



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: “การแก้ไขปัญหาคความผันผวนของตลาดสุกรไทยโดยใช้วิธีบริหาร
จัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน”

โดย รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล และคณะ

มีนาคม 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการแก้ไขปัญหาคาความผันผวนของตลาดสุกรไทยโดยใช้วิธี บริหารจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. รศ.ดร.กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. รศ.ดร.มนต์ชัย ดวงจินดา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. อ.ศักดา คำจันทร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิม พระเกียรติ
5. อ.ประเสริฐ วิจิตรนพรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Applying supply chain management to solve demand and supply mismatching problem for swine industry

Supachai Pathumnakul^a, Kullapapruk Piewthongngam^b, Monchai Duangjinda^c, Sakda Khamjan^d and Prasert Vijitnoparat^b

^a*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

^b*Department of Economics, Faculty of Management Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

^c*Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

^d*Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus, Sakonnakhon 47000, Thailand*

Abstract—This research focuses on developing quantitative tools in managing pig supply chain. The research composes of three parts: 1. Applying system dynamics in managing breeding herd, 2. The use of pig size prediction in pig chain, 3. Forecasting production cost and capability in feed industry under variety and uncertainty of raw materials. For the first component, we develop a system dynamics model to simulate the linkage among all level of breeding farm such as great grand parent, grandparent, and fattening units. The relationship among these stages is represented by stock and flow of pigs constrained by actual conditions and environment in the farms. The flow imitate pig cycle in the farms, hence, it facilitates a planner in visualizing the situation of the whole chain. For the second component, we develop a model to estimate the distribution of pig size of a farm. The independent variables: feeding pattern, pig age, farming skill, sex, and genotype are used as input variables for Artificial Neural Network. The results show quite accurate prediction. Furthermore, the results can be used in the planning and managing of the adjacent units of the chain. For the last component, we develop an Artificial Neural Network model to estimate feed production cost under the variety and supply uncertainty of raw materials and machine conditions. This model is utilized in the industrial level and found that the accuracy of its results is acceptable for industrial use. Hence, during the high uncertainty of raw material, the purposed model can be an effective tool to manage cost of feed. Firm can use this information for production planning, and pricing more effectively.

Keywords— Supply Chain Management, System dynamic, Artificial Neural Network, Pig chain, Feed Industry

การแก้ไขปัญหาคาความผันผวนของตลาดสุกรไทยโดยใช้วิธีบริหารจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน

ศุภชัย ปทุมนากุล¹, กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม², มนต์ชัย ดวงจินดา³, ศักดา คำจันทร์⁴ และ ประเสริฐ วิจิตรนพรัตน์⁵

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002, ประเทศไทย

²สาขาเศรษฐศาสตร์, คณะวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002, ประเทศไทย

³ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002, ประเทศไทย

⁴คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ, สกลนคร 47000, ประเทศไทย

บทคัดย่อ—งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องมือเชิงปริมาณในการบริหารห่วงโซ่อุปทานของสุกร การศึกษาประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ 1.แบบจำลองพลวัตเชิงระบบ (System Dynamics) สำหรับการบริหารสุกรพันธุ์ 2.การพยากรณ์ผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานสุกร 3. การพยากรณ์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหาร เนื่องจากความหลากหลายและผันแปรของวัตถุดิบสำหรับเรื่องแบบจำลองพลวัตเชิงระบบสำหรับการบริหารสุกรพันธุ์ ทีมวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองพลวัตเชิงระบบมาเชื่อมโยงสุกรพันธุ์ ฟาร์มทวด ฟาร์มปู่/ย่า ฟาร์มพ่อ/แม่พันธุ์ และสุกรขุนด้วยกัน ความสัมพันธ์ของสถานะต่างๆของสุกรในฟาร์มแสดงในรูปแบบสต็อกและการเคลื่อนไหว โดยมีข้อกำหนดของการเข้าและออกและตามการเปลี่ยนแปลงของวงจรจริง การเคลื่อนไหวสามารถชี้แสดงการทำงานของแต่ละข้อของโซ่อุปทานสุกรการใช้แบบจำลองพลวัตจึงสามารถนำไปจำลองการไหลเวียนในโซ่อุปทานได้และช่วยให้ผู้วางแผนจินตนาการได้ดียิ่งขึ้น สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานสุกรนั้น ทางทีมวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับการกะประมาณอัตราการแลกเนื้อของสุกร และการประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในแต่ละขนาด ภายใต้รูปแบบและระยะเวลาการเลี้ยง ทักษะของ แต่ละฟาร์ม เพศและพันธุ์ที่แตกต่างกัน โดยอาศัยตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมนั้น พบว่า มีความแม่นยำที่ดีในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะไปใช้ในการประมาณผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานสุกร เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการวางแผน การบริหารจัดการหน่วยต่อเนื่องของโซ่ ส่วนการพยากรณ์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหาร ทางทีมวิจัยได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อประมาณต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ ภายใต้ความหลากหลายและการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมหลัก รวมทั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวแบบจำลอง และได้ผ่านการทดสอบใช้จริงในอุตสาหกรรม ซึ่งผลที่ได้ก็แสดงให้เห็นชัดเจนว่า มีความถูกต้องแม่นยำที่ดีในระดับที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุนี้ การกะประมาณต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหารก็เพื่อที่จะไปใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการต้นทุนของอาหารสัตว์ที่เกิดขึ้นจากความผันผวนของวัตถุดิบและการผลิต จะทำให้องค์กรสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เพื่อวางแผนการผลิต การขาย และการตั้งราคาอย่างมีประสิทธิภาพ

Keywords—การบริหารจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน, พลวัตเชิงระบบ, โครงข่ายประสาทเทียม, โซ่อุปทานสุกร ธุรกิจอาหารสัตว์

บทสรุปผู้บริหาร

ปัญหาของความผันผวนของตลาดสุกรไทยเกิดจากธรรมชาติของวงจรชีวิตสุกรที่ใช้เวลาหลายเดือนตั้งแต่ผสมพันธุ์ไปจนถึงเป็นสุกรขุน การผลิตสุกรนับตั้งแต่การเตรียมพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ จนกระทั่งผลิตเป็นสุกรขุน ใช้เวลาอย่างน้อยสุดประมาณเกือบ 2 ปีจึงจะสามารถผลิตสุกรจำหน่ายได้ การเตรียมวัตถุดิบต้นน้ำที่มีระยะเวลา ยาวจึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการปรับเปลี่ยนตามความต้องการตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ เราจึงประสบปัญหา จำนวนสุกรมากเกินกว่าความต้องการของตลาดจนทำให้ราคาตกต่ำ หรือน้อยเกินไปทำให้เกิดปัญหาสุกรราคาแพงอยู่อย่างเป็นวัฏจักร ลักษณะวัฏจักรของสุกรก็เป็นเหมือนกันกับดังที่กล่าวไว้ในแบบจำลอง Cob-Web คือ ผู้ผลิตสุกรตัดสินใจผลิตจากราคาในอดีต ดังนั้น เมื่อราคาสุกรเพิ่มขึ้น ผู้ผลิตก็จะตัดสินใจผลิตสุกรเพิ่ม ถ้าการตัดสินใจผลิตเพิ่มนั้น เป็นการเพิ่มพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์สุกรด้วย กำลังการผลิตของสุกรก็จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ ดังที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น การเพิ่มกำลังการผลิตของสุกรเพื่อตอบสนองความต้องการเนื้อสุกรที่เพิ่มขึ้นนั้น ไม่อาจจะทำได้ทันทีทันใด จะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 200 วัน เพื่อเพิ่มจำนวนลูกสุกรและสุกรขุน ดังนั้น เมื่อตอบสนองความต้องการตลาดไม่ได้อย่างทันท่วงที คุณภาพของตลาดจึงปรับตัวเข้าสู่ระดับปกติได้ค่อนข้างช้า ซึ่งการปรับตัวที่ไม่ทันนี้เองทำให้เกิดวัฏจักรของสุกรขึ้น และนอกจากนี้ ในการผลิตสุกรนั้น ต้นทุนอาหารเป็นส่วนสำคัญคิดเป็นร้อยละ 70-80 ของต้นทุนทั้งหมด ในสถานการณ์ที่ราคาพืชอาหารสัตว์มีความผันผวนนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนวัตถุดิบอาหารสัตว์บ่อยๆเพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำสุด แต่การเปลี่ยนวัตถุดิบบ่อยๆ กับส่งผลกระทบต่ออัตราการผลิตและต้นทุนการผลิต เนื่องจากในการเปลี่ยนวัตถุดิบแต่ละครั้งโรงงานผลิตอาหารสัตว์จะต้องเปลี่ยนพารามิเตอร์ของเครื่องจักร ด้วยการลองผิดลองถูกของการตั้งค่าพารามิเตอร์จึงทำให้เกิดการผลิตช้าค่อนข้างมาก ดังนั้น ความสามารถในการกะประมาณประมาณต้นทุนของแต่ละสูตรก่อนผลิตจริงจึงจะช่วยทำให้โรงงานอาหารสัตว์สามารถคัดเลือกสูตรที่มีต้นทุนการผลิตและต้นทุนวัตถุดิบเหมาะสมในการผลิตได้ งานวิจัยนี้จึงประกอบด้วยวัตถุประสงค์ ดังนี้ 1. เพื่อสร้างความเชื่อมโยงของหน่วยการผลิตสุกร ได้แก่ ผู้ค้าส่ง โรงงานแปรรูป โรงชำแหละสุกร ฟาร์มสุกรขุน ฟาร์มสุกร โรงงานอาหารสัตว์ โดยใช้พลวัตเชิงระบบ (System dynamics) 2. เพื่อสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของสุกรที่จำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียม 3. เพื่อสร้างแบบจำลองกะประมาณต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

เพื่อตอบวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยจึงนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องมือเชิงปริมาณในการบริหารโซ่คุณค่าของสุกร การศึกษาประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ 1.แบบจำลองพลวัตเชิงระบบ (System Dynamics) สำหรับการบริหารสุกรพันธุ์ 2.การพยากรณ์ผลผลิตสุกรในโซ่คุณค่าสุกร 3. การพยากรณ์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหาร เนื่องมาจากความหลากหลายและผันแปรของวัตถุดิบ สำหรับเรื่องแบบจำลอง

พลวัตเชิงระบบสำหรับการบริหารสุกรพันธุ์ ทีมวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองพลวัตเชิงระบบมาเชื่อมโยงสุกรพันธุ์ ฟาร์มทวด ฟาร์มปู่/ย่า ฟาร์มพ่อ/แม่พันธุ์ และสุกรขุนด้วยกัน ความสัมพันธ์ของสถานะต่างๆ ของสุกรในฟาร์ม แสดงในรูปสต็อกและการเคลื่อนไหว โดยมีข้อกำหนดของการเข้าและออกและตามการเปลี่ยนแปลงของวงจรจริง การเคลื่อนไหวสามารถใช้แสดงการทำงานของแต่ละข้อของโซ่อุปทานสุกรการใช้แบบจำลองพลวัตจึงสามารถนำไป จำลองการไหลเวียนในโซ่อุปทานได้และช่วยให้ผู้วางแผนจินตนาการได้ดียิ่งขึ้น สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตสุกร ในโซ่อุปทานสุกรนั้น ทางทีมวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับการกะประมาณอัตราการแลกเนื้อของสุกร และการ ประเมินร้อยละของปริมาณสุกรในแต่ละขนาด ภายใต้รูปแบบและระยะเวลาการเลี้ยง ทักษะของ แต่ละฟาร์ม เพศและพันธุ์ที่แตกต่างกัน โดยอาศัยตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมนั้น พบว่า มีความแม่นยำที่ดีในระดับหนึ่ง ซึ่ง สามารถที่จะไปใช้ในการประมาณผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานสุกร เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการวางแผน การ บริหารจัดการหน่วยต่อเนื่องของโซ่ ส่วนการพยากรณ์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหาร ทางทีมวิจัยได้ พัฒนาโปรแกรมเพื่อประมาณต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ ภายใต้ความหลากหลายและการเปลี่ยนแปลงของ วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมหลัก รวมทั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวแทนจำลอง และได้ผ่านการทดสอบใช้จริงในอุตสาหกรรม ซึ่งผลที่ได้ก็แสดงให้เห็นชัดเจนว่า มีความถูกต้องแม่นยำที่ดีในระดับ ที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุนี้ การกะประมาณต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหารก็เพื่อที่จะไปใช้เป็นเครื่องมือใน การบริหารจัดการต้นทุนของอาหารสัตว์ที่เกิดขึ้นจากความผันผวนของวัตถุดิบและการผลิต จะทำให้องค์กร สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เพื่อวางแผนการผลิต การขาย และการตั้งราคาอย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสนับสนุนของหลายฝ่าย ผมขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนด้านเงินทุนตลอดจนสร้างบรรยากาศ และโอกาสการทำวิจัยมาโดยตลอด การทำงานวิจัยนั้น นอกจากทุนสนับสนุนแล้ว นักวิจัยยังต้องมีกำลังใจที่ดี และความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้มีส่วนให้กำลังใจผมในระหว่างการทำงานเป็นอย่างมากก็คือ ศ.ดร.อารนต์ พัฒนินัย ความเมตตา กำลังใจและคำแนะนำที่ท่านให้กับผมนั้นมีค่ามากมายมหาศาล ท่านทำให้ผมรู้สึกว่ามีเพื่อนร่วมทางวิจัย คำพูดที่เปี่ยมด้วยความกรุณา ความทุ่มเทให้กับงานวิจัยตลอดจนความช่วยเหลือที่ท่านมีให้กับนักวิจัยอย่างผมอยู่ในความทรงจำของผมมาโดยตลอด ด้านข้อมูลสนับสนุน และความรู้เกี่ยวกับเรื่องธุรกิจสุกรที่ผมล้วนแล้วแต่ได้มาจากเครือข่าย โดยเฉพาะคุณวณัส แต่ไพสิฐพงษ์ กรรมการผู้จัดการใหญ่ ท่านได้ให้โอกาสผมได้เข้าไปเรียนรู้เรื่องธุรกิจเกษตรอย่างใกล้ชิดสำหรับผู้เริ่มบุกเบิกงานวิจัยด้านนี้แล้ว โอกาสนี้มีค่ายิ่ง ผมจะไม่มีวันได้เข้าไปสัมผัสกับอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง ถ้าท่านไม่ได้เปิดทางให้ นอกจากนี้ยังมีทีมงานของบริษัทท่านอื่นๆ ที่ผมไม่สามารถกล่าวถึงได้ทุกท่านแต่ความช่วยเหลือและคำแนะนำของท่านเป็นส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้ ด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆ ได้รับความร่วมมือและความทุ่มเทในการทำงานจากนักศึกษา เหล่านี้ล้วนเป็นกลไกที่สำคัญของความสำเร็จของงานวิจัยฉบับนี้ทั้งสิ้น

