

บทความวิจัย

การวางแผนส่วนประกอบอาหารสำหรับเป็ดไข่  
โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

Food Ingredient Planning for Laying Duck  
by using the Mathematical Model

พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Pornpimol Chaiwuttisak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Statistics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Ladkrabang, Bangkok, 10520

\*E-mail: pornpimol.ch@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อสร้างสูตรอาหารต้นทุนต่ำของเป็ดไข่โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์และหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้ Solver add-ins ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล เวอร์ชัน 2013 งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมคณิตศาสตร์เชิงเส้นคำนวณหาสูตรอาหารสำหรับเป็ดไข่ โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนรวมของสูตรอาหารต่ำสุดภายใต้ความต้องการของปริมาณสารอาหารที่เป็ดไข่ในช่วงอายุที่แตกต่างกันได้แก่ อายุ 9 – 20 สัปดาห์, 24 – 48 สัปดาห์และ 48 – 72 สัปดาห์ตามคำแนะนำของสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ ผลการศึกษาพบว่าสูตรอาหารสำหรับเป็ดไข่ในช่วงอายุ 9 - 20 สัปดาห์ ประกอบด้วยวัตถุดิบ 5 ชนิด ได้แก่ มันสำปะหลัง (มันเส้น) 0.459 กิโลกรัม กากถั่วเหลือง 0.154 กิโลกรัม กากเมล็ดทานตะวัน 0.278 กิโลกรัม เปลือกหอยป่น 0.011 กิโลกรัม และกระดูกป่น 0.024 กิโลกรัม โดยราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับ 8.486 บาท ในขณะที่วัตถุดิบสำหรับสูตรอาหารสำหรับเป็ดไข่ในช่วงอายุ 24 – 48 สัปดาห์ มี 4 ชนิด ประกอบด้วยมันสำปะหลัง (มันเส้น) กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และกระดูกป่น จำนวนเท่ากับ 0.326, 0.675, 0.049 และ 0.023 ตามลำดับ ราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับ 8.598 บาท และวัตถุดิบที่ใช้ผสมสูตรอาหารสำหรับเป็ดไข่ในช่วงอายุ 48 - 72 สัปดาห์ มี 6 ชนิดประกอบด้วย มันสำปะหลัง (มันเส้น) กากถั่วเหลือง ใบมันสำปะหลังแห้งป่น กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และกระดูกป่น จำนวนเท่ากับ 0.533, 0.065, 0.022, 0.297, 0.037 และ 0.024 ตามลำดับ

ราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับ 7.645 บาท โดยสูตรอาหารผสมสำหรับเป็ดไข่ในช่วงอายุ 9–20 24–48 และ 48 - 72 สัปดาห์ที่ได้กล่าวในข้างต้นนี้มีต้นทุนต่ำกว่าราคาอาหารสำเร็จรูปโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 40.79, 46.82 และ 50.67 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** สูตรอาหารเป็ดไข่ ตัวแบบคณิตศาสตร์ ความต้องการทางโภชนาการ

### ABSTRACT

The objective of the research is to formulate a low-cost diet formulation for the laying duck based on the mathematical model and find the best solution using Solver add-ins in Microsoft Excel 2013. The linear programming model is applied in this research to calculate the feed formulation for the laying duck. The objective function of the mathematical model is to minimize the total cost of the mixture feed under nutrient requirements for the laying duck in the different periods of time: 9-20 weeks, 24-48 weeks, and 48-72 weeks determined by the bureau of animal nutrition development. The linear programming model can be written: The results of the study show that the feed formula for the laying duck of 9 to 20 weeks of age contains 5 raw ingredients: 0.459 kg of tapioca line, 0.154 kg with soybean meal, 0.278 kg of sunflower meal, 0.011 kg of shells meal, and 0.024 kg with bone meal. The cost equals to 8.486 baht per kilogram. The feed formula for the laying duck of 24 to 48 weeks of age contains 4 raw ingredients: 0.326 kg of tapioca line, 0.675 kg of sunflower meal, 0.049 kg of shells meal, and 0.023 kg with bone meal. The cost equals to 8.598 baht per kilogram. The feed formula for the laying duck of 48 to 72 weeks of age contains 6 raw ingredients: 0.533 kg of tapioca line, 0.065 kg of soybean meal, 0.022 kg of cassava leaves meal, 0.297 kg of sunflower meal, 0.037 kg of shells meal, and 0.024 kg with bone meal. The cost equals to 7.645 baht per kilogram. The costs of three feed formulations are cheaper than the ready-make-food costs by 40.79% 46.82%, and 50.67% respectively.

