก และ โรจนี หอมชาลี, “ตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นเพื่อการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับเลี้ยงโคนม,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 35, ฉบับที่ 4, หน้า 1–15, เลขที่บทความ 254-7715, ต.ค.–ธ.ค. 2568.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 35 ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2568
The Journal of KMUTNB., Vol. 35, No. 4, Oct.–Dec. 2025

Research Article

Non-linear Programming Model for Dairy Cattle Feed Production Planning

Thitiphorn Ponjantuk and Rojanee Homchalee*
Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 1974 0250, E–mail: rojanee.h@msu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.03.001
Received 31 October 2024; Revised 29 December 2024; Accepted 13 January 2025; Published online: 3 March 2025
© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research applied a nonlinear programming model to plan feed production for dairy cattle. The model objective is to maximize total profit subject to the constraints of the amount of available raw materials, required nutritional value, nutritional value of each type of raw material, raw material prices, production costs, product selling prices, safety stock, and customer demand. The developed model was processed using the LINGO program. The results show that the case study should use 10 raw materials in various proportions to mix dairy cattle feed. The most used raw materials are soybean meal, cassava, powdered mimosa leaves, and rice bran. The results also include information on production and inventory decisions for each month of the annual production planning. In addition, the model sensitivity was analyzed by varying the parameters that are expected to affect total profit and decision variables. The results showed that the case study establishment had the highest total profit of 6,217,715.98 baht, which was 24.23% higher than the profit from the original operation. In addition, the research also provides sensitivity analysis of the model by varying the parameters that are expected to fluctuate in the future and may affect the overall profit and the values of the decision variables. It was found that when the selling price or demand increased, the total profit would increase significantly. As for the increase in the price of raw materials, especially cassava and soybean meal, the total profit would decrease significantly. However, the increase in the price of food ingredients and production costs had only a slight impact on the total profit. Therefore, the research results provide solutions for production planning of dairy cattle feed appropriately, leading to decisions about raw material mixing ratios, production volume, and inventory volume that are consistent with the customers demand in each period.

Keywords: Dairy Cattle, Feed, Production Planning, Optimization, Non-linear Programming Model

Please cite this article as: T. Ponjantuk and R. Homchalee, "Non-linear programming model for dairy cattle feed production planning," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 4, pp. 1–15, ID. 254-7715, Oct.–Dec. 2025 (in Thai).

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารสัตว์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ โดยเป็นแหล่งสร้างรายได้และสร้างงานให้กับประชาชนจำนวนมาก นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ยังเป็นอุตสาหกรรมที่เชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมการเกษตรและอุตสาหกรรมปศุสัตว์อย่างใกล้ชิด เมื่อเกิดปัญหาในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เช่น ปริมาณวัตถุดิบการเกษตรไม่เพียงพอต่อความต้องการ การขาดแคลนวัตถุดิบการเกษตรในบางฤดูกาล ราคาวัตถุดิบการเกษตรเพิ่มสูงขึ้น หรือวัตถุดิบการเกษตรไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้น ย่อมนำไปสู่ปัญหาของอุตสาหกรรมการผลิต เช่น ผลผลิตและผลิตภัณฑ์จากสัตว์มีราคาแพง คุณภาพต่ำ ไม่ปลอดภัยและไม่เพียงพอ [1] จากความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้อุตสาหกรรมอาหารสัตว์มีแนวโน้มเติบโตอย่างรวดเร็ว และทำให้อุตสาหกรรมการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [2]

อาหารสำหรับโคซึ่งเป็นปศุสัตว์สำคัญของไทย แบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ 1) อาหารหยาบ เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด กากมันสำปะหลัง กากน้ำตาลหรือพืชตะกูลถั่ว เช่น กระถิน ถั่วลิสงเถา 2) อาหารข้น เป็นอาหารที่มีความเข้มข้นทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีน มีเส้นใยต่ำ เมื่อสัตว์กินเข้าไปสามารถย่อยได้ง่าย ได้แก่ รำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง กากปาล์ม ข้าวโพดบด เป็นต้น 3) อาหารผสมสำเร็จรูป (Total Mixed Ration; TMR) เป็นการนำอาหารหยาบและอาหารข้นมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม และ 4) แร่ธาตุเสริม นิยมใช้เป็นแบบแร่ธาตุก้อนและแร่ธาตุผง [3] อาหารที่ใช้ขุนโคมีทั้งอาหารหยาบและอาหารข้น อัตราส่วนระหว่างอาหารทั้งสองประเภทนั้นขึ้นอยู่กับอายุและสภาพของโค และระยะเวลาของการขุน [4]

ข้อมูลจากสมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2543–2566 พบว่า อาหารสัตว์สำหรับโคนมมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี ใน พ.ศ. 2566 จะมีความต้องการมากถึง 1.25 ล้านตัน ในขณะที่อาหารโคเนื้อมีความต้องการ 0.50 ล้านตัน [5] จากสถิติปริมาณความต้องการอาหารสัตว์ที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี การวางแผนการผลิตจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการนำมาใช้

การวางแผนการผลิต เป็นการวางแผนในการจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เช่น แรงงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ เพื่อให้ผลการผลิตบรรลุตามเป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้จากความต้องการของลูกค้า การวางแผนการผลิตมีทั้งแผนการผลิตระยะสั้นและแผนการผลิตระยะยาว แผนการผลิตระยะยาวส่วนมากจะเป็นไปในลักษณะของการลงทุนเพื่อรองรับการเติบโตของธุรกิจในอนาคต เช่น การวางแผนการสร้างหรือการขยายโรงงาน การซื้อเครื่องจักร การวางแผนด้านบุคลากร แผนการผลิตระยะยาวนี้ส่วนมากจะมีระยะเวลาเกิน 1 ปี โดยจะเน้นไปที่การเพิ่มกำลังการผลิตและการขยายกิจการ ส่วนแผนการผลิตระยะสั้นจะเป็นการวางแผนตามช่วงเวลาต่าง ๆ ภายใน 1 ปี เช่น แผนการผลิตประจำวัน แผนการผลิตประจำสัปดาห์ แผนการผลิตประจำเดือน หรือแผนการผลิตประจำไตรมาส เป็นต้น การวางแผนการผลิตระยะสั้นนี้จะมีการกำหนดเป้าหมายที่จัดเจน ซึ่งจะถูกคำนวณจากกำลังการผลิตที่มีอยู่ โดยมีการเฝ้าติดตามและควบคุมสถานะและระดับของการผลิตให้ยังคงอยู่ในแผนการผลิตตามระยะเวลา [6], [7]

โดยทั่วไปการวางแผนการผลิตจะใช้หลักการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) ด้วยการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) ซึ่งอาจเป็นการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming; LP) การโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming; IP) การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming; MILP) การโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Non-linear Programming; NLP) หรือการโปรแกรมจำนวนเต็มไม่เชิงเส้น (Integer Nonlinear Programming; INLP) เป็นต้น [8]

ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) เป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กับปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดในการดำเนินงานต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด เช่น การจัดสรรวัตถุดิบสำหรับการผลิต การวางแผนการผลิต เป็นต้น โดยทั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขเป็นฟังก์ชันเส้นตรง และตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าเป็นจำนวนจริงแบบต่อเนื่อง สามารถแก้ปัญหาตัวแบบด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) สำหรับตัวแบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (IP) เป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ตัวแปรตัดสินใจ

มีค่าเป็นจำนวนเต็ม ซึ่งโดยทั่วไปจะประยุกต์ใช้กับปัญหาการขนส่ง ปัญหาการมอบหมายงาน ปัญหาเลือกลงทุน เป็นต้น เทคนิคที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาเหล่านี้มีหลายแบบ แต่ละแบบจะเหมาะสมกับลักษณะของปัญหาหนึ่ง ๆ เช่น ใช้วิธีการขนส่ง (Transportation Method) กับปัญหาการขนส่งและกระจายสินค้า หรือใช้วิธีแจงนับ (Implicit Enumeration) กับปัญหาการเลือกโครงการลงทุน เป็นต้น ส่วนตัวแบบที่เรียกว่า การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เป็นตัวแบบของปัญหาที่ตัวแปรตัดสินใจบางตัวมีค่าแบบต่อเนื่องและบางตัวมีค่าเป็นจำนวนเต็ม [6]–[8]

สำหรับตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (NLP) เป็นการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้หาคำตอบกรณีที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือสมการเงื่อนไขบางสมการเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเส้นตรง ตัวแบบประเภทนี้มักจะประยุกต์ใช้กับปัญหาทางด้านการพยากรณ์ การกำหนดการผลิต การควบคุมสินค้าคงคลัง เป็นต้น การหาคำตอบของการโปรแกรมที่ไม่เชิงเส้นมีความยุ่งยากและใช้เวลานานกว่าการโปรแกรมเชิงเส้น อีกทั้งไม่มีอัลกอริทึมใดโดยเฉพาะที่จะนำมาใช้หาคำตอบ แต่อัลกอริทึมจำนวนมากถูกปรับปรุงจนเป็นที่ยอมรับและถูกนำไปใช้อย่างได้ผลในทางปฏิบัติ [6]–[8] นอกจากนี้ยังมีตัวแบบการโปรแกรมจำนวนเต็มไม่เชิงเส้น (INLP) เป็นตัวแบบที่มีการกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนเต็ม และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ใช่เส้นตรง โดยทั่วไปแล้ว INLP จะถูกนำมาใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิต การวางแผนทรัพยากร การวางแผนการเงิน การวางแผนการลงทุน และงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบหรือเครื่องจักรที่มีการกำหนดค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม อย่างไรก็ตาม การแก้ไขปัญหา INLP เป็นงานที่ยากและจำเป็นต้องใช้วิธีการคำนวณที่มีความซับซ้อน ซึ่งอาจต้องใช้เมตะฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) หรือใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก [9]

มีงานวิจัยหลากหลายที่ประยุกต์ใช้การโปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิต เช่น Bootwisas และคณะ [10] ดำเนินการวิจัยเพื่อวางแผนการผลิตผงมะรุม โดยใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดและสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ผลลัพธ์ของตัวแบบช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ 7.06% ในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ และลดได้ถึง 14.30% ในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง Winitchaiy และ Homchalee [11] ประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ของไทย โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรโดยรวมสูงที่สุด ผลการวิจัยสามารถตัดสินใจได้เหมาะสมเกี่ยวกับสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิธรรมดาและข้าวหอมมะลิอินทรีย์ การเลือกประเภทรถบรรทุกสำหรับการขนส่งข้าวเปลือกไปยังโรงสี การสต็อกข้าวเปลือก การสีข้าว และการกระจายข้าวสารไปยังแหล่งรับซื้อ โดยผลเฉลยที่ได้จากตัวแบบทำให้เกิดกำไรสูงสุดของโซ่อุปทานเท่ากับ 1,092 ล้านบาท

Sukmok [12] ประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาสูตรอาหารผสมสำหรับไก่ไข่เล็ก ให้ได้สูตรอาหารที่มีคุณค่าของสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการของไก่ไข่และมีต้นทุนต่ำ Midevan และ Sudasna-Na-Ayudthya [13] นำตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจบริหารจัดการคลังวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารสัตว์ให้มีต้นทุนรวมของระบบต่ำที่สุดและไม่ทำให้เกิดสินค้าขาดแคลน โดยการกำหนดช่วงเวลาในการสั่งซื้อและปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม ภายใต้ความผันผวนของอุปสงค์และราคาของวัตถุดิบในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงความผันผวนของเวลานำในการสั่งซื้อวัตถุดิบจากแต่ละแหล่ง

Irawan และคณะ [14] วิจัยเพื่อวางแผนโซ่อุปทานสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ด้วยการโปรแกรมไม่เชิงเส้น เป็นการวางแผนการผลิตที่พิจารณาระยะเวลา รวมถึงความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ ความสามารถในการจัดหาวัตถุดิบ และความผันแปรของแหล่งวัตถุดิบ ทำให้มีการตัดสินใจที่เหมาะสมเกี่ยวกับปริมาณและเวลาในการผลิต Porchelvi และคณะ [15] ประยุกต์การโปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหาสูตรอาหารเสริมสำหรับปลานิลและปรับปรุงสูตรอาหารให้เหมาะสมเพื่อให้ต้นทุนวัตถุดิบโดยรวมต่ำ

ที่สุด แต่สอดคล้องกับความต้องการทางด้านโภชนาการ ส่วน Csikai [16] ดำเนินการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการจัดการโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การผลิตอาหารสัตว์คุณภาพสูงเพื่อตลาดแบบมุ่งเป้า โดยพิจารณาความแปรปรวนของคุณลักษณะด้านคุณภาพของส่วนผสมภายใต้ต้นทุนรวมน้อยที่สุด โดยใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นและการโปรแกรมสโตแคสติก

จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตได้อย่างเหมาะสม โดยพิจารณาการโปรแกรมประเภทต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับรูปแบบการผลิตรวมถึงเงื่อนไขข้อจำกัดของแต่ละปัญหาการผลิตนั้น ๆ