ศุภชัย ปทุมนากุล
หัวหน้าโครงการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
Abstract	ii
บทคัดย่อ	iii
บทสรุปผู้บริหาร	iv
กิตติกรรมประกาศ	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
ปัญหาความผันผวนของตลาดสุกรไทย	2
บทที่ 2 แบบจำลองพลวัตเชิงระบบ (System Dynamics) สำหรับการบริหารสุกรพันธุ์	7
ระดับพันธุ์ของสุกร	8
ความเชื่อมโยงของแต่ละระดับพันธุ์	9
โปรแกรมการจำลองสถานการณ์	10
ข้อมูลนำเข้า	10
สมการความสัมพันธ์ของแบบจำลอง	11
การจำลองสถานการณ์อัตราการตายของลูกสุกรยังไม่หย่านมผิดปกติ	20
บทที่ 3 การพยากรณ์ผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานสุกร	24
โครงข่ายประสาทเทียม	26
แนวทางและระเบียบวิธีวิจัย	29
ผลการวิจัย	31
สรุป	37
บทที่ 4 การพยากรณ์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหาร เนื่องจากความ	
หลากหลายและผันแปรของวัตถุดิบ	39
แนวทางและระเบียบวิธีวิจัย	40
ผลการวิจัย	43
สรุป	51
ภาคผนวก	53

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 ราคาสุกर्मชีวิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2539 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2550	3
1.2 องค์ประกอบของห่วงโซ่อุปทานของธุรกิจสุก	3
2.1 แบบจำลองความเชื่อมโยงของสุกพันธุ์	8
2.2 ระดับพันธุ์ของสุก	8
2.3 ความเชื่อมโยงของแต่ละระดับพันธุ์	9
2.4 ตัวอย่างแบบจำลองสถานการณ์ของห่วงโซ่อุปทานสุกในส่วนของสุกพันธุ์ระดับ GGP	10
2.5 วัฏจักรห่วงโซ่อุปทานสุกของสุกพันธุ์ระดับ GGP	15
2.6 จำนวนแม่สุกพันธุ์ระดับ GGP รวม	21
2.7 จำนวนแม่สุกพันธุ์ระดับ GP รวม	21
2.8 จำนวนแม่สุกระดับ parent รวม	22
2.9 จำนวนสุกขุนรวม	22
3.1 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากสุกหนึ่งตัว	25
3.2 โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบแพร่ย้อนกลับ	26
3.3 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณอัตราการแลกเนื้อของข้อมูลชุดทดสอบ	31
3.4 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณของข้อมูลชุดทดสอบ	32
3.5 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกในขนาดที่ 1 (น้ำหนักต่ำกว่า 87 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	33
3.6 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกในขนาดที่ 2 (น้ำหนัก 87 - 91 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	33
3.7 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกในขนาดที่ 3 (น้ำหนัก 92 - 96 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	34
3.8 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกในขนาดที่ 4 (น้ำหนัก 97 - 101 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	34
3.9 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกในขนาดที่ 5 (น้ำหนัก 102 - 117 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	35

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.10 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 6 (น้ำหนัก 118 - 122 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	35
3.11 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 7 (น้ำหนัก 123 - 127 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	36
3.12 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 8 (น้ำหนักมากกว่า 127 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ	36
4.1 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 1	44
4.2 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 2	45
4.3 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 3	45
4.4 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 4	46
4.5 รายงานผลการประมาณต้นทุนการผลิตอาหาร	47
4.6 แสดงโปรแกรมการประมาณต้นทุนอาหารเมื่อถูกเรียกใช้งาน	47
4.7 แสดงหน้าต่างโปรแกรมสำหรับกะประมาณต้นทุนอาหาร	48
4.8 แสดงการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อนำไปประมาณต้นทุนอาหาร	49
4.9 แสดงผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประมาณต้นทุนอาหาร	49
4.10 แสดงผลการประมาณต้นทุนอาหารด้วยโปรแกรม	50
4.11 รายงานผลการประมาณต้นทุนอาหาร	51
4.12 รายงานผลการประมาณเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต้นทุนอาหาร	51

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงรายละเอียดของตัวแปรนำเข้า	29
3.2 แสดงรายละเอียดของตัวแปรผลลัพธ์	30
3.3 แสดงผลการพัฒนาแบบจำลองการประมาณอัตราการแลกเนื้อ	31
3.4 แสดงผลการพัฒนาแบบจำลองการประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในแต่ละขนาด	32

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหาจำนวนสุกรล้นตลาดจนทำให้ราคาตกต่ำหรือขาดตลาดจนทำให้ราคาสูงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ในอดีต และแม้กระทั่งปัจจุบัน ปัญหาดังกล่าวก็ยังเกิดขึ้นอยู่และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องก็ยังไม่สามารถหาทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างแท้จริง แนวทางการแก้ปัญหาที่ผ่านมาเป็นการแก้ที่ปลายเหตุ เมื่อแก้จุดหนึ่งก็จะเกิดปัญหาอื่นๆตามมา เช่น นโยบายประกันราคาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรให้ขายสินค้าได้ในราคาที่เหมาะสม แต่กลับทำให้กลไกการทำงานของราคาบิดเบือน และทำให้ดุลยภาพระหว่างอุปสงค์และอุปทานของตลาดสินค้าเกษตรไม่ทำงานจนส่งผลให้ผู้บริโภคต้องกลายเป็นผู้ที่แบกรับราคาสินค้าที่สูงกว่าความเป็นจริง เป็นต้น

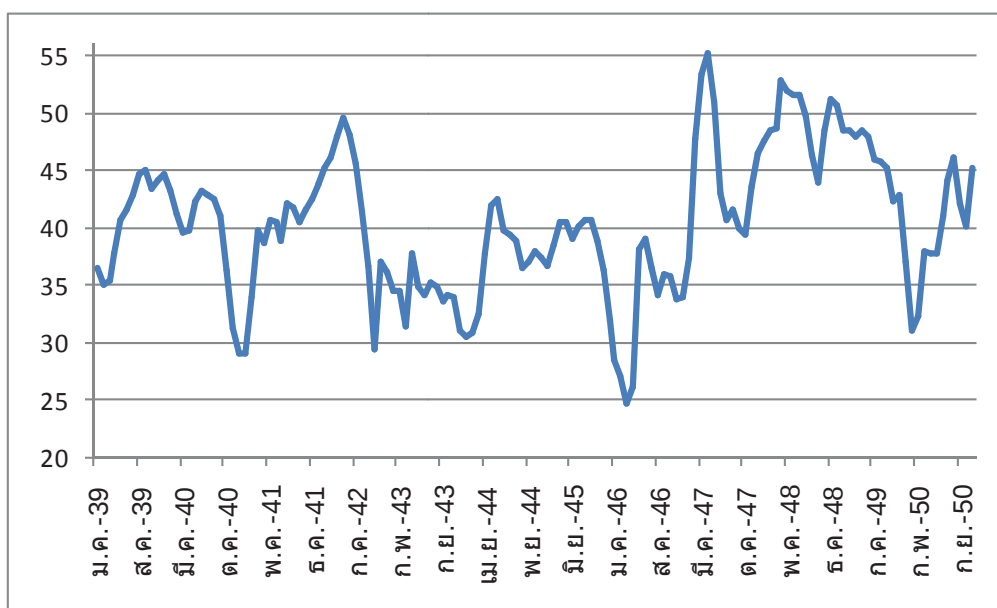
แนวคิดในการแก้ไขปัญหาสินค้าเกษตรที่ได้รับการกล่าวถึงเป็นอย่างมากในปัจจุบันและน่าจะเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาย่างเหมาะสมที่สุด คือ การจัดการห่วงโซ่อุปทานอย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการห่วงโซ่อุปทานนั้น เป็นการจัดการตั้งแต่ต้นน้ำไปยังปลายน้ำเพื่อให้สามารถสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้าได้ภายใต้ต้นทุนที่เหมาะสม และยังทำให้ดุลยภาพของอุปสงค์และอุปทานเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว กล่าวง่าย ๆ ก็คือ การร่วมมือกันบริหารการผลิตตั้งแต่เกษตรกร ไปจนถึงผู้บริโภค เพื่อให้สินค้านั้นมีต้นทุนที่ถูก ผู้บริโภคได้รับสินค้าที่ตนเองต้องการทั้งด้านปริมาณ ราคา และคุณภาพ โดยที่จำนวนสินค้าไม่มากจนล้นตลาดหรือไม่น้อยจนทำให้เกิดความขาดแคลน ถึงแม้แนวความคิดที่จะนำการจัดการแบบห่วงโซ่อุปทานเข้ามาแก้ไขปัญหาสินค้าเกษตรจะมีศักยภาพอย่างมากในการแก้ไขปัญหาวิกฤตสุกรที่ยืดเยื้อมานาน แต่ในทางปฏิบัติก็มีอุปสรรคอย่างมาก อุปสรรคหลักในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการจัดการแบบห่วงโซ่อุปทานของสินค้าเกษตรเกิดจากความยาวของห่วงโซ่และลักษณะของสินค้าเกษตรที่เป็นสินค้าเน่าเสียได้ (Perishable product) เมื่อเปรียบเทียบห่วงโซ่อุปทานของสินค้าเกษตรและสินค้าอื่นๆ จะพบว่า ห่วงโซ่ของอุตสาหกรรมเกษตรมีความซับซ้อนน้อยกว่าห่วงโซ่ของอุตสาหกรรมอื่นๆ เพราะห่วงโซ่อุปทานของสินค้าเกษตรหลักๆ จะประกอบด้วย เกษตรกรผู้ปลูกหรือผู้เพาะเลี้ยง โรงงานแปรรูป ศูนย์กระจายสินค้า ผู้ค้าและผู้บริโภค องค์ประกอบส่วนใหญ่ของห่วงโซ่หรือทั้งหมดของห่วงโซ่อุปทานนั้นตั้งอยู่ในประเทศไทย

(โดยเฉพาะ โรงงานแปรรูปอาหาร และเกษตรกร) ซึ่งแตกต่างจากห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น สินค้าไฮเทค หรืออิเล็กทรอนิกส์ที่อุตสาหกรรมส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง กระจายอยู่ในประเทศต่างๆ ทั่วโลก ดังนั้น สิ่งที่สร้างปัญหาต่อการจัดการห่วงโซ่อุปทานของสินค้าเกษตรจึงไม่ใช่เกิดจากความซับซ้อนของห่วงโซ่ แต่เกิดจากระยะเวลาในห่วงโซ่อุปทานและความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่ เวลาในการผลิตนับจากต้นน้ำไปจนถึงปลายน้ำมีระยะเวลาดำเนินการค่อนข้างยาว เช่น ในธุรกิจสุกร การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ไปจนถึงการเลี้ยงสุกรขุน การชำแหละ การแปรรูปและการจำหน่ายอาจจะต้องใช้ระยะเวลาหลายปี หรือในกรณีการทำสวนผลไม้ ระยะเวลาดังกล่าวตั้งแต่เริ่มเพาะปลูก ดูแลรักษา เก็บเกี่ยวไปจนกระทั่งแปรรูปและจำหน่ายอาจใช้เวลาเป็นปีแล้วแต่ชนิดของผลไม้ เมื่อห่วงโซ่อุปทานของสินค้าเกษตรมีระยะเวลาการผลิตค่อนข้างยาว ความไม่แน่นอนของสถานการณ์จึงส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการภายในห่วงโซ่ได้ง่าย

ปัญหาความผันผวนของตลาดสุกรไทย

ปัญหาของความผันผวนของตลาดสุกรไทยเกิดจากธรรมชาติของวงจรชีวิตสุกรที่ใช้เวลาหลายเดือนตั้งแต่ผสมพันธุ์ไปจนถึงเป็นสุกรขุน แม่พันธุ์สุกรจะเริ่มให้ลูกคอกแรกเมื่ออายุประมาณ 1 ปี สุกรแม่พันธุ์ตั้งท้องประมาณ 114 วัน การเลี้ยงสุกรขุนจนมีน้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัมจะใช้เวลาประมาณ 170 วัน สรุปได้ว่าการผลิตสุกรนับตั้งแต่การเตรียมพ่อแม่พันธุ์และแม่พันธุ์ จนกระทั่งผลิตเป็นสุกรขุน ใช้เวลาอย่างน้อยสุดประมาณเกือบ 2 ปีจึงจะสามารถผลิตสุกรจำหน่ายได้ การเตรียมวัตถุดิบต้นน้ำที่มีระยะเวลายาวจึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการปรับเปลี่ยนตามความต้องการตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ เราจึงประสบปัญหาจำนวนสุกรมากเกินกว่าความต้องการของตลาดจนทำให้ราคาตกต่ำ หรือน้อยเกินไปทำให้เกิดปัญหาสุกรราคาแพงอยู่อย่างเป็นวัฏจักร ลักษณะวัฏจักรของสุกรก็เป็นเหมือนกันกับดังที่กล่าวไว้ในแบบจำลอง Cob-Web คือ ผู้ผลิตสุกรตัดสินใจผลิตจากราคาในอดีต ดังนั้น เมื่อราคาสุกรเพิ่มขึ้น ผู้ผลิตก็จะตัดสินใจผลิตสุกรเพิ่ม ถ้าการตัดสินใจผลิตเพิ่มนั้น เป็นการเพิ่มพ่อแม่พันธุ์และแม่พันธุ์สุกรด้วย กำลังการผลิตของสุกรก็จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ ดังที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น การเพิ่มกำลังการผลิตของสุกรเพื่อตอบสนองความต้องการเนื้อสุกรที่เพิ่มขึ้นนั้น ไม่อาจจะทำได้ทันทีทันใด จะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 200 วัน เพื่อเพิ่มจำนวนลูกสุกรและสุกรขุน ดังนั้น เมื่อตอบสนองความต้องการตลาดไม่ได้อย่างทันท่วงที คุณภาพของตลาดจึงปรับตัวเข้าสู่ระดับปกติได้ค่อนข้างช้า ซึ่งการปรับตัวที่ไม่ทันนี้เองทำให้เกิดวัฏจักรของสุกรขึ้น ดังจะเห็นได้จากความผันผวนของราคาสุกรที่แสดงในภาพที่ 1.1 สร้างความเสียหายอย่างมากต่อธุรกิจและผู้เลี้ยงสุกร

ภาพที่ 1.1 ราคาสุกรมีชีวิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2539 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2550