**Keywords:** Laying duck feed formula, Mathematical model, Nutrition requirement

## บทนำ

เกษตรกรรมและการเลี้ยงสัตว์เป็นอาชีพหลักที่สำคัญของประเทศไทย การเลี้ยงเป็ดไข่เป็นช่องทางหนึ่งในการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร โดยไข่เป็ดสามารถนำไปประกอบอาหารและทำขนมได้หลากหลายชนิดและเหมาะสำหรับการนำไปแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า อาทิ การทำไข่เค็ม เป็นต้น นอกจากนี้ไข่เป็ดจัดเป็นแหล่งอาหารที่ให้โปรตีนสูง จากข้อมูลสถิติจำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทยของปี พ.ศ. 2560 พบว่าจำนวนเกษตรกรที่เลี้ยงเป็ดไข่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับปีก่อนๆ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากอาหารสำหรับเลี้ยงเป็ดไข่ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนโดยรวมของการดำเนินการ นอกจากนี้เกษตรกรยังขาดความรู้ในการประกอบสูตรอาหารที่ใช้วัตถุดิบต่างๆ เอง ทำให้เกษตรกรจำนวนมากจำเป็นต้องยุติกิจการการเลี้ยงเป็ดไข่ (Sirirak and Burintrapiban, 2014)

จากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น การจัดซื้อวัตถุดิบมาผสมอาหารสำหรับเป็ดไข่เองจะช่วยลดต้นทุนเพราะว่าวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นผลผลิตทางการเกษตรและเกษตรกรสามารถหาได้ในท้องถิ่น และการนำตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model: LP) มาใช้เพื่อวิเคราะห์หาสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัย Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท Spreadsheet ที่สามารถใส่สูตรการคำนวณซับซ้อน นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเติม Add Ins ที่มีชื่อว่า Solver ซึ่งเป็นเสมือนชุดโปรแกรมที่ติดตั้งเพิ่มเติมลงใน Microsoft Excel เพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum value) ของปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยตัวแปรตัดสินใจและเงื่อนไขต่าง ๆ (Lonescu, 2013)

ดังนั้นบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณสูตรอาหารต้นทุนต่ำของเป็ดไข่ในแต่ละช่วงอายุ โดยอาศัยเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นและหาคำตอบของปัญหาซึ่งใช้โปรแกรม Solver add-ins ใน Microsoft Excel 2013 เพื่อช่วยเกษตรกรในการกำหนดส่วนประกอบของสูตรอาหารสำหรับเป็ดไข่ รวมทั้งวิเคราะห์ความไว และทำการเปรียบเทียบกับราคาอาหารสำเร็จรูปที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่นำไปใช้ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยได้นำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เช่นในด้านอุตสาหกรรมการผลิต ธุรกิจการเงิน การเกษตร การขนส่ง เป็นต้น ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

สมการโปรแกรมเชิงเส้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ 1. สมการเป้าหมาย (Objective function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุน กำไร เพื่อให้กำหนดเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด 2. สมการข้อจำกัด (Constraints) แสดงข้อจำกัดต่างๆ ของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปของสมการหรืออสมการ โดยสมการต่าง ๆ ทั้งหมดเป็นสมการเชิงเส้นตรง ซึ่งคำตอบที่เหมาะสมที่สุดต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ที่กำหนดให้ สมการเป้าหมายเป็นตัววัดผลหรือ

ตัวตัดสินใจว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุดระหว่างคำตอบทั้งหมด นอกจากนี้ ต้องระบุตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ตัวแปรเหล่านี้จะถูกรวมอยู่ในสมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัด ในขณะที่พารามิเตอร์เป็นค่าคงที่ที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Winston & Venkataramanan, 2002)

Naksakul (2016) กล่าวว่าตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model: LP) เป็นวิธีการที่ช่วยในการเลือกวัตถุดิบ อาหารสัตว์ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีและราคาต่าง ๆ กันมาผสมให้ได้ สูตรอาหารสัตว์ที่มีโภชนาการต่าง ๆ ครบตามความต้องการของสัตว์โดยมีราคาต่ำที่สุด (least cost ration) ดังนั้น LP นิยมใช้กันมากเมื่อราคาของวัตถุดิบหลายอย่างมีการเปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลาของรัฐอัสสัมอินเดีย ประเทศอินเดีย (Nath & Talukdar, 2014) พบว่าราคาค่าอาหารปลาคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 70 ของต้นทุนการเลี้ยงปลาได้นำเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Technique) มาใช้เพื่อคำนวณหาสูตรอาหารที่ใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นเพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับอาหารเลี้ยงปลา

Sobut, Kanjanapruthipong and Sookmanee (2010) ได้สร้างโปรแกรมคำนวณสูตรอาหารของโคนมในสภาพภูมิอากาศที่ร้อนและชื้น Raingthaisong & Sukmok (2010) ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับคำนวณหาสูตรอาหารสำหรับสุกรเล็ก สุกรรุ่นและสุกรขุน พบว่าสูตรอาหารสุกรที่ได้ให้คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า เกณฑ์กำหนดขั้นต่ำของกองอาหารสัตว์

Ziogas (1983) ได้ทำการศึกษาวิธีการลดต้นทุนของสูตรอาหารแกะโดยใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นพบว่าการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุดโดยมีคุณค่าทางโภชนาการครบตามความต้องการของแกะ ผลลัพธ์ทำให้ต้นทุนรวมของสูตรอาหารลดลง 5.4 เปอร์เซ็นต์