จังหวัดมหาสารคามมีการเลี้ยงปศุสัตว์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการเลี้ยงโคซึ่งเป็นปศุสัตว์สำคัญที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับจังหวัด มีเกษตรกรผู้เลี้ยงถึง 65,516 ราย แบ่งเป็นประเภทโคเนื้อ 65,271 ราย โคนม 245 ราย [17] และมีสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ส่งเสริมการเลี้ยงโคนมให้มีคุณภาพ ให้คำปรึกษาในการเลี้ยงและดูแลโคนม รวมถึงการรับซื้อน้ำนมดิบจากสมาชิกเพื่อนำมาผลิตเป็นนมพร้อมดื่ม หรือการรวบรวมน้ำนมดิบเพื่อส่งต่อให้โรงงานขนาดใหญ่ และการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนม สำหรับสถานประกอบการกรณีศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ เป็นสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดมหาสารคาม ก่อตั้งมานานมากกว่า 25 ปี มีพันธกิจในการส่งเสริมการเลี้ยงโคนมให้มีคุณภาพดีและมีปริมาณเพิ่มขึ้น รวมถึงบริหารจัดการเพื่อตอบสนองความต้องการของสมาชิกตามหลักธรรมาภิบาล หน่วยงานมีสมาชิกเกษตรกร 106 ราย จำนวน 95 ฟาร์ม พื้นที่เลี้ยงประมาณ 700 ไร่ และจำนวนโคนมประมาณ 4,700 ตัว [18] ในส่วนของการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนม หน่วยงานเริ่มผลิตและจำหน่ายอาหารสัตว์สำหรับโคนมในเชิงพาณิชย์ให้แก่สมาชิกใน พ.ศ. 2566 และเนื่องจากอยู่ในระยะเริ่มต้นของการผลิต ทำให้การวางแผนการผลิตยังไม่เป็นระบบเท่าที่ควร จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ฝ่ายผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนมอาศัยเพียงประสบการณ์ในการทำงาน การกำหนดปริมาณการผลิตและปริมาณสินค้าคงคลังยังไม่สมดุลกับปริมาณความต้องการ รวมถึงไม่ได้ควบคุมต้นทุนและกำไรที่เหมาะสม ทำให้เกิดปัญหาในด้านปริมาณการจัดหาวัตถุดิบ ปริมาณการผลิต และปริมาณสินค้าคงคลังที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา

จากปัญหาข้างต้น สถานประกอบการกรณีศึกษามีความประสงค์ให้การวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนมมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยจึงเสนอการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาเป็นเครื่องมือในการวางแผนการผลิตเพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์ และนำตัวแบบที่พัฒนาได้ไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนมของผู้ประกอบการกรณีศึกษา ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลและทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับอาหารสัตว์และการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนม และเก็บรวบรวมข้อมูลของกรณีศึกษา โดยเฉพาะวิธีการดำเนินงานและข้อมูลการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนม ได้แก่ กระบวนการและขั้นตอนการผลิต วัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณและรูปแบบการจัดหาวัตถุดิบ ราคาวัตถุดิบ ราคาจำหน่ายและความต้องการผลิตภัณฑ์ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการผลิต

จากข้อมูลที่ได้ดังกล่าว ผู้วิจัยนำมาออกแบบและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับวางแผนการผลิตอาหารสัตว์ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้กำไรโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับบริบทและความต้องการของกรณีศึกษา เพื่อให้สามารถตัดสินใจเกี่ยวกับสัดส่วนวัตถุดิบแต่ละชนิดสำหรับผสมอาหารสัตว์ ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ผลิต ปริมาณการผลิต ปริมาณการจำหน่าย และปริมาณสินค้าคงคลังผลิตภัณฑ์ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดเพื่อให้ได้คุณค่าทางโภชนาการแต่ละประเภทตามข้อกำหนด และมีผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์สำหรับโคนมในแต่ละเดือนที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าที่เป็นสมาชิก

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการประมวลผลตัวแบบที่พัฒนาขึ้นนั้น ผู้วิจัยได้รวบรวมจากค่ามาตรฐานของสำนัก

พัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ และสมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย รวมถึงข้อมูลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ร่วมกับผู้ประกอบการกรณีศึกษา

ในการหาผลเฉลยของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยใช้โปรแกรม LINGO (Optimization Modeling Software for Linear, Nonlinear, and Integer Programming) ซึ่งพัฒนาโดย LINDO Systems, Inc. เป็นโปรแกรมสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) เพื่อแก้ปัญหาของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ทั้งตัวแบบ Linear, Non-linear, Quadratic, Quadratically Constrained, Second Order Cone, Semi-Definite, Stochastic และ Integer Optimization Models สามารถสร้างตัวแบบและหาคำตอบของตัวแบบได้เร็วและมีประสิทธิภาพ ทั้งในปัญหาขนาดเล็กและขนาดใหญ่ [19], [20]

ผู้วิจัยได้ทดสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น โดยเทียบผลเฉลยของตัวแบบที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO กับผลการดำเนินงานจริงของกรณีศึกษา นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยผันแปรค่าพารามิเตอร์ที่อาจมีความผันผวนหรือเปลี่ยนแปลงขึ้นลงได้ในอนาคต เช่น ราคาวัตถุดิบ ความต้องการ ต้นทุนการผลิต เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าของตัวแปรตัดสินใจ

3. ผลการทดลอง

3.1 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

จากการทบทวนวรรณกรรมด้านการวิเคราะห์เชิงปริมาณและการวิจัยดำเนินงานเกี่ยวกับการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับส่วนผสมการผลิต (Ingredient Blending) และการวางแผนการผลิต (Production Planning) [6]–[8] และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [12]–[15] ที่มีการขยายและพัฒนาตัวแบบให้สอดคล้องกับบริบทในการผลิตสินค้าต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำแนวทางดังกล่าวมาดำเนินการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อการตัดสินใจที่เหมาะสมในการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนม ซึ่งพบว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (1) รวมถึงเงื่อนไขข้อจำกัดดังสมการที่ (4) และ (5) เป็นฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Functions) จึงเลือกวิธีการแก้ปัญหาตัวแบบด้วยการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (NLP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้กำไรโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งมีดัชนี ตัวแปรตัดสินใจ พารามิเตอร์ และโครงสร้างของตัวแบบ ดังนี้

ดัชนี (Indexes)

i แทน ประเภทของวัตถุดิบอาหารสัตว์

j แทน ประเภทของคุณค่าทางโภชนาการ

t แทน เวลา

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

A_i แทน สัดส่วนวัตถุดิบชนิดที่ i สำหรับการผสมอาหารสัตว์สำหรับโคนมต่อกิโลกรัม

X_t แทน ปริมาณการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนมในช่วงเวลาที่ t (กิโลกรัม)

Y_{it} แทน ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่ใช้ผลิตในช่วงเวลาที่ t (กิโลกรัม)

Q_t แทน ปริมาณการจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์สำหรับโคนมในช่วงเวลาที่ t (กิโลกรัม)

IN_t แทน ปริมาณสินค้าคงคลังผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์สำหรับโคนมในช่วงเวลาที่ t (กิโลกรัม)

พารามิเตอร์ (Parameters)

S_{it} แทน ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่จัดหาได้ ในช่วงเวลาที่ t (กิโลกรัม)

N_j แทน ข้อกำหนดของคุณค่าทางโภชนาการประเภทที่ j ของผลิตภัณฑ์อาหารโคนม

F_{ij} แทน คุณค่าทางโภชนาการประเภทที่ j ที่ได้จากวัตถุดิบชนิดที่ i

H_{it} แทน ราคาวัตถุดิบชนิดที่ i ในช่วงเวลาที่ t (บาท/กิโลกรัม)

C แทน ต้นทุนการผลิต (บาท/กิโลกรัม)

P แทน ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์สำหรับโคนม (บาท/กิโลกรัม)

D_t แทน ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับโคนมในช่วงเวลาที่ t (กิโลกรัม)