จากเว็บไซต์ของกระทรวงพาณิชย์

ลักษณะของห่วงโซ่อุปทานของธุรกิจสุกร

ห่วงโซ่อุปทานของธุรกิจสุกร (ดังแสดงในภาพที่ 1.2) ประกอบด้วยฟาร์มเพื่อผลิตสุกรพันธุ์ ฟาร์มเพื่อผลิตสุกรขุน โรงเชือด โรงงานแปรรูปและตัดแต่งเนื้อสุกรสด และลูกค้าซึ่งประกอบด้วยผู้ค้าส่ง ค้าปลีก และผู้บริโภค ช่วงต้นน้ำคือฟาร์มเพื่อผลิตสุกรพันธุ์ และฟาร์มเพื่อผลิตสุกรขุน เป็นช่วงเวลาการผลิตสุกรที่ใช้เวลานานและเผชิญกับความไม่แน่นอนค่อนข้างสูง แม่พันธุ์จะให้ลูกคอกแรกเมื่ออายุประมาณ 1 ปี และการขุนสุกรจากแรกคลอดไปจนถึงเป็นสุกรขุนน้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัมใช้เวลาประมาณ 170 วัน ส่วนระยะเวลาในการผลิตของห่วงโซ่ช่วงปลายน้ำ คือ โรงเชือด และโรงงานแปรรูปและตัดแต่งเนื้อสดนั้นใช้เวลาประมาณ 1 – 2 วัน ดังนั้น การที่เนื้อสุกรเป็นสินค้าเน่าเสียมีอายุจำกัดและห่วงโซ่ที่ยาวทำให้การจัดให้ระบบทำงานสอดคล้องกันทำได้ค่อนข้างยาก

ภาพที่ 1.2 องค์ประกอบของห่วงโซ่อุปทานของธุรกิจสุกร



แนวทางแก้ไขปัญหาวัวจักรสุกร

จะเห็นว่าปัญหาหลักของตลาดสุกรทั้งสองข้อสามารถแก้ไขได้ด้วยการจัดการที่ดี แต่เนื่องมาจากความซับซ้อน ของผลิตภัณฑ์ร่วมและความยาวของห่วงโซ่และความไม่แน่นอนของธรรมชาติของวงจรชีวิตสุกร จึงทำให้การจัดการเป็นไปได้ค่อนข้างยาก ความไม่แน่นอนของห่วงโซ่อุปทานสินค้าเกษตรเกิดมากที่สุดในช่วงต้นน้ำของห่วงโซ่ตั้งแต่เกษตรกรไปยังโรงงานแปรรูป เช่น โอกาสในการผสมติด จำนวนลูกสุกรที่ได้ในแต่ละคอก โรคระบาด จำนวนลูกสุกรรอดชีวิต เป็นต้น ดังนั้น การจัดการและการวางแผนในช่วงต้นน้ำจึงมีความสำคัญและจำเป็นมากต่ออุตสาหกรรมปลายน้ำ เราจึงควรจะต้องมีการวางแผนการจัดการอย่างเป็นระบบเพื่อลดความไม่แน่นอนต่างๆ ลง ซึ่งอาจจะกระทำได้โดยการใช้เทคนิคการวางแผนและการจัดการแบบต่างๆ เข้าช่วย เช่น การจำลองสถานการณ์ (simulation) เป็นต้น ในความเป็นจริงแล้ว การวางแผนและจัดการโดยการใช้หลักการทางทฤษฎีการปฏิบัติงาน (operations research, OR) และเทคนิคทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ มานานแล้ว แต่การนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรยังมีน้อย โดยเฉพาะในส่วนการวางแผนการผลิตที่ต้นน้ำ ตัวอย่างการตัดสินใจ เช่น ระยะเวลาในการเริ่มผลิตสุกรและเวลาที่เลี้ยง ปริมาณสุกรขุน และรูปแบบการเลี้ยง เป็นต้น การตัดสินใจเหล่านี้ เราสามารถนำเทคนิคทางการวิจัยการปฏิบัติงานและการจำลองสถานการณ์มาประยุกต์ในการวางแผนได้ทั้งสิ้น ข้อดีของการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ คือ การอำนวยความสะดวกในการตัดสินใจภายใต้ข้อมูลจำนวนมาก การตัดสินใจภายใต้ขนาดข้อมูลใหญ่และขั้นตอนหลายขั้นตอน เป็นสิ่งที่คนทั่วไปไม่สามารถทำได้ถ้าไม่มีโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่าโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย จึงอาจกล่าวได้ว่า เทคนิคทางคณิตศาสตร์และฐานข้อมูลในการวางแผนการผลิตเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญในการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานอย่างมีประสิทธิภาพ

และนอกจากนี้ ในการผลิตสุกรนั้น ต้นทุนอาหารเป็นส่วนสำคัญคิดเป็นร้อยละ 70-80 ของต้นทุนทั้งหมด ในสถานการณ์ที่ราคาพืชอาหารสัตว์มีความผันผวนนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนวัตถุดิบอาหารสัตว์บ่อยๆ เพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำสุด แต่การเปลี่ยนวัตถุดิบบ่อยๆ กับส่งผลกระทบต่ออัตราการผลิตและต้นทุนการผลิต เนื่องจากคุณลักษณะของคุณภาพ (quality characteristic) ของอาหารสัตว์นั้นประกอบด้วยส่วนของคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (nutrition) และคุณลักษณะทางกายภาพ (physical) ของอาหารสัตว์จะมีความต้องการคุณค่าของอาหารที่ต้องการแตกต่างกันตามชนิดและช่วงอายุ เช่น ไก่ไข่ ในแต่ละช่วงอายุจะมีความต้องการคุณค่าอาหารด้านไขมัน (fat) โปรตีน (protein) เส้นใย (fiber) และอื่นๆ ที่แตกต่างกัน หรือความแตกต่างของคุณค่าอาหารระหว่างอาหารสุกรและอาหารไก่ เป็นต้น ในส่วนกายภาพนั้น ลักษณะของอาหารในรูปแบบเป็นเม็ด หรือเม็ดขบ หรือผง หรือขนาดของเม็ดอาหาร และความคงทนของอาหาร (durability) จะแตกต่างกันไปตามประเภทของสัตว์และลักษณะการใช้งาน คุณสมบัติทางคุณค่าทางโภชนาการนั้นจะสัมพันธ์กันโดยตรงกับวัตถุดิบและสัดส่วนของวัตถุดิบ (raw material inclusion) ที่ใช้ในการผสม การคำนวณหาสัดส่วนการผสมที่ได้คุณค่าอาหารที่ต้องการนั้น ในปัจจุบันสามารถคำนวณได้จาก

การใช้ โปรแกรมเชิงเส้นตรง (linear programming) ในการคำนวณเพื่อให้มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุดหรือที่เรียกว่า “least cost formulation”

ส่วนผสมของวัตถุดิบในแต่ละสูตรอาหารจะมีผลต่อกระบวนการผลิตโดยเฉพาะเครื่องอัดเม็ด (pelleting machine) ในบางสูตรอาหาร การผลิตอาจจะผลิตได้ง่ายและเร็ว ในขณะที่บางสูตรอาหารจะผลิตได้ยากหรือช้า นอกจากนี้การผลิตให้ได้คุณลักษณะทางกายภาพและความยากง่ายของการผลิตยังต้องขึ้นอยู่กับ การปรับเปลี่ยนตัวแปรการผลิต (processing parameters) ของเครื่องอัดเม็ด เช่น ความหนาของได (die thickness) ความเร็วของเครื่องป้อน (feeder speed) และอุณหภูมิ (feed temperature) เป็นต้น

ตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อความยากง่ายของการอัดเม็ดคือ ไขมัน (fat) ที่เติมลงในเครื่องผสม (mixer) โดยปกติแล้วคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์จะต้องคำนึงถึงสัดส่วนของไขมัน หากไขมันในวัตถุดิบมีไม่เพียงพอตามความต้องการ ในการผลิตจะมีการเติมไขมันเข้าไปในสูตรอาหารโดยตรง การเพิ่มไขมันนั้นทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ การเติมไขมันเข้าไปในเครื่องผสม เป็นการผสมเข้ากับวัตถุดิบอื่นๆ โดยตรงก่อนการอัดเม็ด และการเติมไขมันหลังการอัดเม็ด การเติมอาหารที่เครื่องผสมโดยตรงจะมีผลต่อความยากง่ายในการอัดเม็ด ในขณะที่การเติมไขมันหลังการอัดเม็ดจะไม่มีผลต่อความยากง่ายในการอัด โดยหลักการทั่วไปแล้วสูตรอาหารที่มีส่วนผสมของไขมัน (fat) สูงจะช่วยให้การอัดเม็ดเป็นไปได้ง่ายและเร็วขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม ไขมันที่มากเกินไปในขณะที่อัดเม็ด จะทำให้คุณสมบัติด้านความคงทน (durability) ของเม็ดลดลง ซึ่งหากค่า durability ต่ำเกินไปจะทำให้เม็ดอาหารแตกหักง่ายไม่เป็นที่ต้องการของผู้ซื้อ สัดส่วนการเติมไขมันลงเครื่องอัดเม็ดจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติความทนทานของเม็ดและอัตราเร็วของการผลิตควบคู่กันไป ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งของกระบวนการผลิตและความคงทนของเม็ดและอัตราเร็วของการผลิตคือขนาดความหนาของได (die thickness) การอัดเม็ดบนไดที่มีความหนามากจะทำให้เม็ดมีความแน่นและความคงทนสูงกว่าการผลิตบนไดที่มีความหนาน้อยกว่า ในขณะเดียวกันอัตราเร็วของการผลิตบนไดที่บางจะมีสูงกว่าบนไดที่มีความหนามากกว่า นอกจากขนาดความหนาของไดแล้ว ตัวแปรกระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น อัตราเร็วของการป้อน (feeder speed) อุณหภูมิการป้อน (feed temperature) และความดันไอน้ำก็มีผลกระทบต่อความคงทนของเม็ดและอัตราเร็วของการผลิตเช่นกัน แต่เป็นปัจจัยรองเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดความหนาของได เช่น เมื่อความหนาของไดสูงขึ้น เม็ดที่ผลิตได้จะมีความคงทนมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามความหนาของไดน้อย เม็ดอาหารจะมีความคงทนน้อยลง หรือเมื่อเติมไขมันลงใน mixer มากขึ้น ความคงทนของเม็ดจะลดลง ในทางตรงกันข้ามหากมีการเติมไขมันที่เครื่อง mixer น้อย เม็ดที่ผลิตได้จะมีความคงทนมากขึ้น ดังนั้น ในการเปลี่ยนวัตถุดิบแต่ละครั้ง โรงงานผลิตอาหารสัตว์จะต้องเปลี่ยนพารามิเตอร์ของเครื่องจักรด้วยการลองผิดลองถูกเพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ การลองผิดลองถูกนี้เองทำให้เกิดการผลิตช้าค่อนข้างมาก จะเห็นได้ว่า ความสามารถใน

การกะประมาณว่าสูตรใดจะส่งผลต่อการผลิตอย่างไร ก่อนที่จะมีการผลิตจริงจึงจะช่วยทำให้โรงงานอาหารสัตว์สามารถคัดเลือกสูตรที่มีต้นทุนการผลิตและต้นทุนวัตถุดิบเหมาะสมในการผลิตได้

จากปัญหาการผลิตอาหารสัตว์และรัฐจักรสุกร ดังกล่าวข้างต้น ทีมวิจัยจึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้แก้ปัญหาที่กล่าวถึงนี้ ดังมีวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

1. เพื่อสร้างความเชื่อมโยงของหน่วยการผลิตสุกร ได้แก่ ผู้ค้าส่ง โรงงานแปรรูป โรงชำแหละสุกร ฟาร์มสุกรขุน ฟาร์มสุกร โรงงานอาหารสัตว์ โดยใช้พลวัตเชิงระบบ (System dynamics)
2. เพื่อสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของสุกรที่จำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
3. เพื่อสร้างแบบจำลองกะประมาณต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

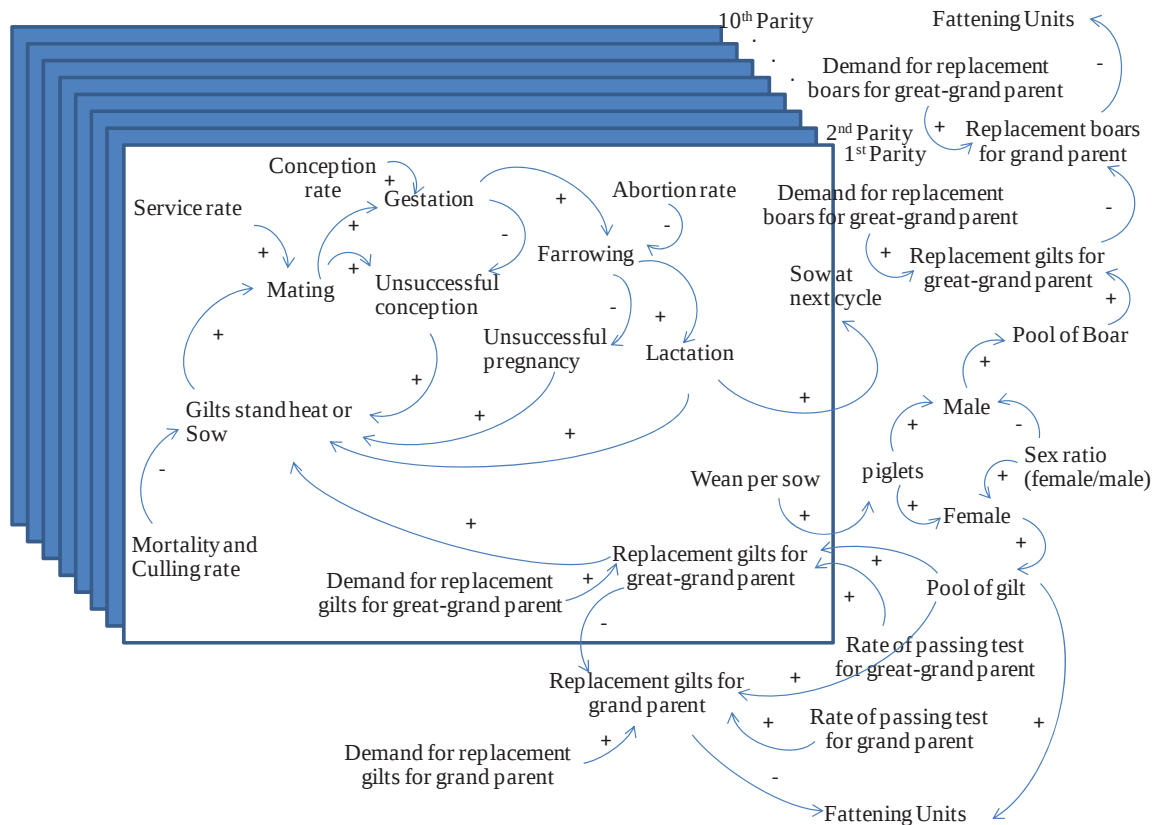
แบบจำลองพลวัตเชิงระบบ (System Dynamics) สำหรับการบริหารสุกรพันธุ์