## วิธีการ

การพัฒนารวแผนส่วนประกอบอาหารต้นทุนต่ำสำหรับเป็ดไข่โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สามารถทำเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล อาทิเช่นรายละเอียดข้อมูลโภชนาการสารอาหารตามความต้องการของเป็ดต่อวันในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ข้อจำกัดของราคาและปริมาณสารอาหารของวัตถุดิบแต่ละชนิดสำหรับสูตรอาหารเป็ดไข่ รวมถึงราคาอาหารสำเร็จรูปที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดจากสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ (Bureau of Animal Nutrition Development, 2017) ซึ่งสูตรอาหารต้องคำนึงถึงปริมาณโปรตีน ความต้องการพลังงาน แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไลซีน เมทไธโอนีน และซีสทีน ที่ต้องใช้เลี้ยงเป็ดไข่ให้สอดคล้องกับช่วงอายุวัยที่แตกต่างกันในแต่ละวัน โดยสามารถแสดงปริมาณสารอาหารที่จำเป็นสำหรับเป็ดไข่ในช่วงอายุต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** คุณค่าทางโภชนาการสำหรับเปิดไขในแต่ละช่วงอายุ

ความต้องการทางโภชนาการสารอาหาร	ช่วงอายุ (สัปดาห์)		
	เปิดสาวก่อนไข	เปิดไข	เปิดไข
	(อายุ 9 - 20 )	(อายุ 24 - 48)	(อายุ 48 - 72)
โปรตีน (%)	15.00	18.00	16.00
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	2,600.00	2,700.00	2,700.00
แคลเซียม (%)	1.10	2.50	2.10
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.42	0.50	0.42
ไลซีน (%)	0.82	0.88	0.65
เมทไธโอนีน+ซิสทีน (%)	0.58	0.89	0.50

ส่วนวัตถุดิบสำหรับเลี้ยงเปิดไขที่ใช้มากในสูตรอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 พวก คือ  
(1) พวกที่เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด และมันสำปะหลัง (มันเส้น) เป็นต้น

(2) พวกที่เป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ ปลาป่น หางนมผง กากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง ไบมันสำปะหลังแห้งป่น ไบกระถินป่น ไบผักตบชวา กากมะพร้าว กากเมล็ดฝ้าย และกากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

(3) พวกที่เป็นแหล่งแร่ธาตุ ได้แก่ เปลือกหอยป่น กระดุกป่น เป็นต้น

โดยปริมาณสารอาหารของวัตถุดิบและราคาโดยเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรอาหารเปิดไข แสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการสำหรับวัตถุดิบต่าง ๆ

วัตถุดิบ	สารอาหาร					
	โปรตีน (%)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)	แคลเซียม (%)	ฟอสฟอรัส (%)	ไลซีน (%)	เมทไธโอนีน + ซีสทีน(%)
ข้าวโพด	8.00	3,370	0.01	0.10	0.25	0.39
ปลายข้าว	8.00	3,500	0.03	0.04	0.27	0.32
รำละเอียด	12.00	2,710	0.06	0.47	0.55	0.50
มันสำปะหลัง (มันเส้น)	2.50	3,500	0.12	0.05	0.09	0.06
ปลาป่น	55.00	2,948	7.70	3.80	4.15	2.00
หางนมผง	35.00	2,770	1.30	1.00	2.91	1.10
กากถั่วเหลือง	44.00	2,280	0.25	0.20	2.73	1.26
เมล็ดถั่วเหลือง	38.00	3,300	0.25	0.20	2.40	1.09
ไบมันสำปะหลังแห้งป่น	19.00	-	1.20	0.10	1.92	0.15
ไบกระถินป่น	20.20	900	0.54	0.30	1.10	0.63
ไบผักตบชวา	14.30	2,216	0.13	0.27	0.50	0.27
กากมะพร้าว	21.00	2,800	0.20	0.20	0.59	0.50
กากเมล็ดฝ้าย	41.00	2,010	0.15	0.33	1.68	1.26
กากเมล็ดทานตะวัน	37.00	2,310	0.03	0.30	1.29	1.36
เปลือกหอยป่น	-	-	38.00	-	-	-
กระดูกป่น	-	-	24.00	12.00	-	-

ตารางที่ 3 ราคาโดยเฉลี่ยของวัตถุดิบต่าง ๆ (หน่วยเป็น บาทต่อกิโลกรัม)

วัตถุดิบ	ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)
ข้าวโพด	8.85
ปลายข้าว	11.00
รำละเอียด	10.00
มันสำปะหลัง(มันเส้น)	5.93
ปลาป่น	33.96
หางนมผง	315.00
กากถั่วเหลือง	13.80
เมล็ดถั่วเหลือง	15.62
ไบมันสำปะหลังแห้งป่น	6.00
ไบกระถินป่น	7.00
ไบผักตบชวา	9.00
กากมะพร้าว	8.50
กากเมล็ดฝ้าย	12.80
กากเมล็ดทานตะวัน	10.50
เปลือกหอยป่น	3.00
กระดูกป่น	2.50

1. ศึกษาวิธีการประมวลผลด้วย solver add-ins ในโปรแกรม Microsoft Office Excel 2013

2. สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณสูตรอาหาร เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยนำตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นมาช่วยในการคำนวณหาปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้เป็นส่วนผสมอาหารเปิดไข่โดยมีวิธีการสร้างตัวแบบดังนี้

โดยกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}$  แทนปริมาณ (หน่วยเป็นกิโลกรัม) ของ ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด มันสำปะหลัง (มันเส้น) ปลาป่น หางนมผง กากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง ไบมันสำปะหลังแห้งป่น ไบกระถินป่น ไบผักตบชวา กากมะพร้าว กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และกระดูกป่น ตามลำดับ

ฟังก์ชันเป้าหมาย

$$\min \left( \begin{array}{l} (8.82 \times X_1) + (11.00 \times X_2) + (10.00 \times X_3) + \\ (5.93 \times X_4) + (33.96 \times X_5) + (315.00 \times X_6) + \\ (13.80 \times X_7) + (15.62 \times X_8) + (6.00 \times X_9) + \\ (7.00 \times X_{10}) + (9.00 \times X_{11}) + (8.50 \times X_{12}) + \\ (12.80 \times X_{13}) + (10.50 \times X_{14}) + (3.00 \times X_{15}) + (2.50 \times X_{16}) \end{array} \right) \quad (1)$$

ภายใต้ข้อจำกัด

[1] สำหรับเปิดอายุ 9 – 20 สัปดาห์

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน

$$\begin{aligned} &(8.00 \times X_1) + (8.00 \times X_2) + (12.00 \times X_3) + (2.50 \times X_4) + (55.00 \times X_5) + (35.00 \times X_6) + \\ &(44.00 \times X_7) + (38.00 \times X_8) + (19.00 \times X_9) + (20.20 \times X_{10}) + (14.30 \times X_{11}) + (21.00 \times X_{12}) + \\ &(41.00 \times X_{13}) + (37.00 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 15.00 \end{aligned} \quad (2)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของพลังงาน

$$\begin{aligned} &(3370 \times X_1) + (3500 \times X_2) + (2710 \times X_3) + (3500 \times X_4) + (2948 \times X_5) + (2770 \times X_6) + \\ &(2280 \times X_7) + (3300 \times X_8) + (0.00 \times X_9) + (900 \times X_{10}) + (2216 \times X_{11}) + (2800 \times X_{12}) + \\ &(2010 \times X_{13}) + (2310 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 2600 \end{aligned} \quad (3)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของแคลเซียม

$$\begin{aligned} &(0.01 \times X_1) + (0.03 \times X_2) + (0.06 \times X_3) + (0.12 \times X_4) + (7.70 \times X_5) + (1.30 \times X_6) + \\ &(0.25 \times X_7) + (0.25 \times X_8) + (1.20 \times X_9) + (0.54 \times X_{10}) + (0.13 \times X_{11}) + (0.20 \times X_{12}) + \\ &(0.15 \times X_{13}) + (0.03 \times X_{14}) + (38.00 \times X_{15}) + (24.00 \times X_{16}) \geq 1.10 \end{aligned} \quad (4)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของฟอสฟอรัส

$$\begin{aligned} &(0.10 \times X_1) + (0.04 \times X_2) + (0.47 \times X_3) + (0.05 \times X_4) + (3.80 \times X_5) + (1.00 \times X_6) + \\ &(0.20 \times X_7) + (0.20 \times X_8) + (0.10 \times X_9) + (0.30 \times X_{10}) + (0.27 \times X_{11}) + (0.20 \times X_{12}) + \\ &(0.33 \times X_{13}) + (0.30 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (12.00 \times X_{16}) \geq 0.42 \end{aligned} \quad (5)$$



ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของไลซีน

$$(0.25 \times X_1) + (0.27 \times X_2) + (0.55 \times X_3) + (0.09 \times X_4) + (4.15 \times X_5) + (2.91 \times X_6) + (2.73 \times X_7) + (2.40 \times X_8) + (1.92 \times X_9) + (1.10 \times X_{10}) + (0.50 \times X_{11}) + (0.59 \times X_{12}) + (1.68 \times X_{13}) + (1.29 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 0.82 \quad (6)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของเมทไธโอนีนและซีสทีน

$$(0.39 \times X_1) + (0.32 \times X_2) + (0.50 \times X_3) + (0.06 \times X_4) + (2.00 \times X_5) + (1.10 \times X_6) + (1.26 \times X_7) + (1.09 \times X_8) + (0.15 \times X_9) + (0.63 \times X_{10}) + (0.27 \times X_{11}) + (0.50 \times X_{12}) + (1.26 \times X_{13}) + (1.36 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 0.58 \quad (7)$$