SS_t แทน สินค้าคงคลังสำรองของผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับโคนมในช่วงเวลาที่ t (กิโลกรัม)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\textit{Maximize Profit} = \sum_{t=1}^{T} PQ_t - \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} H_{it}A_iY_{it} - \sum_{t=1}^{T} CX_t \qquad (1)$$

เงื่อนไขจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{I} A_iF_{ij} \ge N_j \qquad ;\forall j \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{I} A_iF_{ij} \le N_j \qquad ;\forall j \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{I} A_iY_{it} = X_t \qquad ;\forall t \qquad (4)$$

$$A_iY_{it} \le S_{it} \qquad ;\forall i, \forall t \qquad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{I} A_i = 1 \qquad (6)$$

$$Q_t \ge D_t \qquad ;\forall t \qquad (7)$$

$$IN_t = IN_{t-1} + X_t - Q_t \qquad ;\forall t \qquad (8)$$

$$IN_t \ge SS_t \qquad ;\forall t \qquad (9)$$

$$A_i \ge 0 \qquad ;\forall i \qquad (10)$$

$$X_t \ge 0 \qquad ;\forall t \qquad (11)$$

$$Y_{it} \ge 0 \qquad ;\forall i, \forall t \qquad (12)$$

$$Q_t \ge 0 \qquad ;\forall t \qquad (13)$$

$$IN_t \ge 0 \qquad ;\forall t \qquad (14)$$

สมการที่ (1) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งพิจารณาจากรายรับในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ ลบออกด้วยต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนการผลิต โดยรายรับคำนวณจากผลรวมของผลคูณระหว่างราคาจำหน่ายกับปริมาณการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ ต้นทุนวัตถุดิบคำนวณจากผลรวมของผลคูณระหว่างราคาวัตถุดิบกับสัดส่วนวัตถุดิบแต่ละชนิดสำหรับการผสมอาหารสัตว์ต่อกิโลกรัมและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และต้นทุนการผลิตคำนวณจากผลรวมของผลคูณระหว่างต้นทุนการผลิตต่อหน่วยกับปริมาณการผลิต สมการที่ (2) และ (3) แสดงคุณค่าทางโภชนาการแต่ละประเภทที่ได้จากวัตถุดิบทุกชนิดรวมกัน ซึ่งต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าขั้นต่ำและไม่เกินค่าสูงสุดของข้อกำหนดทางโภชนาการนั้น ๆ ตามลำดับ สมการที่ (4) แสดงปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคูณกับสัดส่วนวัตถุดิบ ซึ่งรวมแล้วต้องเท่ากับปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน สมการที่ (5) แสดงปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคูณกับสัดส่วนวัตถุดิบสำหรับการผสม ต้องมีค่าไม่เกินปริมาณวัตถุดิบที่จัดหาได้ ส่วนสมการที่ (6) เป็นสัดส่วนวัตถุดิบสำหรับการผสม ซึ่งรวมทุกชนิดแล้วต้องมีค่าเท่ากับ 1 สมการที่ (7) เป็นปริมาณการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องมีค่าไม่น้อยกว่าปริมาณความต้องการในแต่ละเดือน สมการที่ (8) แสดงสมดุลปริมาณสินค้าคงคลังผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ในแต่ละเดือน สมการที่ (9) เป็นปริมาณสินค้าคงคลังผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือน ซึ่งต้องไม่น้อยกว่าปริมาณสินค้าคงคลังสำรอง และสมการที่ (10)–(14) เป็นสมการแสดงค่าตัวแปรตัดสินใจซึ่งต้องมีค่าไม่ติดลบ

3.2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

ตัวแบบ NLP ที่พัฒนาขึ้นเพื่อวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนมในงานวิจัยนี้ กำหนดระยะการวางแผน 1 ปี และตัดสินใจเป็นรายเดือนจำนวน 12 เดือน ซึ่งเป็นระยะการวางแผนการผลิตที่สอดคล้องกับการดำเนินงานและความต้องการของหน่วยงานกรณีศึกษา พารามิเตอร์ของ

รูปที่ 1 วัตถุดิบสำหรับผสมอาหารสัตว์โคนม

ตัวแบบประกอบด้วย วัตถุดิบ 10 ชนิด ได้แก่ ใบกระถินป่น มันสำปะหลัง ข้าวโพดบด รำข้าว กากปาล์มเนื้อใน กากมะพร้าว กากถั่วเหลือง รำสาลี กากน้ำตาล วัตถุดิบผสมอาหาร ดังรูปที่ 1 ซึ่งวัตถุดิบทั้ง 10 ชนิดดังกล่าวเป็นวัตถุดิบที่หน่วยงานกรณีศึกษาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนมอยู่ในปัจจุบัน โดยอ้างอิงราคาจากสมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย [5] และพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการ 6 ชนิดจากสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ [2] ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีน TDN ไขมัน เยื่อใย และเถ้า รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการแต่ละประเภทที่ได้จากแต่ละวัตถุดิบ [2], [3] สำหรับค่าพารามิเตอร์ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่จัดหาได้ ต้นทุนการผลิต ราคาจำหน่ายและปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือน ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานกรณีศึกษา โดยแต่ละพารามิเตอร์จำแนกตามดัชนี และมีค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด ดังตารางที่ 1

ส่วนค่าพารามิเตอร์ปริมาณสินค้าคงคลังสำรอง (SS) ได้จากการวิเคราะห์โดยพิจารณาเมื่อความต้องการมีความผันแปรแต่เวลานำคงที่ [6]–[8] ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ของกรณีศึกษา จึงคำนวณด้วยสมการที่ (15)

$$SS = Z\sigma_D \sqrt{L} \tag{15}$$

เมื่อ SS คือ ปริมาณสินค้าคงคลังสำรอง

L คือ รอบเวลาหรือเวลานำ

σ_D คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการ

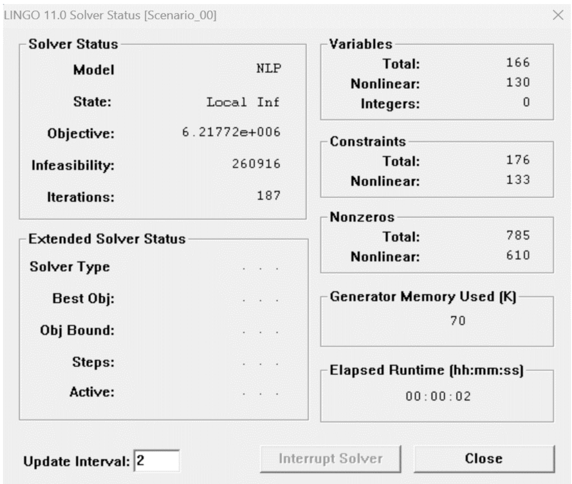
Z คือ ค่าปกติมาตรฐานที่แสดงระดับการให้บริการ (กำหนดระดับการให้บริการ 95% ซึ่ง $Z = 1.645$)