ห่วงโซ่อุปทานของสุกรมีลักษณะเป็นองค์กรขยายที่ประกอบด้วยรุ่นทวด รุ่นปู่ย่า รุ่นพ่อ/แม่พันธุ์ สุกรขุนและโรงเชือด ซึ่งหากขยายองค์กรออกไปยังปลายน้ำจะรวมถึงผู้กระจายสินค้าและร้านค้าปลีกค้าส่ง ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ในรูปสต็อกและการไหล โดยมีข้อกำหนดของการเข้าและออก และตามการเปลี่ยนแปลงของวงจรจริง (Georgiadis et al., 2005) การไหลสามารถใช้ในการแสดงการทำงานของแต่ละข้อของห่วงโซ่อุปทานสุกร การใช้แบบจำลองพลวัตเชิงระบบจึงสามารถนำไปจำลองการไหลเวียนในห่วงโซ่อุปทานได้และช่วยให้ผู้วางแผนจินตนาการได้ดียิ่งขึ้น (ตามภาพที่ 2.1)

โครงสร้างของพลวัตเชิงระบบแสดงได้ในรูปแบบของแผนภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการตอบกลับด้วยสต็อกและการไหลของกลไกดังกล่าวเป็นได้สองทางคือเป็นกลไกที่บวกหรือลบสต็อก ตัวแปรสต็อกแทนการสะสมในระบบเช่น สต็อกของแม่สุกร หมายถึงจำนวนแม่สุกรที่อยู่ในสถานะต่างๆ และตัวแปรที่ไหลหมายถึงอัตราการไหลเข้าหรือออกจากระบบ เช่น อัตราการเกิดของลูกสุกร อัตราการตาย เป็นต้น งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Stella® ในการสร้างแบบจำลอง เครื่องหมายบวกแสดงความสัมพันธ์ทางบวก เช่น เมื่ออัตราการผสมติดสูง จำนวนแม่สุกรตั้งท้องก็จะสูงตามไปด้วย และลบแสดงความสัมพันธ์ทางลบ เช่น หากอัตราการแท้งสูงจำนวนแม่สุกรเข้าคลอดก็จะต่ำลง

แบบจำลองความเชื่อมโยงของสุกรพันธุ์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างความเชื่อมโยงระหว่างสุกรพันธุ์ระดับ Great grandparent (GGP), Grandparent (GP), และ parent ซึ่งสายพันธุ์ที่บริษัทใช้เป็นสายพันธุ์ Large white และ สายพันธุ์ Landrace ทั้งในระดับ GGP และ GP เป็นสายพันธุ์แท้ ส่วนระดับ parent เป็นการผสมข้ามสายพันธุ์ (2X) ความเชื่อมโยงของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เราจำลองสถานการณ์ของฟาร์มหมายเลข 5 (ของเครือเบทาโกร) ซึ่งเป็นฟาร์มผลิตสุกรระดับ GGP และ GP ทั้งสองสายพันธุ์ ฟาร์มหมายเลข 2 ซึ่งเป็นฟาร์มผลิตสุกรระดับ GP พันธุ์ LW และ LR และฟาร์มนครปฐมหรือฟาร์ม NP ซึ่งเป็นฟาร์มผลิตสุกรระดับ 2X

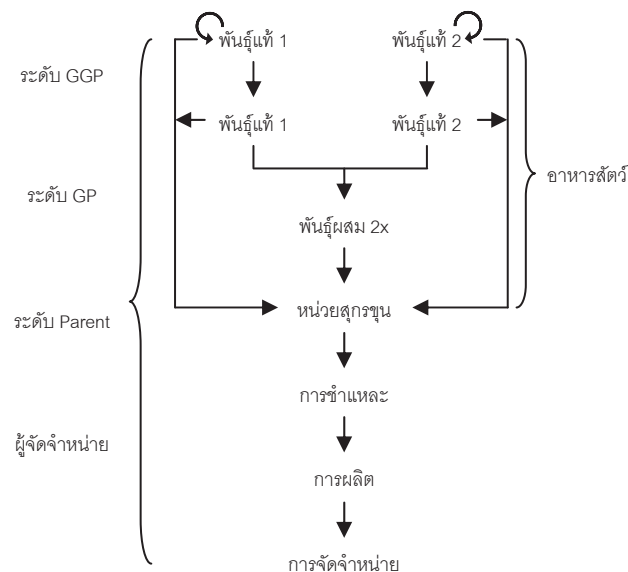
ภาพที่ 2.1 แบบจำลองความเชื่อมโยงของสุกรพันธุ์



1. ระดับพันธุ์ของสุกร

ห่วงโซ่อุปทานสุกรในกรณีศึกษานั้นจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนของสุกรพันธุ์ระดับ GGP, GP, parent และระดับสุกรขุน ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 ระดับพันธุ์ของสุกร



1.1 สุกรพันธุ์ระดับ GGP คือ ระดับสุกรแม่พันธุ์รุ่นทวดซึ่งมีอยู่สองสายพันธุ์คือ ลาร์จไวท์ (Large White: LW) และ แลนด์เรซ (Landrace:LR) ลูกสุกรที่ได้จากสุกรพันธุ์ระดับ GGP จัดได้เป็นสามระดับคือ หนึ่งลูกสุกรพันธุ์ที่สามารถคัดเป็นแม่สุกรพันธุ์ระดับ GGP สองลูกสุกรพันธุ์ที่ตกเกรดจากระดับ GGP สามารถคัดเป็นแม่สุกรพันธุ์ระดับ GP และสามลูกสุกรที่จัดเป็นลูกสุกรขุน

1.2 สุกรพันธุ์ระดับ GP คือ ระดับสุกรแม่พันธุ์พันธุ์ที่ตกเกรดจากระดับ GGP ลงมา ซึ่งมีสองสายพันธุ์เช่นกัน โดยที่ลูกสุกรที่ได้จากระดับนี้จะถูกจัดเป็นสองระดับคือ หนึ่งลูกสุกรพันธุ์ที่จัดเป็นลูกสุกรที่สามารถนำไปเป็นสุกรแม่พันธุ์ระดับ parent และสองลูกสุกรที่จัดเป็นลูกสุกรขุน

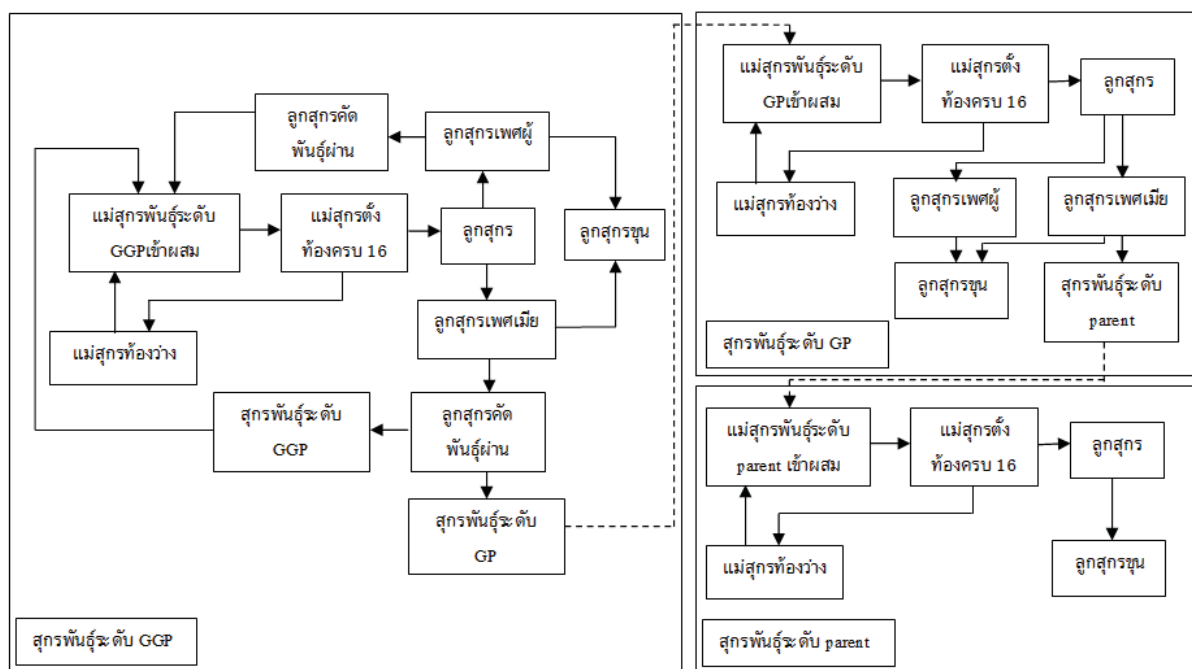
1.3 สุกรพันธุ์ระดับ Parent คือ ระดับสุกรที่เกิดจากการผสมสุกร 2 สายพันธุ์เข้าด้วยกัน ซึ่งลูกสุกรที่ได้จะถูกจัดเป็นลูกสุกรขุนทั้งหมด

1.4 ระดับสุกรขุน คือ ระดับสุกรที่จัดว่ามีเพียงสุกรขุนเพียงอย่างเดียว ลูกสุกรในระดับสุกรขุนไม่สามารถคัดเป็นแม่พันธุ์ได้

2. ความเชื่อมโยงของแต่ละระดับพันธุ์

เนื่องจากระดับพันธุ์แต่ละระดับมีการส่งแม่สุกรพันธุ์ที่คัดเกรดผ่านจากลูกสุกรพันธุ์เข้าไปเพื่อทดแทน ดังนั้นแต่ละระดับพันธุ์จึงมีความเชื่อมโยงกันแสดงดังภาพที่ 2.3

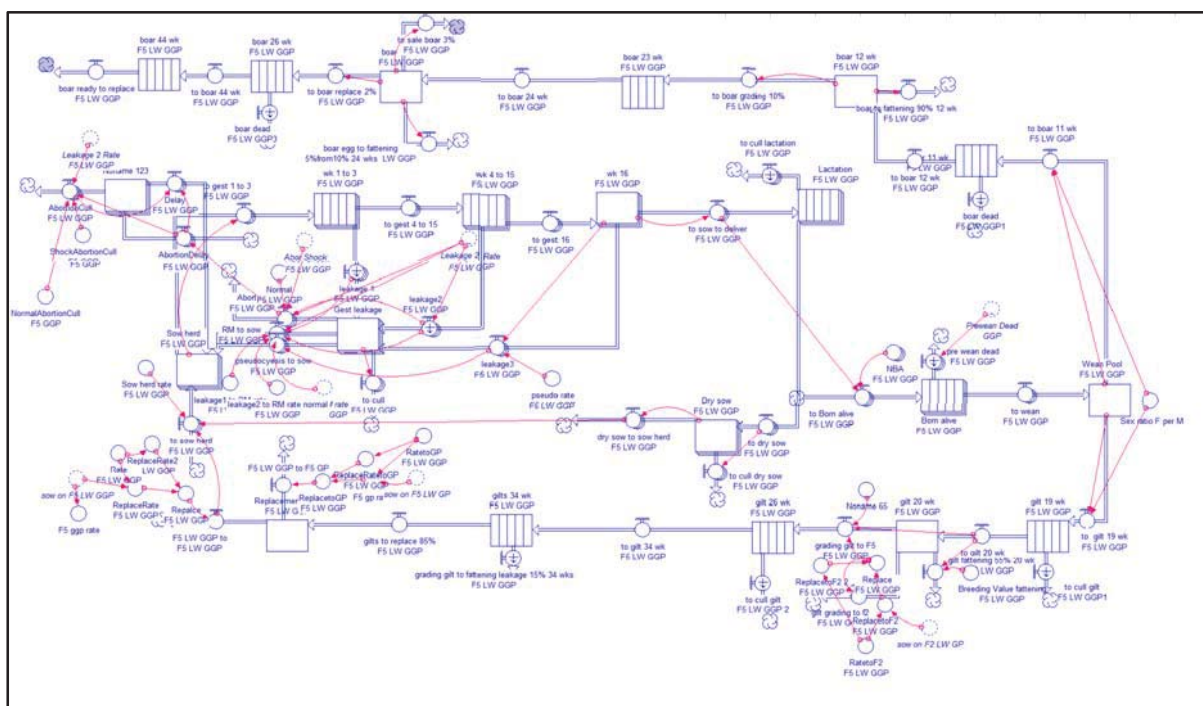
ภาพที่ 2.3 ความเชื่อมโยงของแต่ละระดับพันธุ์



3. โปรแกรมการจำลองสถานการณ์

ในการจำลองสถานการณ์ของห่วงโซ่อุปทานสุกรแบบบูรณาการนั้นงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมพลวัตระบบ STELLA ในการสร้างแบบจำลองเพื่อให้สามารถเข้าใจถึงการไหลของห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่การเข้าผสมของสุกรแม่พันธุ์ จนถึงการขุนลูกสุกรเพื่อส่งออกไปแปรรูป ซึ่งในการจำลองสถานการณ์ได้จำลองตั้งแต่ส่วนของสุกรพันธุ์ระดับ GGP, GP, parent และระดับสุกรขุน ตัวอย่างแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างแบบจำลองสถานการณ์ของห่วงโซ่อุปทานสุกรในส่วนของสุกรพันธุ์ระดับ GGP



4. ข้อมูลนำเข้า

ในการสร้างแบบจำลองได้นำข้อมูลเข้าเพื่อเป็นค่าตั้งต้น ซึ่งได้มาจากข้อมูลในอดีตของบริษัทกรณีศึกษา และเป็นข้อมูลในช่วงปกติโดยมีข้อมูลนำเข้าคือ

- 4.1 จำนวนสุกรแต่ละช่วง เช่น สุกรแม่พันธุ์ตั้งท้อง 1-16 สัปดาห์, จำนวนลูกสุกร, จำนวนสุกรเพศผู้-เพศเมียในแต่ละสัปดาห์, จำนวนสุกรรวมในแต่ละระดับพันธุ์ เป็นต้น
- 4.2 อัตราการผสมไม่ติดในช่วงสุกรตั้งท้อง ได้แก่ อัตราการผสมไม่ติด, อัตราการแท้ง และอัตราการท้องลม
- 4.3 อัตราการสูญเสียลูกสุกร ได้แก่ อัตราการตายของลูกสุกรยังไม่หย่านม, อัตราการตายในช่วงอายุต่างๆ

4.4 อัตราการคัดเกรดลูกสุกรพันธุ์ดีของลูกสุกรเพศผู้และเพศเมีย ในสุกรพันธุ์ระดับ GGP, GP และ parent

4.5 อัตราการคัดลูกสุกรขุน

4.6 อัตราการตกเกรดเป็นระดับสุกรขุนของลูกสุกรพันธุ์ดีในสุกรเพศเมีย

4.7 อัตราการตกเกรดเป็นระดับสุกรขุน ผู้ไข่ ของลูกสุกรพันธุ์ดีในสุกรเพศผู้

4.8 อัตราการทดแทนแม่สุกรจากลูกสุกรพันธุ์ดีในแต่ละระดับพันธุ์

4.9 อัตราการตายและคัดทิ้งของ แม่สุกรพันธุ์ลูกสุกรเพศผู้ และลูกสุกรเพศ ,พ่อสุกรพันธุ์ ,เมีย ในช่วงสัปดาห์ต่างๆ