[2] สำหรับเปิดอายุ 24 – 48 ปีดาวห์

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน

$$(8.00 \times X_1) + (8.00 \times X_2) + (12.00 \times X_3) + (2.50 \times X_4) + (55.00 \times X_5) + (35.00 \times X_6) + (44.00 \times X_7) + (38.00 \times X_8) + (19.00 \times X_9) + (20.20 \times X_{10}) + (14.30 \times X_{11}) + (21.00 \times X_{12}) + (41.00 \times X_{13}) + (37.00 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 18.00 \quad (8)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของพลังงาน

$$(3370 \times X_1) + (3500 \times X_2) + (2710 \times X_3) + (3500 \times X_4) + (2948 \times X_5) + (2770 \times X_6) + (2280 \times X_7) + (3300 \times X_8) + (0.00 \times X_9) + (900 \times X_{10}) + (2216 \times X_{11}) + (2800 \times X_{12}) + (2210 \times X_{13}) + (2310 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 2700 \quad (9)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของแคลเซียม

$$(0.01 \times X_1) + (0.03 \times X_2) + (0.06 \times X_3) + (0.12 \times X_4) + (7.70 \times X_5) + (1.30 \times X_6) + (0.25 \times X_7) + (0.25 \times X_8) + (1.20 \times X_9) + (0.54 \times X_{10}) + (0.13 \times X_{11}) + (0.20 \times X_{12}) + (0.15 \times X_{13}) + (0.03 \times X_{14}) + (38.00 \times X_{15}) + (24.00 \times X_{16}) \geq 2.50 \quad (10)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของฟอสฟอรัส

$$(0.10 \times X_1) + (0.04 \times X_2) + (0.47 \times X_3) + (0.05 \times X_4) + (3.80 \times X_5) + (1.00 \times X_6) + (0.20 \times X_7) + (0.20 \times X_8) + (0.10 \times X_9) + (0.30 \times X_{10}) + (0.27 \times X_{11}) + (0.20 \times X_{12}) + (0.33 \times X_{13}) + (0.30 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (12.00 \times X_{16}) \geq 0.50 \quad (11)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของไลซีน

$$\begin{aligned} &(0.25 \times X_1) + (0.27 \times X_2) + (0.55 \times X_3) + (0.09 \times X_4) + (4.15 \times X_5) + (2.91 \times X_6) + \\ &(2.73 \times X_7) + (2.40 \times X_8) + (1.92 \times X_9) + (1.10 \times X_{10}) + (0.50 \times X_{11}) + (0.59 \times X_{12}) + \\ &(1.68 \times X_{13}) + (1.29 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 0.88 \end{aligned} \quad (12)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของเมทไธโอนีนและซีสทีน

$$\begin{aligned} &(0.39 \times X_1) + (0.32 \times X_2) + (0.50 \times X_3) + (0.06 \times X_4) + (2.00 \times X_5) + (1.10 \times X_6) + \\ &(1.26 \times X_7) + (1.09 \times X_8) + (0.15 \times X_9) + (0.63 \times X_{10}) + (0.27 \times X_{11}) + (0.50 \times X_{12}) + \\ &(1.26 \times X_{13}) + (1.36 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 0.89 \end{aligned} \quad (13)$$

[3] สำหรับเปิดอายุ 48 – 72 สัปดาห์

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน

$$\begin{aligned} &(8.00 \times X_1) + (8.00 \times X_2) + (12.00 \times X_3) + (2.50 \times X_4) + (55.00 \times X_5) + (35.00 \times X_6) + \\ &(44.00 \times X_7) + (38.00 \times X_8) + (19.00 \times X_9) + (20.20 \times X_{10}) + (14.30 \times X_{11}) + (21.00 \times X_{12}) + \\ &(41.00 \times X_{13}) + (37.00 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 16.00 \end{aligned} \quad (14)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของพลังงาน

$$\begin{aligned} &(3370 \times X_1) + (3500 \times X_2) + (2710 \times X_3) + (3500 \times X_4) + (2948 \times X_5) + (2770 \times X_6) + \\ &(2280 \times X_7) + (3300 \times X_8) + (0.00 \times X_9) + (900 \times X_{10}) + (2216 \times X_{11}) + (2800 \times X_{12}) + \\ &(2010 \times X_{13}) + (2310 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 2700 \end{aligned} \quad (15)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของแคลเซียม

$$\begin{aligned} &(0.01 \times X_1) + (0.03 \times X_2) + (0.06 \times X_3) + (0.12 \times X_4) + (7.70 \times X_5) + (1.30 \times X_6) + \\ &(0.25 \times X_7) + (0.25 \times X_8) + (1.20 \times X_9) + (0.54 \times X_{10}) + (0.13 \times X_{11}) + (0.20 \times X_{12}) + \\ &(0.15 \times X_{13}) + (0.03 \times X_{14}) + (38.00 \times X_{15}) + (24.00 \times X_{16}) \geq 2.10 \end{aligned} \quad (16)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของฟอสฟอรัส

$$\begin{aligned} &(0.10 \times X_1) + (0.04 \times X_2) + (0.47 \times X_3) + (0.05 \times X_4) + (3.80 \times X_5) + (1.00 \times X_6) + \\ &(0.20 \times X_7) + (0.20 \times X_8) + (0.10 \times X_9) + (0.30 \times X_{10}) + (0.27 \times X_{11}) + (0.20 \times X_{12}) + \\ &(0.33 \times X_{13}) + (0.30 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (12.00 \times X_{16}) \geq 0.42 \end{aligned} \quad (17)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของไลซีน

$$(0.25 \times X_1) + (0.27 \times X_2) + (0.55 \times X_3) + (0.09 \times X_4) + (4.15 \times X_5) + (2.91 \times X_6) + (2.73 \times X_7) + (2.40 \times X_8) + (1.92 \times X_9) + (1.10 \times X_{10}) + (0.50 \times X_{11}) + (0.59 \times X_{12}) + (1.68 \times X_{13}) + (1.29 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 0.65 \quad (18)$$