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	ที่มา
ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่จัดหาได้	2,320–31,100	กก.	กรณีศึกษา
ข้อกำหนดของคุณค่าทางโภชนาการแต่ละประเภท	3–80	%	[2]
คุณค่าทางโภชนาการแต่ละประเภทที่ได้จากแต่ละวัตถุดิบ	0.8–96.5	%	[2], [3]
ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด	7.18–22.57	บาท/กก.	[5]
ต้นทุนการผลิต	0.71–0.92	บาท/กก.	กรณีศึกษา
ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์	12.00–12.80	บาท/กก.	กรณีศึกษา
ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์	90,751–149,766	กก.	กรณีศึกษา
สินค้าคงคลังสำรองของผลิตภัณฑ์	7,503.38	กก.	คำนวณ

3.3 ผลเฉลยของตัวแบบ

จากค่าพารามิเตอร์ที่รวบรวมได้ ผู้วิจัยได้นำมาประมวลผลตัวแบบ NLP ที่พัฒนาขึ้น ด้วยโปรแกรม LINGO 11.0 ภายใต้



รูปที่ 2 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 11.0

ขนาดของปัญหาที่มี 166 ตัวแปร และสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 176 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 2 วินาที ดังรูปที่ 2

ผลจากการวิเคราะห์พบว่า มีกำไรโดยรวมสูงที่สุด 6,217,715.98 บาท และทำให้ได้ผลเฉลยสัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบแต่ละชนิดในการผสมอาหารสัตว์ต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่า วัตถุดิบที่มีสัดส่วนการใช้มากที่สุด คือ กากถั่วเหลือง สัดส่วน 0.424247 รองลงมา คือ มันสำปะหลัง ใบกระถินป่น และรำข้าว สัดส่วน 0.273952, 0.191975, และ 0.108574 ตามลำดับ ส่วนวัตถุดิบที่มีสัดส่วนการใช้น้อยที่สุด คือ วัตถุดิบผสมอาหาร สัดส่วน 0.000007 และ รำสาลี สัดส่วน 0.000010 ดังตารางที่ 2

นอกจากนี้ยังพบว่า เดือนที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุด คือ เดือนมิถุนายน 352,342 กิโลกรัม รองลงมา คือ เดือนมกราคม 282,816 กิโลกรัม และเดือนที่มีปริมาณการผลิตน้อยที่สุด คือ เดือนธันวาคม 90,751 กิโลกรัม เดือนที่มีปริมาณการจำหน่ายมากที่สุด คือ เดือนกรกฎาคม 149,766 กิโลกรัม รองลงมา คือ เดือนมิถุนายน 141,906 กิโลกรัม และเดือนที่มีปริมาณการจำหน่ายน้อยที่สุด คือ เดือนธันวาคม 90,751 กิโลกรัม เดือนที่มีปริมาณสินค้าคงคลังมากที่สุด คือ เดือนมิถุนายน 217,940 กิโลกรัม รองลงมา คือ เดือนกรกฎาคม 159,110 กิโลกรัม และเดือนที่มีปริมาณสินค้าคงคลังน้อยที่สุด คือ เดือนพฤษภาคม พฤศจิกายน และธันวาคม จำนวน 7,503 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3

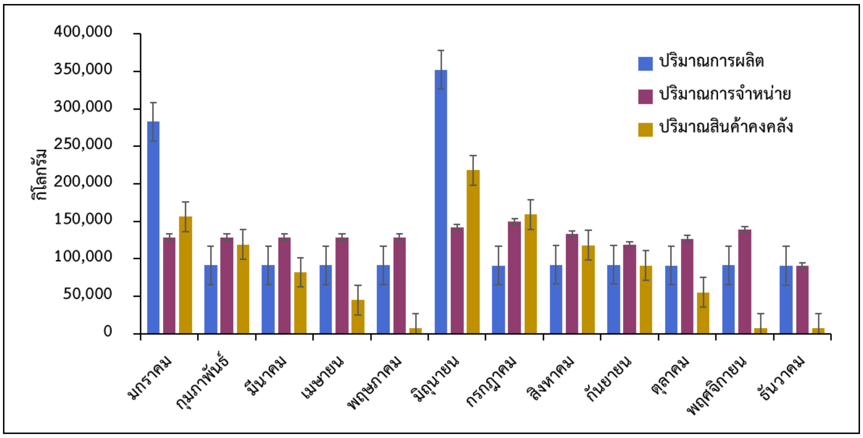
ตารางที่ 2 ผลเฉลยของตัวแบบแสดงสัดส่วนวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผสมอาหารสัตว์ต่อกิโลกรัม

ลำดับ	วัตถุดิบ	สัดส่วนวัตถุดิบ
1	ใบกระถินป่น	**0.191975**
2	มันสำปะหลัง	**0.273952**
3	ข้าวโพดบด	0.000388
4	รำข้าว	**0.108574**
5	กากปาล์มเนื้อใน	0.000073
6	กากมะพร้าว	0.000225
7	กากถั่วเหลือง	**0.424247**
8	รำสาลี	0.000010
9	กากน้ำตาล	0.000548
10	วัตถุดิบผสมอาหาร	0.000007

3.4 ผลการวิเคราะห์ความไวของตัวแบบ

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความไวของตัวแบบ โดยการผันแปรค่าพารามิเตอร์ที่อาจมีความผันผวนหรือเปลี่ยนแปลงขึ้นลงได้ในอนาคต ได้แก่ ข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการ ราคาวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิต ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ และปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าของตัวแปรตัดสินใจ

ในการวิเคราะห์ความไวโดยการผันแปรค่าพารามิเตอร์ข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการ มีการเปรียบเทียบ 3 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ 1 ข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการตามค่ามาตรฐานของสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ซึ่งเป็นสถานการณ์กรณีฐานของการประมวลผลตัวแบบ สถานการณ์ 2 ข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการเฉลี่ยซึ่งได้จากการทดลองสูตรผสมอาหารสัตว์ของสถานประกอบการกรณีศึกษา โดยควบคุมไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการที่ผลิตได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และสถานการณ์ 3 ข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการที่อ้างอิงจากงานวิจัยของ Irawan และคณะ [14] เป็นการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคเนื้อและ



รูปที่ 3 ผลเฉลยของตัวแบบแสดงปริมาณการผลิต ปริมาณการจำหน่าย และปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสม

โคนมของประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมีรูปแบบการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคที่ใกล้เคียงกับของประเทศไทย ผลจากการวิเคราะห์ความไวดังกล่าวพบว่า สถานการณ์ 2 ทำให้มีกำไรรวมสูงที่สุด 6,329,315.01 บาท ซึ่งมากกว่า สถานการณ์ 1 และสถานการณ์ 3 ดังตารางที่ 3