5. สมการความสัมพันธ์ของแบบจำลอง

ส่วนของแม่สุกร

ความเชื่อมโยงของแบบจำลองสุกรเริ่มจาก การนำแม่สุกรที่ท้องว่างที่พร้อมผสมเข้ามาผสมพันธุ์ หลังผสมแล้ว โดยนำข้อมูลในอดีตมาสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ในรูป Stella® code ดังต่อไปนี้

- สัปดาห์ที่ 1-3 มีอัตราการผสมไม่ติดตามสถิติของฟาร์ม

$$\begin{aligned} \text{wk_1_to_3_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t) &= \text{wk_1_to_3_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t - dt) + \\ &(\text{to_gest_1_to_3_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] - \text{to_gest_4_to_15_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] - \\ &\text{leakage_1_F5_LW_GGP}[\text{parity0}]) * dt \end{aligned}$$

INIT wk_1_to_3_F5_LW_GGP[parity0] = 8.16,8.16,8.16

TRANSIT TIME = 3

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

INFLOWS:

to_gest_1_to_3_F5_LW_GGP[parity] = Sow_herd__F5_LW_GGP[parity]

OUTFLOWS:

to_gest_4_to_15_F5_LW_GGP[parity] = CONVEYOR OUTFLOW

leakage_1_F5_LW_GGP[parity] = LEAKAGE OUTFLOW

LEAKAGE FRACTION = (5+0.125*3)/100

NO-LEAK ZONE = 0

- สัปดาห์ที่ 4-15 เพิ่มอัตราการแท้งและผสมไม่ติด

$$wk_4_to_15_F5_LW_GGP[parity0](t) = wk_4_to_15_F5_LW_GGP[parity0](t - dt) +$$

$$(to_gest_4_to_15_F5_LW_GGP[parity0] - to_gest_16_F5_LW_GGP[parity0] -$$

$$leakage2_F5_LW_GGP[parity0]) * dt$$

$$INIT\ wk_4_to_15_F5_LW_GGP[parity0] =$$

$$7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72, 7.72$$

$$TRANSIT\ TIME = 12$$

$$INFLOW\ LIMIT = INF$$

$$CAPACITY = INF$$

INFLOWS:

$$to_gest_4_to_15_F5_LW_GGP[parity] = CONVEYOR\ OUTFLOW$$

OUTFLOWS:

$$leakage2_F5_LW_GGP[parity] = LEAKAGE\ OUTFLOW$$

$$LEAKAGE\ FRACTION = Leakage_2_Rate_F5_LW_GGP$$

$$NO-LEAK\ ZONE = 0$$

- สัปดาห์ที่ 16 เพิ่มการท้องลม

$$wk_16_F5_LW_GGP[parity0](t) = wk_16_F5_LW_GGP[parity0](t - dt) +$$

$$(to_gest_16_F5_LW_GGP[parity0] - to_sow_to_deliver_F5_LW_GGP[parity0] -$$

$$leakage3_F5_LW_GGP[parity0]) * dt$$

$$INIT\ wk_16_F5_LW_GGP[parity0] = 7.4$$

INFLOWS:

$$to_gest_16_F5_LW_GGP[parity] = CONVEYOR\ OUTFLOW$$

OUTFLOWS:

$$to_sow_to_deliver_F5_LW_GGP[parity] = wk_16_F5_LW_GGP[parity]$$

$$leakage3_F5_LW_GGP[parity] = wk_16_F5_LW_GGP[parity] * pseudo_rate_F5_LW_GGP$$

- ในทุกๆสัปดาห์ของการตั้งท้องมีการคัดแม่สุกรทิ้ง

- หลังจากสัปดาห์ที่ 16 แม่สุกรจะเข้าสู่กระบวนการคลอด ซึ่งจำนวนลูกสุกรจะแตกต่างกันในแต่ละท้องของแม่สุกร โดยเฉลี่ยอัตราการให้ลูกมีชีวิตจะอยู่ที่ประมาณ 10 ตัวต่อแม่สุกรหนึ่งตัว การให้ลูกสุกรของแม่สุกรท้องสาวจะมีจำนวนลูกต่อคลอดน้อย แม่สุกรจะมีอัตราการให้ลูกสูงสุดเมื่อท้องครั้งที่ 3 – 5 หลังจากนั้น อัตราการให้ลูกจะลดลงเมื่อแม่สุกรเริ่มมีอายุเพิ่มขึ้น ในแบบจำลองนี้สมมติให้มีการคัดทิ้งแม่สุกรหลังจากท้องครั้งที่ 9 แล้ว

Born_alive__F5_LW_GGP[parity0](t) = Born_alive__F5_LW_GGP[parity0](t - dt) +
(to_Born_alive__F5_LW_GGP[parity0] - pre_wean_dead_F5_LW_GGP[parity0] -
to_wean_F5_LW_GGP[parity0]) * dt

INIT Born_alive__F5_LW_GGP[parity0] = 67.59,67.59,67.59

TRANSIT TIME = 3

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

INFLOWS:

to_Born_alive__F5_LW_GGP[parity] =

to_sow_to_deliver__F5_LW_GGP[parity]*NBA__F5_LW_GGP[parity]

OUTFLOWS:

pre_wean_dead_F5_LW_GGP[parity] = LEAKAGE OUTFLOW

LEAKAGE FRACTION = Prewean_Death_GGP

NO-LEAK ZONE = 0

to_wean_F5_LW_GGP[parity] = CONVEYOR OUTFLOW

- สัปดาห์ที่ 16-19 เป็นช่วงที่แม่สุกรให้นมลูกสุกรเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในช่วงนี้มีการคัดแม่สุกรทิ้งด้วย

Lactation__F5_LW_GGP[parity0](t) = Lactation__F5_LW_GGP[parity0](t - dt) +

(to_sow_to_deliver__F5_LW_GGP[parity0] - to_cull_lactation_F5_LW_GGP[parity0] -

to_dry_sow__F5_LW_GGP[parity0]) * dt

INIT Lactation__F5_LW_GGP[parity0] = 7.35,7.35

TRANSIT TIME = 2

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

INFLOWS:

to_sow_to_deliver__F5_LW_GGP[parity] = wk_16_F5_LW_GGP[parity]

OUTFLOWS:

to_cull_lactation_F5_LW_GGP[parity] = LEAKAGE OUTFLOW

LEAKAGE FRACTION = 0.057

NO-LEAK ZONE = 0

to_dry_sow__F5_LW_GGP[parity] = CONVEYOR OUTFLOW

- หลังลูกสุกรหย่านมในสัปดาห์ที่ 19 แม่สุกรจะพักเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (ช่วงท้องว่างแทนด้วย dry sow) หลังจากพักแล้วจึงนำสุกรไปผสมเป็นแม่สุกรท้องอีกครั้ง แบบจำลองนี้ใช้การทำงานของ Array เพื่อกำหนดให้แม่สุกรเคลื่อนจากท้อง 1 ไป ท้อง 2 จนถึงท้องที่ 9 และคัดทิ้ง แบบจำลองกำหนดให้มีการคัดทิ้งแม่สุกรในขณะที่แม่สุกรท้องว่างด้วยเช่นกัน อัตราการคัดทิ้งจะแตกต่างกันไปตามท้องของสุกร (เช่นสุกรที่มีอายุมาก (ท้องที่ 6 ขึ้นไป) จะมีการคัดทิ้งสูงกว่าท้องสาว)

$$\text{Dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t) = \text{Dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t - dt) +$$

$$(\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] - \text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] -$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}]) * dt$$

INIT Dry_sow_F5_LW_GGP[parity0] = 6.93

INFLOWS:

$$\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity}] = \text{CONVEYOR_OUTFLOW}$$

OUTFLOWS:

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity}] = \text{Dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity}]$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] = \text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] * 0.2$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity1}] =$$

$$\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity1}] * 0.012237762$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity2}] =$$

$$\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity2}] * 0.019230769$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity3}] =$$

$$\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity3}] * 0.057692308$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity4}] =$$

$$\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity4}] * 0.076923077$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity5}] =$$

$$\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity5}] * 0.070512821$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity6}] =$$

$$\text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity6}] * 0.134615385$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity7}] = \text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity7}] * 0.7$$

$$\text{to_cull_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity8}] = \text{to_dry_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity8}] * 1$$

- จากแม่สุกรท้องว่างในการนำเข้าไผผสมนั้นจะมีแม่สุกรบางตัวอาจยังไม่พร้อมในการนำเข้าไผผสม เช่น ป่วย หรืออาจยังไม่เป็นสัด ดังนั้นจำนวนแม่สุกรที่นำเข้าไผผสมได้นั้นจึงขึ้นอยู่กับ sow herd rate ด้วย ซึ่งแม่สุกรที่พร้อมในการนำเข้าไผผสมนั้นจะมีประมาณ 90%

$$\begin{aligned} \text{Sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t) &= \text{Sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t - dt) + \\ &(\text{RM_to_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] + \text{pseudocyesis_to_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] + \\ &\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] + \text{Delay_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] - \\ &\text{to_gest_1_to_3_F5_LW_GGP}[\text{parity0}]) * dt \end{aligned}$$

$$\text{INIT Sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] = 7.5$$

INFLOWS:

$$\begin{aligned} \text{RM_to_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity}] &= \\ &(\text{leakage_1_F5_LW_GGP}[\text{parity}] * \text{leakage1_to_RM_rate_F5_LW_GGP}) + (\text{IF}(\text{Leakage_2_Rate_F5_} \\ &\text{LW_GGP} = 0.042) \text{ THEN} (\text{leakage2_F5_LW_GGP}[\text{parity}] * \text{leakage2_to_RM_rate_normal_F5_LW_G} \\ &\text{GP}) \text{ ELSE} (\text{leakage2_F5_LW_GGP}[\text{parity}] * \text{leakage2_to_RM_rate_shock_F5_LW_GGP})) \end{aligned}$$

$$\text{pseudocyesis_to_sow_F5_LW_GGP}[\text{parity}] = \text{leakage3_F5_LW_GGP}[\text{parity}]$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] = \text{F5_LW_GGP_to_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity1}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity2}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity1}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity3}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity2}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity4}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity3}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity5}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity4}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity6}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity5}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity7}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity6}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

$$\text{to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity8}] =$$

$$\text{dry_sow_to_sow_herd_F5_LW_GGP}[\text{parity7}] * \text{Sow_herd_rate_F5_LW_GGP}$$

ส่วนของลูกสุกร

วงจรชีวิตของลูกสุกรเริ่มจากหลังคลอด ลูกสุกรจะอยู่กับแม่จนกระทั่งหย่านม (ประมาณ 3 สัปดาห์) ในช่วงนี้อาจมีการตายของลูกสุกร (แทนด้วย pre wean dead) หลังจากนั้นผู้ดูแลจะทำการแยกเพศผู้และเมียในทันทีที่กำหนดให้สัดส่วนของทั้งสองเพศเท่ากันคือ 50:50

$$\text{Born_alive_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t) = \text{Born_alive_F5_LW_GGP}[\text{parity0}](t - dt) + (\text{to_Born_alive_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] - \text{pre_wean_dead_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] - \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity0}]) * dt$$

INIT Born_alive_F5_LW_GGP[parity0] = 67.59,67.59,67.59

TRANSIT TIME = 3

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

INFLOWS:

to_Born_alive_F5_LW_GGP[parity] =

to_sow_to_deliver_F5_LW_GGP[parity]*NBA_F5_LW_GGP[parity]

OUTFLOWS:

pre_wean_dead_F5_LW_GGP[parity] = LEAKAGE OUTFLOW

LEAKAGE FRACTION = Prewean_Death_GGP

NO-LEAK ZONE = 0

to_wean_F5_LW_GGP[parity] = CONVEYOR OUTFLOW

$$\begin{aligned} \text{Wean_Pool_F5_LW_GGP}(t) = & \text{Wean_Pool_F5_LW_GGP}(t - dt) + (\text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity}] \\ & + \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity0}] + \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity1}] + \\ & \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity2}] + \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity3}] + \\ & \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity4}] + \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity5}] + \\ & \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity6}] + \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity7}] + \\ & \text{to_wean_F5_LW_GGP}[\text{parity8}] - \text{to_boar_11_wk_F5_LW_GGP} - \text{to_gilt_19_wk_F5_LW_GGP}) \\ & * dt \end{aligned}$$

INIT Wean_Pool_F5_LW_GGP = 218.17

INFLOWS:

to_wean_F5_LW_GGP[parity] = CONVEYOR OUTFLOW

OUTFLOWS:

$$\text{to_boar_11_wk_F5_LW_GGP} = \text{Wean_Pool_F5_LW_GGP} * (1 - \text{Sex_ratio_F_per_M})$$

$$\text{to_gilt_19_wk_F5_LW_GGP} = \text{Wean_Pool_F5_LW_GGP} * \text{Sex_ratio_F_per_M}$$

ลูกสุกรเพศเมีย

ลูกสุกรเพศเมียอาจมีการตายและถูกคัดทิ้งได้ทุกๆ สัปดาห์

- การคัดเกรดสุกรเพื่อนำไปทดแทนสุกรพันธุ์จะเริ่มในสัปดาห์ที่ 20 ลูกสุกรเพศเมียมีคุณสมบัติสามารถนำไปทดแทนฝูงหรือเป็นสุกรพันธุ์ได้ ส่วนที่เหลือจะถูกส่งไปยังฟาร์มขุน ลูกสุกรที่คัดพันธุ์ผ่านถูกส่งไปเลี้ยงต่อในฟาร์ม GGP หรือ ทดแทน ระดับ GP ในฟาร์มหมายเลข 2 โดยลูกสุกรพันธุ์ที่ผ่านเกณฑ์การคัดพันธุ์ในลำดับต้นๆ จะกลายเป็นแม่พันธุ์ GGP ซึ่งจะถูกทดแทนในฟาร์ม GGP เอง และที่รองลงมาจะกลายเป็นแม่พันธุ์ GP ซึ่งในส่วนนี้จะถูกส่งไปทดแทนยังฟาร์ม GP

$$\begin{aligned} \text{gilt_20_wk_F5_LW_GGP}(t) &= \text{gilt_20_wk_F5_LW_GGP}(t - dt) + (\text{to_gilt_20_wk_F5_LW_GGP} - \\ &\text{gilt_fattening_55\%_20_wk_F5_LW_GGP} - \text{grading_gilt_to_F5_F5_LW_GGP} - \\ &\text{gilt_grading_to_f2_F5_LW_GGP}) * dt \end{aligned}$$

$$\text{INIT gilt_20_wk_F5_LW_GGP} = 104.35$$

INFLOWS:

$$\text{to_gilt_20_wk_F5_LW_GGP} = \text{CONVEYOR_OUTFLOW}$$

OUTFLOWS:

$$\text{gilt_fattening_55\%_20_wk_F5_LW_GGP} =$$

$$\text{to_gilt_20_wk_F5_LW_GGP} * \text{Breeding_Value_fattening_F5_LW_GGP}$$

$$\text{grading_gilt_to_F5_F5_LW_GGP} = (\text{to_gilt_20_wk_F5_LW_GGP} * \text{Noname_65}) -$$

$$\text{Replace_F5_LW_GGP}$$

$$\text{gilt_grading_to_f2_F5_LW_GGP} = \text{Replace_F5_LW_GGP}$$

- ลูกสุกรที่คัดพันธุ์ผ่านจะถูกเลี้ยงต่อไปถึงสัปดาห์ที่ 34 จากอาทิตย์ที่ 20 – 34 กระบวนการคัดพันธุ์จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และในช่วงเวลาดังกล่าวจะยังมีลูกสุกรซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การคัดพันธุ์ ซึ่งลูกสุกรในส่วนนี้จะนำไปเข้ารวมกับลูกสุกรขุนก่อนหน้านี้

$$\begin{aligned} \text{gilts_34_wk_F5_LW_GGP}(t) &= \text{gilts_34_wk_F5_LW_GGP}(t - dt) + (\text{to_gilt_34_wk_F5_LW_GGP} \\ &- \text{grading_gilt_to_fattening_leakage_15\%_34_wks_F5_LW_GGP} - \\ &\text{gilts_to_replace_85\%_F5_LW_GGP}) * dt \end{aligned}$$

$$\text{INIT gilts_34_wk_F5_LW_GGP} = 28.02, 28.02, 28.02, 28.02, 28.02, 28.02, 28.02, 28.02$$