ความต้องการคุณค่าทางโภชนาการของเมทไธโอนีนและซีสทีน

$$(0.39 \times X_1) + (0.32 \times X_2) + (0.50 \times X_3) + (0.06 \times X_4) + (2.00 \times X_5) + (1.10 \times X_6) + (1.26 \times X_7) + (1.09 \times X_8) + (0.15 \times X_9) + (0.63 \times X_{10}) + (0.27 \times X_{11}) + (0.50 \times X_{12}) + (1.26 \times X_{13}) + (1.36 \times X_{14}) + (0.00 \times X_{15}) + (0.00 \times X_{16}) \geq 0.50 \quad (19)$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16} \geq 0 \quad (20)$$

งานวิจัยนี้ต้องการหาต้นทุนรวมต่ำสุดของสูตรอาหารเปิดไข่ภายใต้ข้อจำกัดคุณค่าทางโภชนาการเพื่อเป็นการประกันว่าโภชนาการที่ได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิดในสูตรอาหารต้องไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่เปิดไข่ต้องการ โดยสมการที่ (1) แสดงสมการเป้าหมายที่หาต้นทุนรวมต่ำสุด ในขณะที่เงื่อนไขข้อจำกัดได้แก่สมการที่ (2) – (19) เพื่อรับรองว่าคุณค่าทางโภชนาการของสารอาหารโปรตีน พลังงาน แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไลซีน และเมทไธโอนีนและซีสทีนในสูตรอาหารที่อาจประกอบไปด้วยวัตถุดิบต่างๆ ได้แก่ ข้าวโพด ปลายข้าว รำละเอียด มันสำปะหลัง (มันเส้น) ปลาป่นหางนมผง กากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง ไบมันสำปะหลังแห้งป่น ไบกระถินป่น ไบผักตบชวา กากมะพร้าว กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และกระดูกป่นตามลำดับจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณคุณค่าสารอาหารขั้นต่ำแต่ละชนิดที่เปิดไข่ควรได้รับและตัวแปรตัดสินใจต้องไม่มีค่าติดลบดังสมการที่ (20)

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของค่าพารามิเตอร์เพื่อพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่มีต่อผลเฉลยคำตอบที่เหมาะสม ในกรณีของปัญหาการผสมอาหารสำหรับเปิดไข่นั้น การเปลี่ยนแปลงของราคาวัตถุดิบต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อส่วนผสมของสูตรอาหาร ดังนั้นการวิเคราะห์ความไวของราคาวัตถุดิบต่างๆ

ประมวลผลโดยเครื่องมือและอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ รุ่น Dell Studio 1537 ด้วย Intel Core 2 Duo CPU (P8400 2.27 GHz) และซอฟต์แวร์ (Software) คือ Microsoft Excel 2013

### ผลการทดลอง

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณวัตถุดิบที่ใช้ในอาหารเปิดไข่ที่มีต้นทุนต่ำ เมื่อนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยพิจารณาความต้องการทางโภชนาการและสารอาหารที่แตกต่างกันของเปิดไข่ในแต่ละช่วงอายุ (ดังตารางที่ 1) รวมทั้ง สารอาหารของวัตถุดิบ และราคาของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผสมอาหาร ดังตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ตามลำดับ ใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) โดยผลลัพธ์ได้เป็นสูตรอาหารสำหรับเปิดไข่ ในช่วงอายุ 9 – 20 สัปดาห์, 24 – 48 สัปดาห์ และ 48 – 72 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 4 – 6 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์หาค่าความไว จะพบว่า มีขอบเขตบนและขอบเขตล่าง (Lower and upper Bound) ของราคาวัตถุดิบที่แตกต่างกัน โดยขอบเขตบนและขอบเขตล่างราคาของมันสำปะหลัง (มันเส้น) คือ 2.118 และ 5.358 บาท กล่าวคือถ้าราคาของมันสำปะหลัง (มันเส้น) เพิ่มขึ้นมากกว่า 8.048 บาท แล้วจะผลทำให้วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในสูตรอาหารเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4 สูตรอาหารสำหรับเปิดไข่อายุ 9 - 20 สัปดาห์

ชนิดวัตถุดิบ ( $X_i$ )	ราคา (บาท/กก.)	ส่วนผสม (กก.)	ขอบเขตบน	ขอบเขตล่าง
มันสำปะหลัง (มันเส้น)	5.93	0.459	2.118	5.358
กากถั่วเหลือง	13.80	0.154	0.745	3.493
กากเมล็ดทานตะวัน	10.50	0.278	2.749	0.850
เปลือกหอยป่น	3.00	0.011	0.958	3.000
กระดูกป่น	2.50	0.024	44.154	0.605

ตารางที่ 5 สูตรอาหารสำหรับเปิดไข่อายุ 24 - 48 สัปดาห์

ชนิดวัตถุดิบ ( $X_i$ )	ราคา (บาท/กก.)	ส่วนผสม (กก.)	ขอบเขตบน	ขอบเขตล่าง
มันสำปะหลัง (มันเส้น)	5.93	0.326	1.776	5.430
กากเมล็ดทานตะวัน	10.50	0.675	2.986	6.576
เปลือกหอยป่น	3.00	0.049	0.958	3.000
กระดูกป่น	2.50	0.023	64.361	0.605