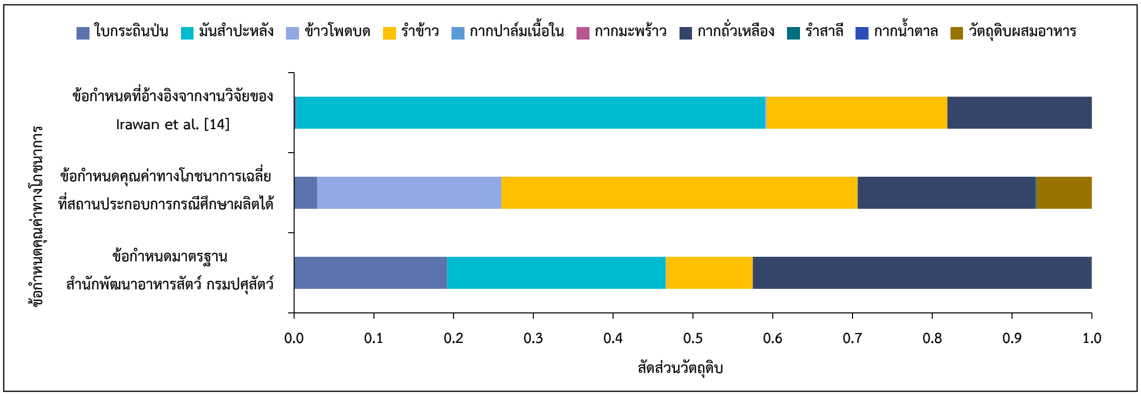
ตารางที่ 3 กำไรโดยรวมสูงที่สุด เมื่อผันแปรค่าพารามิเตอร์ข้อกำหนดของคุณค่าทางโภชนาการ

สถานการณ์	ข้อกำหนดของคุณค่าทางโภชนาการ	กำไรโดยรวมสูงที่สุด (บาท)
1	ข้อกำหนดมาตรฐานของสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์	6,217,715.98
2	ข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการเฉลี่ยที่กรณีศึกษาผลิตได้	6,329,315.01
3	ข้อกำหนดที่อ้างอิงจากงานวิจัยของ Irawan และคณะ [14]	6,217,653.22

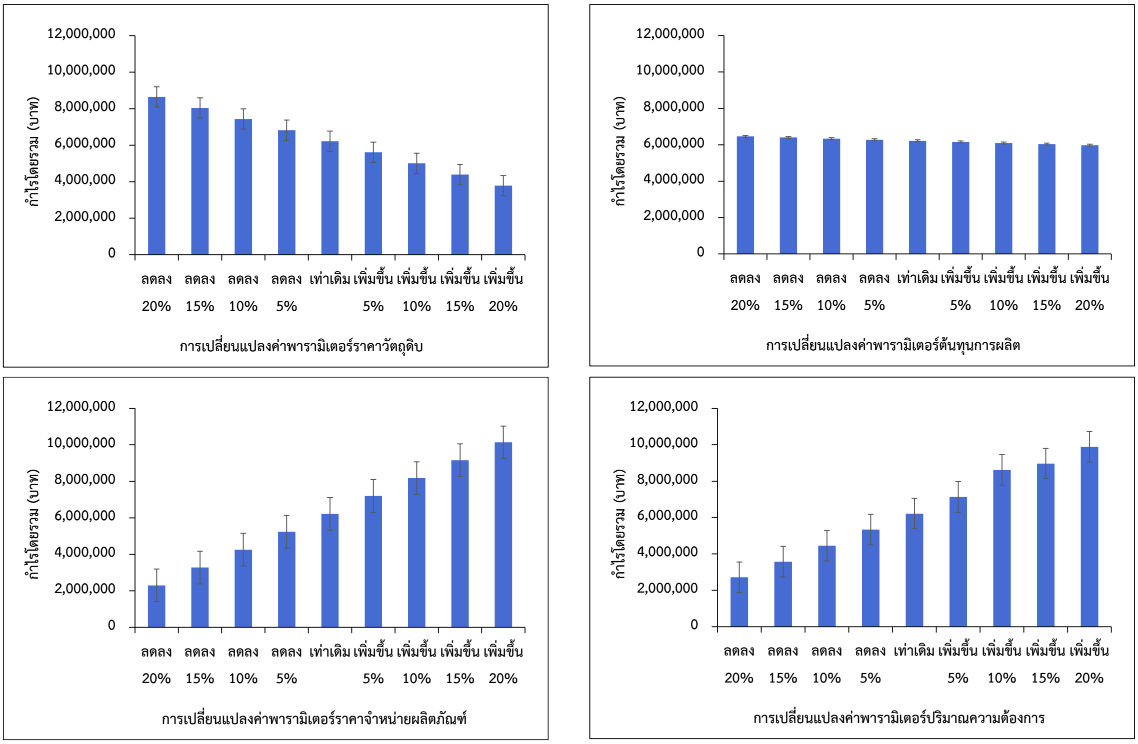
นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบสัดส่วนวัตถุดิบเมื่อผันแปรข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการทั้ง 3 สถานการณ์ พบว่า เมื่อคุณค่าทางโภชนาการมีข้อกำหนดตามสถานการณ์ 1 วัตถุดิบที่ใช้มากที่สุด คือ กากถั่วเหลือง สัดส่วน 0.424247 สถานการณ์ 2 วัตถุดิบที่ใช้มากที่สุด คือ รำข้าว สัดส่วน 0.446440 และสถานการณ์ 3 วัตถุดิบที่ใช้มากที่สุด คือ มันสำปะหลัง สัดส่วน 0.587448 ตามลำดับ สำหรับสัดส่วนของวัตถุดิบชนิดอื่น แสดงดังรูปที่ 4

สำหรับการวิเคราะห์ความไวของกำไรโดยรวมเมื่อผันแปรค่าพารามิเตอร์ราคาวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิต ราคาจำหน่าย และความต้องการผลิตภัณฑ์ โดยผันแปรค่าพารามิเตอร์ให้เพิ่มขึ้นและลดลง 4 ระดับ คือ 5% 10% 15% 20% ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 5 ซึ่งพบว่า เมื่อผันแปรให้ราคาวัตถุดิบทุกชนิดเพิ่มขึ้น 5% จะทำให้กำไรลดลงเหลือ 5,609,813.25 บาท ซึ่งลดลง 9.78% และหากราคาวัตถุดิบทุกชนิดเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่สูงขึ้น จะทำให้กำไรโดยรวมลดลงอย่างต่อเนื่อง กรณีพิจารณาการผันแปรต้นทุนการผลิตพบว่า เมื่อต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น 5% จะทำให้กำไรโดยรวมลดลง 0.97% และหากต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นถึง 20% จะทำให้กำไรโดยรวมลดลงเพียง 3.89% ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการผลิตเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับต้นทุนวัตถุดิบ จึงไม่ส่งผลอย่างชัดเจนต่อกำไรโดยรวม กรณีพิจารณาการผันแปรของราคาจำหน่ายและปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์พบว่าหากราคาจำหน่ายและปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจะทำให้กำไรโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างมากและชัดเจน

จากผลกระทบของราคาวัตถุดิบในภาพรวมที่ส่งผลกระทบต่อกำไรโดยรวมดังกล่าว เมื่อพิจารณาเฉพาะราคาวัตถุดิบ 3 ชนิด ได้แก่ มันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และวัตถุดิบ