TRANSIT TIME = 8

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

INFLOWS:

to_gilt_34_wk_F5_LW_GGP = CONVEYOR OUTFLOW

OUTFLOWS:

grading_gilt_to_fattening_leakage_15%_34_wks_F5_LW_GGP = LEAKAGE OUTFLOW

LEAKAGE FRACTION = 0.15

NO-LEAK ZONE = 0

gilts_to_replace_85%_F5_LW_GGP = CONVEYOR OUTFLOW

- ลูกสุกรที่ผ่านเกณฑ์การคัดพันธุ์จะโตเป็นสุกรสาวเข้าไปรวมอยู่กับแม่สุกรท้องว่าง และหลังผสมครั้งที่ 1 ก็จะถูกเปลี่ยนเป็น แม่สุกรท้องที่ 1

ลูกสุกรเพศผู้

เช่นเดียวกับสุกรเพศเมีย ลูกสุกรเพศผู้จะมีการตายและคัดทิ้งได้ตลอดทุกช่วงเวลา

- สัปดาห์ที่ 12 จะมีการคัดพันธุ์ลูกสุกร ลูกสุกรเพศผู้จะผ่านเกณฑ์การคัดพันธุ์ และที่เหลือจะถูกส่งเข้าฟาร์มขุนเช่นเดียวกับเพศเมีย

boar_12_wk_F5_LW_GGP(t) = boar_12_wk_F5_LW_GGP(t - dt) + (to_boar_12_wk_F5_LW_GGP

- boar_to_fattening_90%_12_wk_F5_LW_GGP - to_boar_grading_10%_F5_LW_GGP) * dt

INIT boar_12_wk_F5_LW_GGP = 120.99

INFLOWS:

to_boar_12_wk_F5_LW_GGP = CONVEYOR OUTFLOW

OUTFLOWS:

boar_to_fattening_90%_12_wk_F5_LW_GGP = boar_12_wk_F5_LW_GGP*0.90

to_boar_grading_10%_F5_LW_GGP = boar_12_wk_F5_LW_GGP*0.10

- ลูกสุกรที่เหลือเป็นลูกสุกรพันธุ์ดีที่สามารถนำไปทดแทนพ่อพันธุ์สุกรได้ซึ่งจะถูกเลี้ยงต่อจนถึงสัปดาห์ที่ 24 และทำการคัดแยกสุกรอีกครั้ง โดยแบ่งเป็น 1. สุกรที่จะนำไปขายเป็นสุกรพันธุ์ 2. สุกรที่จะถูกเลี้ยงต่อเพื่อทดแทนในฝูงสุกรพันธุ์ 3. สุกรที่ตกเกรดกลายเป็นลูกสุกรขุน (ลูกสุกรตัวผู้ที่ไม่ได้ตอน ซึ่งจะมีราคาต่ำกว่าลูกสุกรขุนปกติ) สุกรในข้อ 2 จะถูกเลี้ยงต่อจนถึงอายุ 44 สัปดาห์แล้วจึงนำไปเป็นพ่อพันธุ์

boar_24_wk_F5_LW_GGP(t) = boar_24_wk_F5_LW_GGP(t - dt) +

(to_boar_24_wk_F5_LW_GGP - boar_egg_to_fattening_5%from10%_24_wks_LW_GGP -

to_sale_boar_3%_F5_LW_GGP - to_boar_replace_2%_F5_LW_GGP) * dt

INIT boar_24_wk_F5_LW_GGP = 12.1

INFLOWS:

to_boar_24_wk_F5_LW_GGP = CONVEYOR OUTFLOW

OUTFLOWS:

boar_egg_to_fattening_5%from10%_24_wks__LW_GGP = (boar_24_wk__F5_LW_GGP)*(0.5-0.1204)

to_sale_boar_3%__F5_LW_GGP = (boar_24_wk__F5_LW_GGP)*(0.3-0.07227)

to_boar_replace_2%_F5_LW_GGP = (boar_24_wk__F5_LW_GGP)*(0.2+0.07227+0.12045105)

สำหรับฟาร์มสุกระดับ GP ของฟาร์มหมายเลข 5 จะมีลักษณะคล้ายวงจรของ GGP แต่แม่พันธุ์สุกรท้องที่หนึ่งจะได้มาจากฟาร์ม GGP และลูกสุกรเพศเมียพันธุ์ดีที่คัดพันธุ์ผ่านจะถูกส่งไปยังฟาร์ม NP ที่อยู่ในระดับ Parent สำหรับระดับ GP ของฟาร์มหมายเลข 2 จะมีลักษณะคล้ายวงจรของฟาร์มหมายเลข 5 แต่แม่พันธุ์สุกรจะรับมาจากฟาร์มหมายเลข 5 ซึ่งเป็น GGP เท่านั้น ดังนั้นลูกสุกรที่ได้จากฟาร์มหมายเลข 2 จะนำไปขุนทั้งหมด สำหรับวงจรของระดับ Parent ของฟาร์ม NP จะมีลักษณะคล้ายวงจรแม่สุกรปกติ แต่แม่พันธุ์สุกรจะรับมาจากฟาร์มหมายเลข 5 รุ่น GP ดังนั้นลูกสุกรจากฟาร์ม NP ทั้งหมดจึงถูกผลิตเพื่อนำไปเป็นสุกรขุนเท่านั้น

6. การจำลองสถานการณ์อัตราการตายของลูกสุกรยังไม่หย่านมผิดปกติ

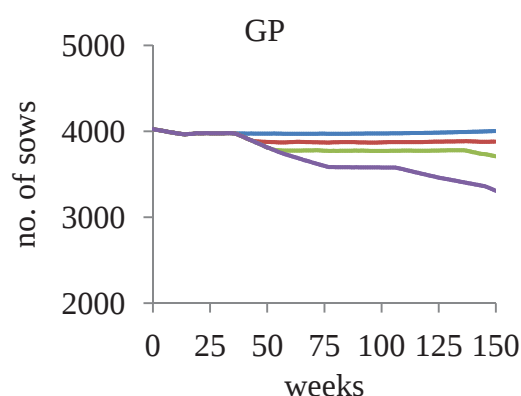
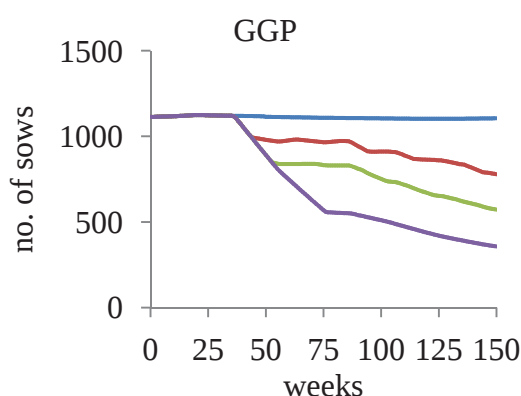
เนื่องจากห่วงโซ่อุปทานสุกรมีความซับซ้อน และมีความยาวด้านเวลาค่อนข้างมาก และยังมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานในหลายช่วงเวลา โดยที่ปัจจัยที่มีโอกาสแปรปรวนได้แก่ อัตราการแท้ง และอัตราการตายของลูกสุกรยังไม่หย่านมที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานสุกรซึ่งมีความเชื่อมโยงกัน งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองและนำแบบจำลองที่ได้มาทดลองอัตราที่มีความแปรปรวนเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อห่วงโซ่อุปทาน โดยให้ความสนใจผลกระทบในเรื่องจำนวนสุกรแม่พันธุ์ และจำนวนลูกสุกรขุน

ปกติแล้วหลังจากแม่สุกรให้ลูก แม่สุกรจะให้นมลูกเป็นเวลา 3 สัปดาห์ซึ่งในช่วงนี้ลูกสุกรยังเล็กอยู่จึงมีอัตราการตายเป็นปกติที่ประมาณ 7% ในกรณีที่มีการเกิดโรคระบาดทั้งในแม่สุกร หรือลูกสุกร, สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม หรือสุขอนามัยของคอกไม่สะอาดอาจทำให้อัตราการตายเพิ่มสูงขึ้นได้ งานวิจัยได้ทำการจำลองสถานการณ์ผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้นทั่วไป และจำลองสถานการณ์ที่อัตราการตายของลูกสุกรยังไม่หย่านมที่เพิ่มสูงขึ้น 40% โดยจำลองการเกิดความผิดปกตินี้สุกระดับ GGP

ผลกระทบจากอัตราการตายที่สูงของลูกสุกรยังไม่หย่านมในระดับ GGP ที่ระยะเวลาความผิดปกติต่างๆ

การจำลองสถานการณ์นี้เป็นการจำลองสถานการณ์ที่อัตราการตายของลูกสุกรยังไม่หย่านมเพิ่มสูงขึ้น 40% ในระดับ GGP โดยที่ระยะเวลาการเกิดความผิดปกติ เป็น 8, 16 และ 40 สัปดาห์ ตามลำดับ

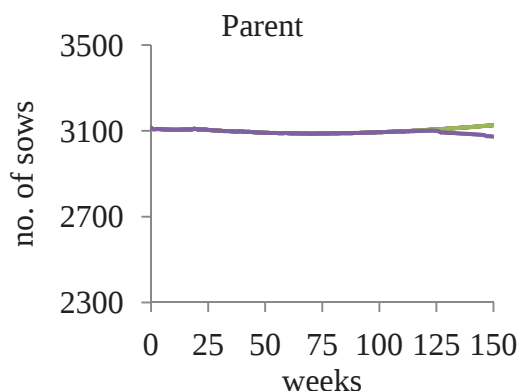
ภาพที่ 2.6 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับจำนวนแม่สุกรพันธุ์รวมระดับ GGP เนื่องจากจำนวนลูกสุกรลดลงจากการตายซึ่งมีระยะเวลานาน ดังนั้นลูกสุกรพันธุ์ดีที่คัดเกรดผ่านเพื่อไปทดแทนจึงไม่เพียงพอทำให้จำนวนแม่สุกรพันธุ์ลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสัปดาห์ที่ 34 เกิดจากเมื่อลูกสุกรคลอดมาแล้วเลี้ยงต่อไปถึงสัปดาห์ที่ 34 จึงจะพร้อมส่งเข้าทดแทนแม่สุกรพันธุ์ ดังนั้นจำนวนแม่สุกรพันธุ์ที่เข้าทดแทนจึงไม่เพียงพอในสัปดาห์ที่ 34 ส่งผลให้จำนวนแม่สุกรพันธุ์รวมลดลง ทั้งในฟาร์มแม่สุกรพันธุ์ระดับ GGP และแม่สุกรพันธุ์ระดับ GP (ที่รับแม่สุกรพันธุ์ดีมาจากระดับ GGP) ดังภาพที่ 2.6 และ 2.7



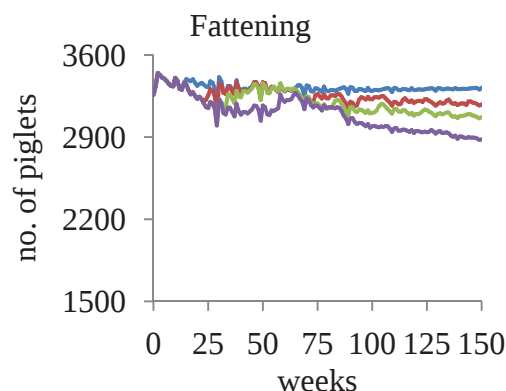
ภาพที่ 2.6 จำนวนแม่สุกรพันธุ์ระดับ GGP รวม ภาพที่ 2.7 จำนวนแม่สุกรพันธุ์ระดับ GP รวม

ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับจำนวนแม่สุกรรวมในระดับ 2 สายพันธุ์นั้นแสดงดังภาพที่ 2.8 คือจำนวนสุกรลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อประมาณสัปดาห์ที่ 100 เนื่องจากสุกรแม่พันธุ์ที่เข้ามาทดแทนในระดับ 2 สายพันธุ์นั้นมาจากการคัดเกรดของสุกรพันธุ์ดีในแม่สุกรพันธุ์ระดับ GP ดังนั้นเมื่อจำนวนแม่สุกรพันธุ์ระดับ GGP ลดลงในสัปดาห์ที่ 34 จนไม่เพียงพอในการส่งแม่สุกรพันธุ์ระดับ GGP ไปทดแทนในระดับพันธุ์ GP และแม่สุกรทดแทนที่ไม่เพียงพอนั้นตั้งท้องอีก 16 สัปดาห์ ลูกสุกรที่ได้จึงมีจำนวนลดลง ซึ่งจะถูกเลี้ยงต่อไปอีก 34 สัปดาห์ จึงพร้อมที่จะส่งไปทดแทนเป็นแม่สุกรพันธุ์ระดับ parent ดังนั้นจึงรวมเป็นระยะเวลา 84 สัปดาห์ จึงจะเริ่มส่งผลกระทบต่อจำนวนแม่สุกรพันธุ์ระดับ parent

ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับจำนวนสุกรขุนรวม จะลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 24 ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มคัดสุกรพันธุ์ไปขุน เนื่องจากจำนวนลูกสุกรยังไม่หย่านมลดลงจากการตายที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้จำนวนสุกรขุนลดลงด้วย ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 จำนวนแม่สุกรระดับ parent รวม