ตารางที่ 6 สูตรอาหารสำหรับเปิดไข่อายุ 48 - 72 สัปดาห์

ชนิดวัตถุดิบ ( $X_i$ )	ราคา (บาท/กก.)	ส่วนผสม (กก.)	ขอบเขตบน	ขอบเขตล่าง
มันสำปะหลัง (มันเส้น)	5.93	0.533	1.671	5.347
กากถั่วเหลือง	13.80	0.065	0.745	2.304
ไบมันสำปะหลังแห้งป่น	6.00	0.022	2.184	0.899
กากเมล็ดทานตะวัน	10.50	0.297	1.716	0.850
เปลือกหอยป่น	3.00	0.037	0.958	3.000
กระดูกป่น	2.50	0.024	44.598	0.605

ปริมาณสารอาหารของสูตรอาหารสำหรับไข่เปิดในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 7-9 โดยปริมาณสารอาหารที่ได้รับจะเป็นไปตามคุณค่าโภชนาการสำหรับเปิดไข่ที่ควรจะได้รับในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ตามคำแนะนำของสำนักพัฒนาอาหารสัตว์

ตารางที่ 7 ปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากสูตรอาหารสำหรับเปิดไข่อายุ 9 - 20 สัปดาห์

โปรตีน (%)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)	แคลเซียม (%)	ฟอสฟอรัส (%)	ไลซีน (%)	เมทไธโอนีน+ ซีสทีน (%)
18.203	2,600.000	1.100	0.420	0.820	0.580

ตารางที่ 8 ปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากสูตรอาหารสำหรับเปิดไข่อายุ 24 - 48 สัปดาห์

โปรตีน (%)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)	แคลเซียม (%)	ฟอสฟอรัส (%)	ไลซีน (%)	เมทไธโอนีน+ ซีสทีน (%)
25.781	2,700.000	2.500	0.500	0.900	0.890

ตารางที่ 9 ปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากสูตรอาหารสำหรับเปิดไข่อายุ 48 - 72 สัปดาห์

โปรตีน (%)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)	แคลเซียม (%)	ฟอสฟอรัส (%)	ไลซีน (%)	เมทไธโอนีน+ ซีสทีน (%)
16.000	2,700.000	2.100	0.420	0.650	0.500

## สรุปและวิจารณ์ผล

บริษัทผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับเปิดไฟที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมีหลากหลาย แต่โดยปกติแล้วอาหารสำเร็จรูปสำหรับเปิดไฟจะประกอบด้วยวัตถุดิบต่าง ๆ ดังนี้ ปลาปน กากถั่วเหลืองหรือกากถั่วลิสง รำปลายข้าวหรือข้าวโพด กากน้ำตาล น้ำมันพืช เกลือ วิตามิน กรดอะมิโน คลอไรด์ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสำรวจราคาของอาหารสำเร็จรูปสำหรับเปิดไฟในตลาด กรุงเทพฯ ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2560 ตารางที่ 10 เปรียบเทียบราคาอาหารผสมที่เสนอด้วย LP เทียบกับราคาอาหารสำเร็จรูปโดยเฉลี่ย (หน่วยเป็นบาทต่อกิโลกรัม) พบว่า สูตรอาหารในแต่ละช่วงอายุของเปิดไฟที่นำเสนอด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์มีราคาต่ำกว่าราคาอาหารสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาด (ราคาดังกล่าวนี้ไม่รวมค่าขนส่ง) มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบราคาอาหารที่คำนวณด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์และราคาอาหารสำเร็จรูป

สูตรอาหารเปิดไฟ	ราคาอาหารผสม ที่เสนอด้วย LP (บาท/กก.)	ราคาอาหาร สำเร็จรูปโดยเฉลี่ย (บาท/กก.)	เปอร์เซ็นต์ของผลต่างระหว่าง ราคาอาหารผสมที่เสนอด้วย LP และราคาอาหารสำเร็จรูป (%)
อายุ 9 - 20 สัปดาห์	8.486	14.333	40.794
อายุ 24 - 48 สัปดาห์	8.598	16.167	46.818
อายุ 48 - 72 สัปดาห์	7.645	15.500	50.677

วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วยปลาปน กระจุกป็นมันสำปะหลัง กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่เกษตรกรสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก หากผสมตามคำแนะนำแล้ว ก็จะได้สูตรอาหารเปิดไฟที่มีโภชนาการตามความต้องการ แต่อย่างไรก็ตามการจัดซื้อวัตถุดิบสำหรับใช้ในการผสมอาหารสำหรับเลี้ยงเปิดไฟจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของวัตถุดิบด้วย เพราะเปิดไฟมีความต้านทานต่อสารปนเปื้อนต่ำมาก โดยเฉพาะเชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีในประเทศไทยซึ่งมีสภาพอากาศร้อนชื้น และวัตถุดิบอาหารที่เก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นสูงจะไม่ค่อยดีนักและก่อให้เกิดผลเสียต่อเปิดไฟได้