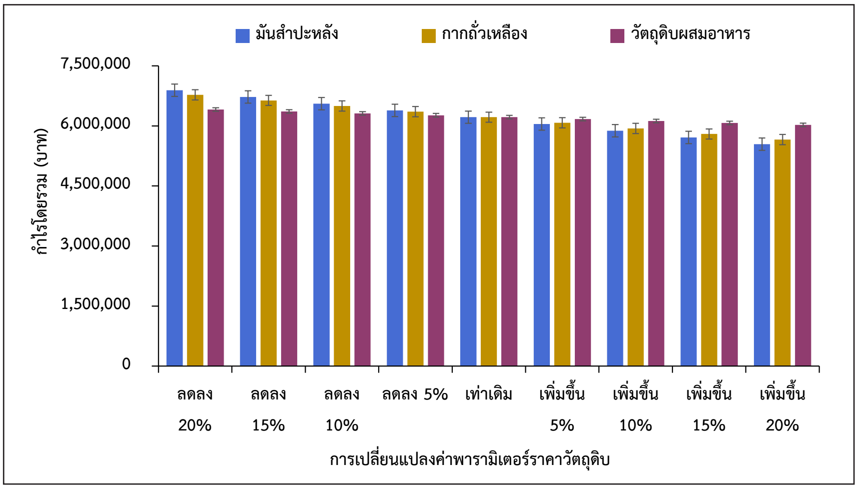


รูปที่ 4 สัดส่วนวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิต เมื่อผันแปรค่าพารามิเตอร์ข้อกำหนดทางโภชนาการ



รูปที่ 5 กำไรโดยรวมสูงที่สุด เมื่อผันแปรค่าราคาวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิต ราคาจำหน่าย และปริมาณความต้องการ

ผสมอาหารพบว่า ราคามันสำปะหลังและกากถั่วเหลือง ส่งกระทบต่อกำไรโดยรวมอย่างชัดเจน คือ เมื่อราคาสำปะหลังเพิ่มขึ้น 5% จะทำให้กำไรโดยรวมลดลง 2.71% และหากราคาสำปะหลังเพิ่มขึ้นถึง 20% จะทำให้กำไรโดยรวมลดลงถึง 10.85% ทำนองเดียวกัน เมื่อราคากากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น 5% จะทำให้กำไรโดยรวมลดลง 2.25% และหากราคากากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นถึง 20% จะทำให้กำไรโดยรวมลดลงถึง 8.99% ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงราคาของวัตถุดิบผสมอาหาร ไม่กระทบต่อกำไรโดยรวมมากนัก ดังรายละเอียดในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กำไรโดยรวมสูงที่สุด เมื่อผันแปรค่าพารามิเตอร์ราคามันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และวัตถุดิบผสมอาหาร

3.5 อภิปรายผล

โดยทั่วไปการหาค่าเหมาะที่สุดเพื่อใช้วางแผนการผลิต เช่น งานวิจัยของ Irawan และคณะ [14] ที่วางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคเนื้อและโคนมของประเทศอินโดนีเซียด้วยตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (NLP) และมีการวิเคราะห์ความไวโดยผันแปรราคาผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มขึ้นและลดลง ผลการวิเคราะห์ความไวพบว่า การเปลี่ยนแปลงราคาจะส่งผลกระทบต่อการปริมาณผลิตอาหารของโคเนื้อ แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตอาหารของโคนมมากนัก และงานวิจัยของ Sukmok [12] ที่ประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้น (LP) ในการหาสูตรอาหารผสมสำหรับไก่ไข่ ซึ่งสูตรผสมที่ได้มีคุณค่าสารอาหารครบถ้วนตามข้อกำหนดและมีต้นทุนต่ำที่สุด อีกทั้งผลลัพธ์ของตัวแบบแสดงให้เห็นว่า แม้วัตถุดิบมีราคาเปลี่ยนแปลงไป แต่ยังอยู่ในช่วงของราคาที่กำหนด จะยังไม่มีผลกระทบมากพอที่จะทำให้สูตรอาหารเปลี่ยนแปลงไป

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (NLP) ซึ่งสอดคล้องกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของการดำเนินงานด้านส่วนผสมอาหารและบริบทจริงในการผลิตอาหารสัตว์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Çelikdin [21] ที่ประยุกต์ใช้การโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้น (NLP) ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ส่วน Saxena [22] ได้ดำเนินการเปรียบเทียบการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) และการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (NLP) สำหรับการผลิตอาหารสัตว์พบว่า การโปรแกรมไม่เชิงเส้น (NLP) ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในกรณีศึกษาของงานวิจัยดังกล่าว นอกจากนี้ Saxena และ Khanna [23] ยังได้เสนอการพัฒนาอัลกอริทึมและตัวแบบที่หลากหลายสำหรับการผสมอาหารสำหรับโคโดยไม่จำเป็นต้องใช้เฉพาะการโปรแกรมเชิงเส้น (LP) รวมถึงการพัฒนาตัวแบบหลายวัตถุประสงค์ เพื่อการผลิตอาหารสัตว์ดังเช่น Notte และคณะ [24]

การประยุกต์ใช้ตัวแบบที่พัฒนาขึ้น จะทำให้สถานประกอบการกรณีศึกษาสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสมเกี่ยวกับสัดส่วนวัตถุดิบสำหรับผสม ที่ทำให้ได้คุณค่าทางโภชนาการเป็นไปตามข้อกำหนด โดยวัตถุดิบที่มีส่วนผสมมากที่สุด ได้แก่ กากถั่วเหลือง มันสำปะหลัง ใบกระถินป่น รำข้าว ซึ่งแตกต่างจากการดำเนินงานของกรณีศึกษา ที่ใช้วัตถุดิบแต่ละชนิดในสัดส่วนใกล้เคียงกัน อีกทั้งในการผสมอาหาร ยังทำให้คุณค่าทางโภชนาการที่ได้ไม่แน่นอน

นอกจากนี้ตัวแบบยังให้ผลลัพธ์เกี่ยวกับปริมาณการผลิต ปริมาณการจำหน่าย และปริมาณการสต็อกผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ที่เหมาะสม เพื่อให้มีสินค้าตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าสมาชิกในแต่ละเดือน และจากผลเฉลยของตัวแบบ จะทำให้สถานประกอบการกรณีศึกษามีกำไรรวมทั้งปีสูงที่สุดเท่ากับ 6,217,715.98 บาท ซึ่งสูงกว่ากำไรที่เกิดจาก

การดำเนินงานตามแนวทางเดิมของหน่วยงานถึง 24.23%

ทั้งนี้หากผู้ประกอบการกรณีศึกษามีสถานการณ์ที่ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับข้อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการ ราคาวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิต ราคาจำหน่าย และปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ผันแปรไป สามารถประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความไวของงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจวางแผนการผลิตได้

4. สรุป

การโปรแกรมทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตได้ โดยพัฒนาตัวแบบที่เหมาะสมกับรูปแบบการผลิต รวมถึงเงื่อนไขข้อจำกัดของแต่ละปัญหาการผลิตนั้น ๆ เช่นเดียวกับการพัฒนาตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (NLP) ในการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์สำหรับโคนมในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งสามารถนำไปตัดสินใจเกี่ยวกับสัดส่วนวัตถุดิบ ปริมาณการผลิต และปริมาณสินค้าคงคลังที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา

สำหรับการวิจัยในอนาคต สามารถพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติมให้ครอบคลุมสถานการณ์หรือความซับซ้อนของปัญหาที่อาจมีมากขึ้น เช่น 1) พิจารณาวัตถุดิบอื่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการตามที่กำหนด แต่มีราคาถูกกว่าหรือสามารถจัดหาได้ง่ายกว่าตามฤดูกาล 2) จากผลเฉลยพบว่า วัตถุดิบบางชนิดใช้สัดส่วนในการผสมน้อย ดังนั้นอาจกำหนดตัวแบบให้พิจารณาเฉพาะวัตถุดิบที่มีสัดส่วนระดับปานกลางถึงมากเท่านั้น โดยยังคงเงื่อนไขให้ได้คุณค่าทางโภชนาการโดยรวมตามข้อกำหนด 3) พิจารณาการผลิตอาหารโคนมหลายแบบ เช่น อาหารโคนมแต่ละช่วงวัย เนื่องจากโคนมแต่ละช่วงวัยมีความต้องการคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน 4) เพิ่มเงื่อนไขของปัญหา เช่น กำลังการผลิต ความจุของคลังสินค้า การจัดบริการขนส่งผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้าสมาชิก เป็นต้น 5) กำหนดคุณค่าทางโภชนาการในระดับที่สูงขึ้นเพื่อหาสูตรผสมอาหารสัตว์คุณภาพสูง (สูตรพรีเมียม) ซึ่งจะสามารถจำหน่ายในราคาที่สูงขึ้นได้ 6) วางแผนการผลิตในระยะยาวกว่า 1 ปี หากธุรกิจเติบโตหรือขยายตัวมากขึ้น โดยอาจตัดสินใจเป็นรายไตรมาส รวมถึง 7) พัฒนาตัวแบบหลายวัตถุประสงค์ โดยกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด และตอบสนองความพึงพอใจสูงสุดของสมาชิก เป็นต้น และ 8) ประยุกต์ใช้วิธีเมตะฮิวริสติกส์สำหรับการวางแผนการผลิตอาหารสัตว์ที่มีสูตรส่วนผสมหลากหลาย ซึ่งหากประยุกต์ใช้ตัวแบบ NLP ดังกล่าว อาจใช้เวลานานในการประมวลผล

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมกรณีศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มวิจัยระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรแกรม LINGO สำหรับการประมวลผล

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Kantanamalakul. *Animal Feed Industry in Thailand*. [Online] (in Thai). Available: https://agri.stou.ac.th/page/home.aspx

[2] Bureau of Animal Nutrition Development. *Livestock recommends ways to reduce livestock production costs and animal feed costs for farmers*. [Online] (in Thai). Available: https://nutrition.dld.go.th/nutrition/index.php

[3] Division of Livestock Extension and Development, *A manual for promoting the raising of beef cattle, buffalo, and watershed cattle*. Bangkok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, LTD., 2021 (in Thai).

[4] Department of Livestock Development, *A manual of dairy farming*. Bangkok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, LTD., 2016 (in Thai).

[5] Thai Feed Mill Association (TFMA). *Animal feed demand*. [Online] (in Thai). Available: https://www.thaifeedmill.org/

[6] S. A. Kumar and N. Suresh, *Production and*

Operations Management. New Delhi: New Age International, 2008.

[7] S. Gupta and M. Starr, *Production and Operations Management Systems*. Florida: CRC Press, 2014.

[8] B. Render, R. Stair, and M. E. Hanna, *Quantitative Analysis for Management*. New Jersey: Prentice Hall, 2012.

[9] I. Soares, M. J. Alves, and C. H. Antunes, "A deterministic bounding algorithm vs. a hybrid meta-heuristic to deal with a bilevel mixed-integer nonlinear optimization model for dynamic electricity pricing," *Computers & Operations Research*, vol. 155, pp. 106–195, 2023.

[10] N. Bootwisas, P. Marupanthon, K. Marupanthorn, U. Intarasat, and W. Ketpanyapong. "Moringa leaf powder production planning using mixed-integer linear programming," *Journal of Management Science, Suratthani Rajabhat University*, vol. 9, no. 2, pp. 269–292, 2022 (in Thai).

[11] W. Winitchaiy and R. Homchalee, "Application of Linear Programming Model for Managing Jasmine Rice Supply Chain Network in Thung Kula Ronghai Area of Thailand," *KMUTT Research & Development Journal*, vol. 44, no. 1, pp. 731–754, 2021 (in Thai).

[12] J. Sukmok, "Finding Egg-Laying Chicken Feed Recipe for Pre-starters," *Rangsit University Journal of Engineering and Technology*. vol. 20, no. 2, pp. 25–36, 2017 (in Thai).

[13] S. Midevan and P. Sudasna-Na-Ayudthya, "Efficiency improvement in warehouse and cost reduction for pet's food factory," *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, vol. 3, no. 6, pp. 1–12, 2013 (in Thai).

[14] S. Irawan, S. T. Risyahadi, and H. Wijaya, "The supply chain planning optimization model for the cattle feed industry with a linear programming approach," *Proceedings*, vol. 83, no. 1, pp. 1–15, 2022.

[15] R. S. Porchelvi, J. Irine, and R. Regupathi, "Linear programming method for solving optimized nutrients feed formulation in GIFT Tilapia," *IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)*, vol. 23, no. 10, pp. 28–33, 2018.

[16] A. Csikai, "Opportunities of integrating supply chain quality management and product development with formulation systems in compound feed manufacturing," *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, vol. 3, no. 2, pp. 82–88, 2011.

[17] Information and Communication Technology Center, Livestock Numbers in Thailand 2024. Bangkok: Department of Livestock Development, 2024 (in Thai).

[18] Maha Sarakham Provincial Public Relations Office. *Government agency administration policy, Ministry of Agriculture and Cooperatives*. [Online] (in Thai). Available: https://mahasarakham.prd.go.th/th/content/categoryindex/id/9

[19] LINGO: The Modeling Language and Optimizer, LINDO Systems, Inc., Chicago, Illinois, 2018

[20] M-Focus. *What's LINDO software?* [Online] (in Thai). Available: https://www.m-focus.co.th/Lindo.html

[21] A. E. Çelikdin, "Optimizing seasonal grain intakes with non-linear programming:

An application in the feed industry," *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, vol. 12, no. 2, pp. 79–89, 2022.

[22] P. Saxena, "Comparison of linear and nonlinear programming techniques for animal diet," *Applied Mathematics*, vol. 1, no. 2, pp. 106–108, 2011.

[23] P. Saxena and N. Khanna, "Modeling and algorithm development for cattle feed mix formulation," *International Journal of Computational Intelligence Research*, vol. 13, no. 1, pp. 141–159, 2017.

[24] G. Notte, H. Cancela, M. Pedemonte, P. Chilibroste, W. Rossing, and J. C. J. Groot, "A multi-objective optimization model for dairy feeding management," *Agricultural Systems*, vol. 183, pp. 102854, 2020.