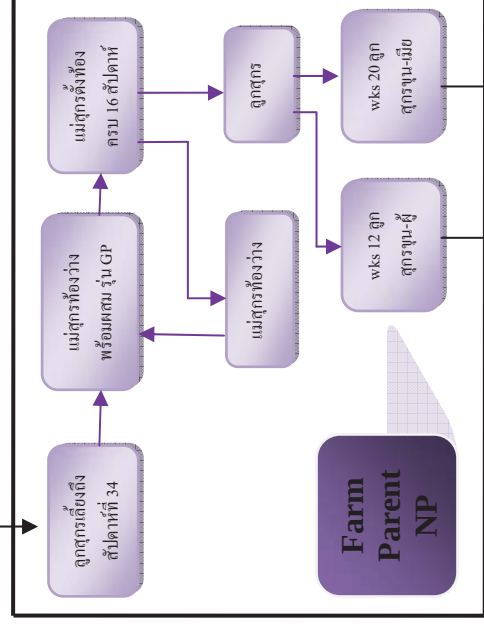
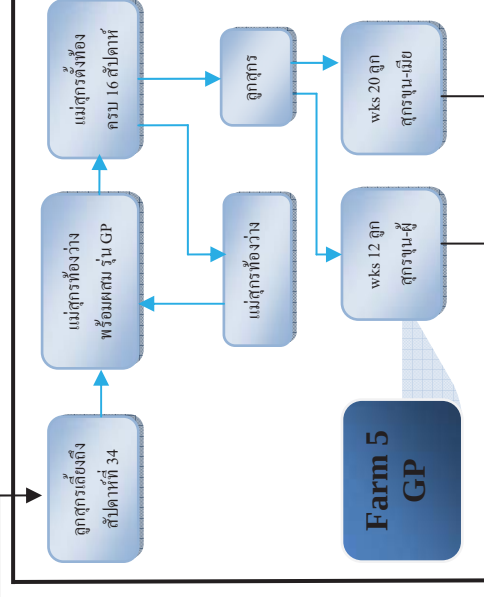
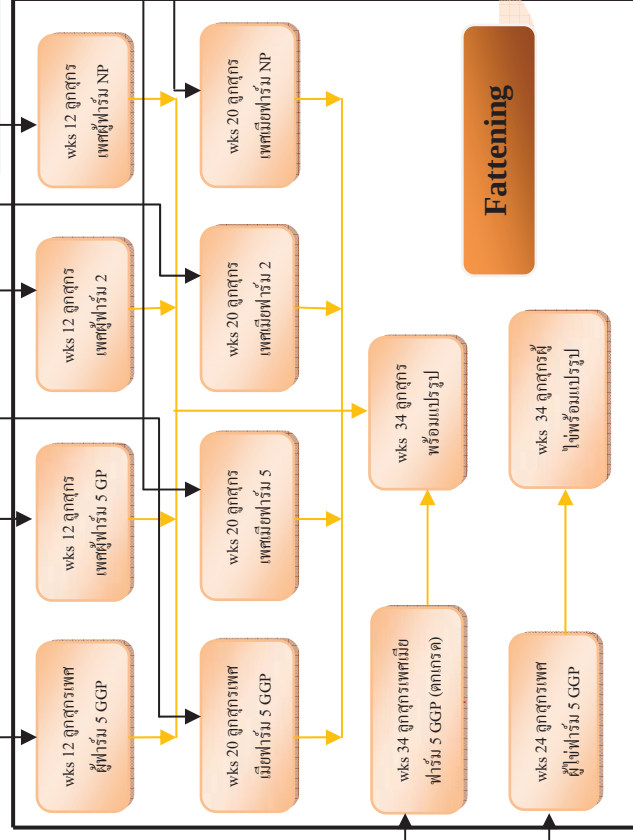
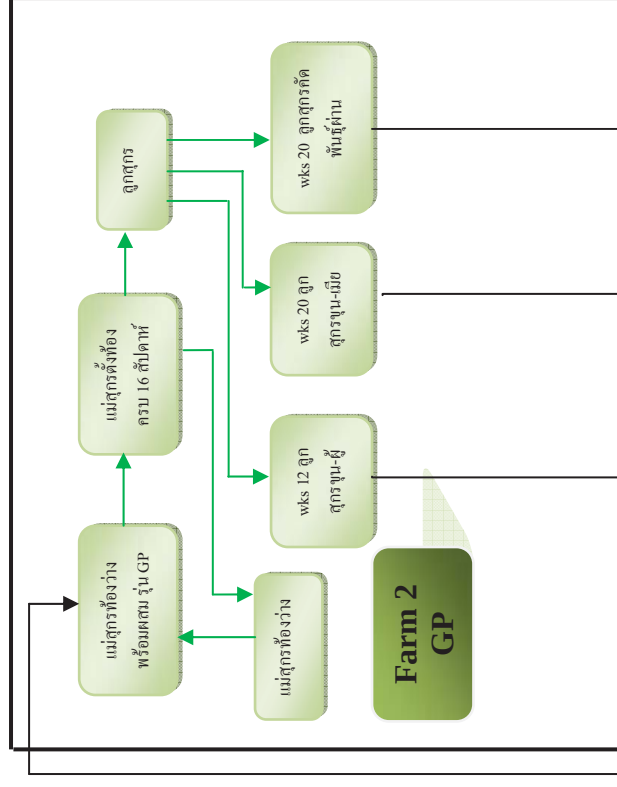
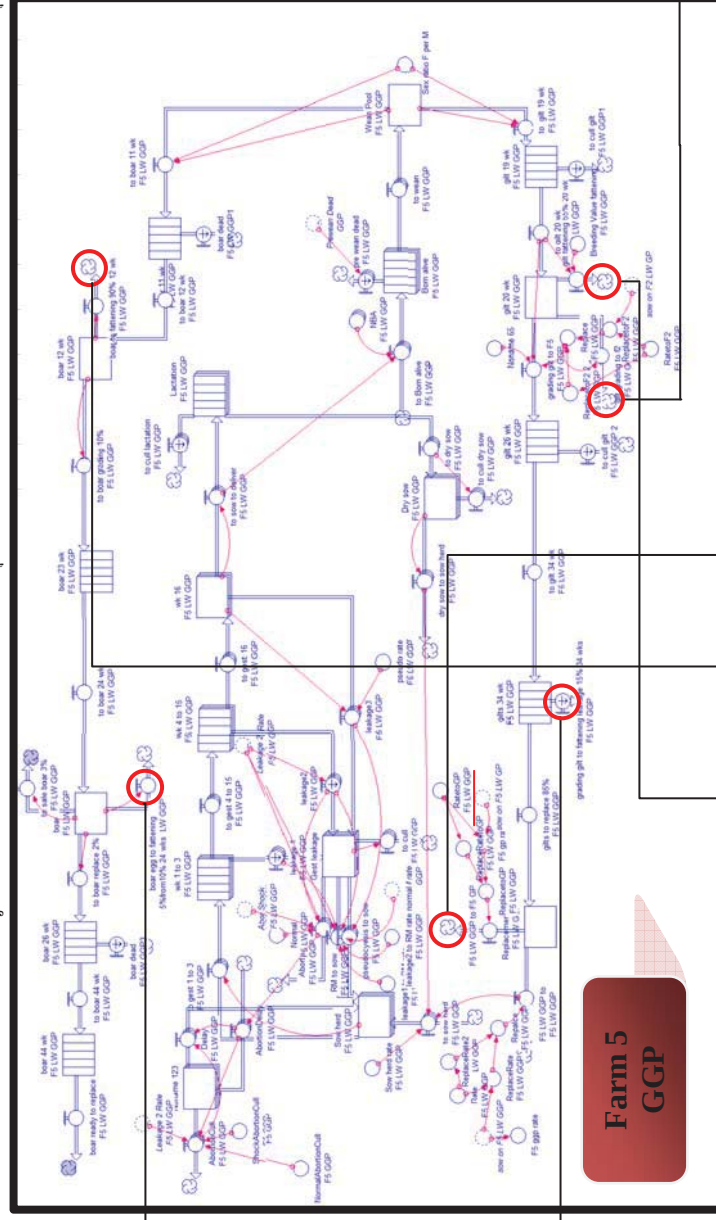
ภาพที่ 2.9 จำนวนสุกรขุนรวม

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตเชิงระบบเพื่อใช้จำลองการสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของโซ่อุปทานของสุกร ตั้งแต่ GGP, GP, parent ไปจนถึง สุกรขุน จะเห็นว่า ความยาวของโซ่อุปทานของสุกรเป็นอุปสรรคต่อการบริหารจัดการโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพ ปัญหาที่เกิดขึ้นในโซ่สุกรพันธุ์อาจส่งผลถึงสุกรขุนในอีกหลายเดือนต่อมา การจำลองสถานการณ์ดังกล่าวจึงเป็นการช่วยให้ผู้วางแผน และผู้รับผิดชอบในแต่ละโซ่สามารถวางแผนรับมือกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

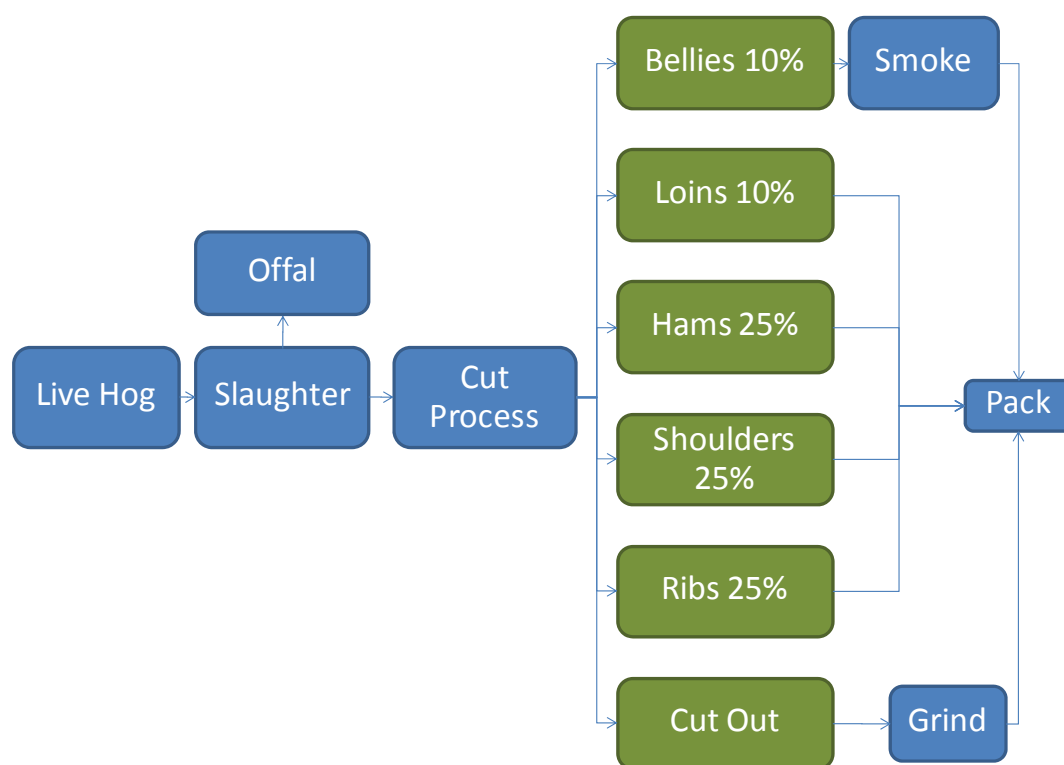
- Georgiadis, P. D., Vlachos, and E., Iakovou, "A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains," Journal of Food Engineering, vol. 70, pp. 351-364, 2005.
- Minegishi, S. and D., Thiel, System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain," Simulation Practice and Theory, vol. 8, pp. 321-339, 2000.
- Perez, C.R., De Castro, and R., M. F. I., Furnols, "The pork industry: a supply chain perspective," British Food Journal, vol. 111, no. 3, pp. 257-274, 2009.
- Plá, L. M. "Review of mathematical models for sow herd management," Livestock Science, vol. 107, pp. 107-119.
- Van der Vorst, G. A. J. J., A. J. M. Beulens, and P., van Beek, "Modelling and simulating multi-echelon food systems," European Journal of Operation Research, vol. 122, pp. 354-366, 2000.



การพยากรณ์ผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานสุกร

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญเกิดจากการลักษณะที่มีผลิตภัณฑ์ร่วมของสุกร กล่าวคือ เมื่อชำแหละสุกรหนึ่งตัวแล้ว ก็จะได้ผลิตภัณฑ์หลากหลาย เช่น เนื้อสันใน เนื้อสันนอก แสม รวมทั้งเครื่องใน ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ลักษณะที่มีผลิตภัณฑ์ร่วม ทำให้ธุรกิจแปรรูปเนื้อสุกรไม่สามารถจัดหาชิ้นส่วนเฉพาะตามยอดขายสินค้าได้ เช่น เมื่อรับคำสั่งซื้อเนื้อสันใน และนำสุกรทั้งตัวมาชำแหละแล้วส่งขายเนื้อสันในให้ลูกค้า เนื้อส่วนอื่นๆ ที่เหลือก็จะกลายเป็นสินค้าคงคลังที่จำเป็นจะต้องหาทางจัดจำหน่ายอีกต่อหนึ่ง ดังนั้น การรับยอดสั่งซื้อเฉพาะส่วนดังกล่าว อาจทำให้ระดับสินค้าคงคลังของเนื้อส่วนอื่นๆ มีมากจนเกินไป การจัดการอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้องค์กรสามารถวางแผนการผลิต การขาย การตั้งราคา และการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่อย่างต่อเนื่องสอดคล้องเพื่อลดปัญหาสินค้าคงคลังมากเกินไปจากลักษณะการมีผลิตภัณฑ์ร่วมของสุกร โดยทั่วไปแล้ว คำสั่งซื้อของลูกค้าจะเป็นคำสั่งซื้อตามขนาดของเนื้อชิ้นต่างๆ ดังนั้น การประเมินขนาดของสุกรอย่างแม่นยำหรือการวางแผนการผลิตที่ดีจะทำให้มีเนื้อชิ้นส่วนขนาดที่ลูกค้าต้องการในปริมาณที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้เราจะสร้างแบบจำลองเพื่อกะประมาณร้อยละของสุกรในขนาดต่างๆ และอัตราแลกเนื้อ (Feed conversion ratio: FCR) ในแต่ละฟาร์ม โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพัฒนา ภายใต้การให้อาหาร ระยะเวลาการเลี้ยง เพศ และพันธุ์ของสุกร รวมทั้งแหล่งที่มาของฟาร์มแม่พันธุ์ น้ำหนักและอายุของลูกสุกรแรกเข้าที่แตกต่างกัน แบบจำลองที่มีความแม่นยำสูงและน่าเชื่อถือนั้นจะทำให้องค์กรสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เพื่อวางแผนการผลิต การขาย การตั้งราคา และการจัดลำดับการจับสุกรในแต่ละฟาร์มให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้