การผสมวัตถุดิบสำหรับใช้เป็นอาหารเลี้ยงเปิดไฟด้วยตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเกษตรกรในการผสมวัตถุดิบสำหรับเป็นอาหารเลี้ยงเปิดไฟที่มีต้นทุนต่ำสุด แทนการซื้ออาหารสำเร็จรูปที่มีราคาแพงที่จำหน่ายในท้องตลาด โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดมีสารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน รวมทั้งหาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งเปิดไฟต้องได้รับปริมาณสารอาหารตามความต้องการที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุของเปิดไฟ ดังนั้นการเลือกวัตถุดิบสำหรับใช้เป็นอาหารของเปิดไฟต้องคำนึงถึงส่วนประกอบทางโภชนาการที่มีอยู่ในวัตถุดิบแต่ละชนิด

จากการวิเคราะห์สูตรอาหารสำหรับเปิดไขในช่วงอายุ 9-20 สัปดาห์ วัตถุดิบที่ใช้มี 5 ชนิด ประกอบด้วย มันสำปะหลัง (มันเส้น) กากถั่วเหลือง กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และ กระจกป่น จำนวนเท่ากับ 0.459, 0.154, 0.278, 0.011 และ 0.024 ตามลำดับ ราคาต่อกิโลกรัม เท่ากับ 8.486 บาท

สูตรอาหารสำหรับเปิดไขในช่วงอายุ 24 – 48 สัปดาห์ วัตถุดิบที่ใช้มี 4 ชนิดประกอบด้วย มันสำปะหลัง(มันเส้น) กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และกระจกป่น จำนวนเท่ากับ 0.326, 0.675, 0.049 และ 0.023 ตามลำดับ ราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับ 8.598 บาท

สูตรอาหารสำหรับเปิดไขในช่วงอายุ 48 - 72 สัปดาห์ วัตถุดิบที่ใช้มี 6 ชนิด ประกอบด้วย มันสำปะหลัง (มันเส้น) กากถั่วเหลือง ไบโอมันสำปะหลังแห้งป่น กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และกระจกป่น จำนวนเท่ากับ 0.533, 0.065, 0.022, 0.297, 0.037 และ 0.024 ตามลำดับ ราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับ 7.645 บาท

ในอนาคต ผู้วิจัยจะนำสูตรอาหารที่ได้จากตัวแบบไปทดลองใช้งานจริงเพื่อเปรียบเทียบ การเจริญเติบโตหรือการให้ผลผลิตไข่ของเปิดที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปและอาหารที่เกษตรกร ผสมขึ้นเองตามคำแนะนำจากตัวแบบคณิตศาสตร์ นอกจากนี้จะทำการพัฒนาระบบสนับสนุน การตัดสินใจ (Decision Support Systems) สำหรับการกำหนดสูตรอาหารสำหรับไขเปิด การเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานสำหรับเกษตรกรในการนำสูตรอาหาร ไปใช้ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร

## เอกสารอ้างอิง

- Bureau of Animal Nutrition Development (2017). **Animal nutrition knowledge**. Retrieved September 8, 2017, from [http://nutrition.dld.go.th/Nutrition\\_Knowlage/nutrition\\_1.htm](http://nutrition.dld.go.th/Nutrition_Knowlage/nutrition_1.htm). (in Thai)
- Bureau of Animal Nutrition Development (2017). **Raw foods**. Retrived September 8, 2017, from [http://nutrition.dld.go.th/Nutrition\\_Knowlage/index\\_nutrition.htm](http://nutrition.dld.go.th/Nutrition_Knowlage/index_nutrition.htm). (in Thai)
- Naksakul, O. (2017). **Manufacturing and managing animal food to reduce product costs**. Retrieved September 8, 2017, from <http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/ebooks/2011/2011-013-0065/index.html>. (in Thai)
- Nath, T. and Talukdar, A. (2014). Linear programming technique in fish feed formulation. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, 17(3), 132-135.

- Lonescu, A. (2013). Microsoft Office Excel 2010: Operational research in excel 2010. **International Journal of Computer and Information Technology**, 2(5), 1026-579.
- Raingthaisong, B. and Sukmok, J. (2010). Swine feed ingredient by linear programming model. **Operations Research Network Conference 2010 (OR-Net 2010)**, Bangkok. (In Thai)
- Sirirak, S. and Burintrapiban, N. (2014). **Duck egg production and marketing in Songkhla province**. Retrieved March 28, 2018, from <http://pvlo-sgk.dld.go.th/th/images/stories/reseach57/dug57.pdf>. (in Thai)
- Sobut, Y., Kanjanapruthipong, J. and Sookmanee, N. (2010). The calculation program for feeding dairy cows in humid climates. **The 3<sup>rd</sup> National Conference on Information Technology (NCIT 2010)**, Bangkok. (in Thai)
- Winston, W.L. and Venkataramanan, M. 2002. **Introduction to mathematical programming: applications and algorithms**, 4<sup>th</sup> ed., Duxbury Press.
- Ziogas, C. (1983). Least – cost feed rations for sheep by linear programming. **Journal of economics and business**, 33, 58-68.
- .....