ภาพที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากสุกรหนึ่งตัว



จาก Fullscope

งานวิจัยในอดีตที่ทำการศึกษาและค้นหาวิธีในการแก้ปัญหาหลักขณะนี้อาทิ Gu et al. (1992) แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนความแตกต่างของชิ้นเนื้อส่วนต่างๆ เช่น เนื้อสันใน เนื้อสันนอก เนื้อสะโพก ที่ได้จากสุกรสายพันธุ์และช่วงน้ำหนักต่างๆ โดยความแตกต่างที่ทำให้เกิดศักยภาพของการทำกำไรจากการวางแผนที่มีประสิทธิภาพด้วย Ouden et al. (1997) หาความเหมาะสมที่สุดทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างสวัสดิภาพสัตว์ (Animal welfare) กับต้นทุนของโซ่อุปทานการผลิตและการตลาดของสุกร Boland et al. (1999) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อประเมินวิธีการให้อาหารและน้ำหนักของสุกรที่จะทำให้ผู้เลี้ยงได้กำไรสูงสุด โดยสมการวัตถุประสงค์เป็นสมการผลกำไรที่คำนวณจากรายได้การขายสุกร ซึ่งเป็นผลคูณของราคาน้ำหนักสุกรเป็นและฟังก์ชันของน้ำหนักสุกรหักลบด้วยต้นทุนของอาหาร นอกจากนี้การเจริญเติบโตดังกล่าวก็ยังตอบสนองต่อสูตรอาหารต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เพศ และอายุของสุกรอีกด้วย Yu, et al. (2006) ได้ทำการพยากรณ์การเจริญเติบโตของกึ่งโดยใช้วิธีการทางสถิติและโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) ซึ่งผลที่ได้บ่งชี้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำที่ดีกว่าในการพยากรณ์ และ Oliveira et al. (2009) ศึกษาถึงผลกระทบของการจัดการแบบองค์รวมของสภาพแวดล้อมและปัจจัยที่เกิดเฉพาะหน้าของอัตราการตายและการกินอาหารในฟาร์มสุกรขุน นอกจากนี้ Pathumnakul et al. (2009) ได้ใช้ฟังก์ชันประมาณการเติบโตร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยทักษะของฟาร์ม ในการวางแผนและจัดการในโซ่อุปทานอีกด้วย

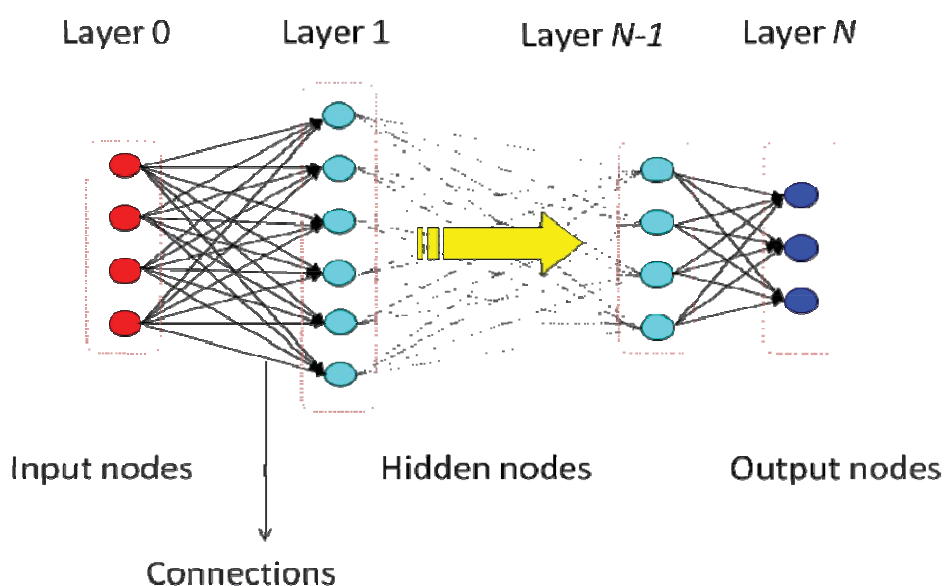
งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคของโครงข่ายประสาทเทียม ในการพยากรณ์ผลผลิตสุกร ในโซ่อุปทานของธุรกิจสุกร ทั้งในส่วนของวงจรเจริญเติบโตในแต่ละช่วงน้ำหนัก (ร้อยละของปริมาณสุกรในแต่ละขนาด) และอัตราการแลกเนื้อของสุกร ภายใต้การให้อาหาร ระยะเวลาการเลี้ยง พันธุ์และเพศของสุกรที่แตกต่างกันเนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของข้อมูล ตลอดจนหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และสามารถทำนายหรือคาดการณ์แนวโน้มที่เกิดขึ้นได้ด้วยความแม่นยำที่สูง นอกจากนี้ยังสามารถคาดคะเนหรือกะประมาณในสิ่งที่ไม่เคยเรียนรู้ได้อย่างแม่นยำอีกด้วย

โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม คือ คอมพิวเตอร์ที่จำลองเอาวิธีการทำงานของสมองมนุษย์ หรือทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักคิดและจดจำในแนวเดียวกับระบบโครงข่ายเซลล์สมองของมนุษย์ เพื่อช่วยให้คอมพิวเตอร์ฟังภาษามนุษย์ได้เข้าใจ อ่านออก และรู้จำได้ ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น “สมองกล” ซึ่งมีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและการทำงานคล้ายคลึงกับระบบประสาทและเซลล์สมองของมนุษย์ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการเรียนรู้จากประสบการณ์ การจำแนกลักษณะสิ่งของที่มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่เชื่อถือได้ แม้ว่าข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้จะมีความไม่สมบูรณ์หรือผิดพลาดอยู่บ้าง นอกจากนี้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมยังมีความสามารถในการทำนายหรือจำลองรูปแบบปัญหาที่ไม่เคยพบหรือเรียนรู้มาก่อนได้ ซึ่งผลลัพธ์นั้นมีความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

1. โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบแพร่ย้อนกลับ (backpropagation multilayer feed forward, BP-MLFF)

ภาพที่ 3.2 โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบแพร่ย้อนกลับ



โครงสร้างโดยทั่วไปของ BP-MLFF แสดงในภาพที่ 3.2 โดยหน่วยแต่ละหน่วยในแต่ละชั้นจะถูกเชื่อมโยงซึ่งกันและกันในลักษณะไปข้างหน้า (feed forward) โครงข่ายดังกล่าวประกอบไปด้วยชั้นข้อมูลเข้า (input layer, layer 0) ชั้นซ่อนเร้น (hidden layer, layer 1) ซึ่งอาจมีได้หลายชั้น (layer N-1) และชั้นแสดงผล (output layer) โดยที่การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอนที่ใช้ฟังก์ชันการกระตุ้น (activation function) หาค่าน้ำหนักที่เหมาะสม โดยจะทำการปรับค่าน้ำหนัก เพื่อลดความผิดพลาดของการคำนวณในแต่ละรอบในระหว่างการเรียนรู้ รูปแบบของ input จะถูกส่งผ่านไปข้างหน้าตามลำดับชั้น จนได้ผลการคำนวณของรูปแบบ output จากนั้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงหรือข้อมูลเป้าหมายเพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะนำไปใช้เป็นข้อมูล input ย้อนกลับ ในขณะเดียวกันก็จะทำการปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างหน่วยในแต่ละชั้นในทิศทางย้อนกลับ โดยวิธีนี้ความคลาดเคลื่อนจะถูกทำให้เคลื่อนตัวย้อนกลับผ่านชั้นแต่ละชั้นในลักษณะของวิธีการแบบซ้ำๆ กัน รูปแบบของข้อมูลทุกรูปแบบจะถูกส่งผ่านกระบวนการนี้จนกระทั่งความคลาดเคลื่อนทั้งหมดในชั้น output ลู่เข้าหาค่าที่ต่ำสุด หรือจำนวนรอบของการกระทำซ้ำๆ กัน ถูกจำกัดโดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณ โครงข่าย BP-MLFF ได้รับความนิยมและสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น การประมาณค่าการพยากรณ์ การจำแนกกลุ่ม เป็นต้น เนื่องจากความสามารถเฉพาะในการจำลอง (mapping) และสามารถเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเร้น เมื่อปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น แต่ก็ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและชำนาญในการเลือกโครงสร้างและสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้

2. การทดสอบความแม่นยำการพยากรณ์

วิธีการทดสอบความแม่นยำที่นิยมใช้มีหลายวิธีการ เช่น ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) รากของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error, MAPE) ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute deviation, MAD) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ใช้ RMSE และ MAD เป็นค่าวัดความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ต่างๆ ที่สร้างขึ้นมา เนื่องจากเป็นการคำนวณร้อยละความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย ถ้าค่าที่คำนวณได้ต่ำแสดงว่ามีความแม่นยำ ค่าคำนวณได้ดังสมการ (1) โดยที่ความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (Error, e_t) คือ ค่าจริง (X_t) ลบค่าพยากรณ์ (F_t) และ $\bar{X}$ เป็นค่าจริงเฉลี่ย

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (X_t - F_t)^2}{N}} \quad (1)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^N |F_a - \bar{F}_p|}{N} \quad (2)$$

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นแบบข้อมูลทุติยภูมิที่เก็บรวบรวมมาจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานสุกรของเครือข่าย โดยลงพื้นที่ภาคสนามรวบรวมข้อมูลมาจากฟาร์มสุกรขุนปลอดสารพิษ (Specific pathogen free, SPF) โดยข้อมูลประกอบด้วยข้อมูลจากฟาร์มสุกรพันธุ์ และฟาร์มสุกรขุนของวงจรการเลี้ยงในปีเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 – มีนาคม พ.ศ. 2552 ดังนี้

1. ข้อมูลด้านฟาร์มสุกรพันธุ์

ข้อมูลในส่วนนี้ คือ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตลูกสุกรขุนจากฟาร์มสุกรพันธุ์ ซึ่งประกอบไปด้วย 14 ปัจจัย ดังนี้

1.1 เพศ และพันธุ์ของลูกสุกรขุนที่ส่งไปยังฟาร์ม

1.2 ฟาร์มแม่พันธุ์ แหล่งที่มาของลูกสุกรขุนทั้งหมดที่ส่งไปยังฟาร์ม ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งฟาร์มสุกรพันธุ์ออกเป็น 13 ฟาร์ม ดังนั้น จึงมีปัจจัยด้านฟาร์มสุกรพันธุ์ 13 ปัจจัย

2. ข้อมูลด้านฟาร์มสุกรขุน

ในส่วนนี้เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับฟาร์มสุกรขุน ซึ่งประกอบไปด้วย การเลี้ยง การกินอาหาร เป็นต้น ทั้งหมดจำนวน 34 ปัจจัย ดังนี้

2.1 จำนวนลูกสุกรทั้งหมดแรกเข้าที่รับมาจากฟาร์มแม่พันธุ์

2.2 อายุโดยเฉลี่ยของลูกสุกรทั้งหมดแรกเข้าที่รับมาจากฟาร์มแม่พันธุ์

2.3 น้ำหนักเฉลี่ยของลูกสุกรทั้งหมดแรกเข้าที่รับมาจากฟาร์มแม่พันธุ์

2.4 ขนาดความจุของแต่ละฟาร์มสุกรขุนที่รับได้ (Farm size)

2.5 อัตราการเลี้ยงรอดของแต่ละฟาร์มสุกรขุน (Survival rate)

2.6 จำนวนวันที่ใช้ในเลี้ยงของแต่ละฟาร์มสุกรขุน

2.7 คะแนนการจัดการฟาร์มของแต่ละฟาร์มสุกรขุน (Farm management score)

2.8 น้ำหนักอาหารที่สุกรกินเฉลี่ยต่อตัวต่อวันภายในสัปดาห์ที่ 3 – 29 ของแต่ละฟาร์มสุกรขุน (กก./ตัว/วัน ในแต่ละสัปดาห์) ซึ่งมีทั้งหมด จำนวน 27 ปัจจัย

3. ข้อมูลตัวแปรเป้าหมาย ในส่วนนี้รวบรวมมาจากฟาร์มสุกรขุนและโรงเชือด

3.1 อัตราการแลกเนื้อของสุกร ในแต่ละฟาร์มสุกรขุน

3.2 น้ำหนักเฉลี่ยในแต่ละขนาดของสุกรทั้ง 7 ขนาด ในแต่ละฟาร์ม ดังนี้

1) ขนาดที่ 1 คือ สุกรที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 87 กก.

2) ขนาดที่ 2 คือ สุกรที่มีน้ำหนักในช่วง 87 - 91 กก.

3) ขนาดที่ 3 คือ สุกรที่มีน้ำหนักในช่วง 92 - 96 กก.

4) ขนาดที่ 4 คือ สุกรที่มีน้ำหนักในช่วง 97 - 101 กก.

- 5) ขนาดที่ 5 คือ สุกรที่มีน้ำหนักในช่วง 102 - 117 กก.
- 6) ขนาดที่ 6 คือ สุกรที่มีน้ำหนักในช่วง 118 - 122 กก.
- 7) ขนาดที่ 7 คือ สุกรที่มีน้ำหนักในช่วง 123 - 127 กก.
- 8) ขนาดที่ 8 คือ สุกรที่มีน้ำหนักมากกว่า 127 กก.

แนวทางและระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับธุรกิจสุกร ในการพยากรณ์ผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานของบริษัทในเครือบริษัท เบทาโกร โดยพัฒนาแบบจำลองการกะประมาณผลผลิตสุกรด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1. การพัฒนาแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.1 การจัดการข้อมูล นำข้อมูลทั้งหมดมาจัดในรูปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้า ได้แก่ เพศและพันธุ์ รูปแบบและระยะเวลาการเลี้ยง ทักษะและคะแนนการจัดการของแต่ละฟาร์ม เป็นต้น จำนวน 48 ปัจจัย และตัวแปรผลลัพธ์ ได้แก่ อัตราการแลกเนื้อ และน้ำหนักเฉลี่ยของสุกรในแต่ละขนาด จำนวน 8 ขนาด โดยมีรายละเอียดของตัวแปร ดังในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของตัวแปรนำเข้า

ตัวแปรนำเข้า	ตัวแปรที่	ความหมาย	ค่า/หน่วย
ลูกสุกรรับเข้า	X_1	จำนวนลูกสุกรขุนที่รับเข้ามา	ตัว
เพศ	X_2	เพศและพันธุ์	
ฟาร์มพันธุ์สุกร	X_{i+2}	ฟาร์มพันธุ์สุกรที่ i ; $i = 1, 2, \dots, 13$	0, 1
อายุเฉลี่ยแรกเข้า	X_{16}	อายุเฉลี่ยของลูกสุกรแรกเข้า	วัน
น้ำหนักเฉลี่ยแรกเข้า	X_{17}	น้ำหนักเฉลี่ยของลูกสุกรแรกเข้า	กก.
ขนาดความจุฟาร์ม	X_{18}	ขนาดความจุของฟาร์มสุกรขุน	ตัว
อัตราการเลี้ยงรอด	X_{19}	อัตราการเลี้ยงรอดของแต่ละฟาร์ม	%
จำนวนวันที่เลี้ยง	X_{20}	จำนวนวันที่ใช้เลี้ยงสุกรขุนก่อนส่งโรงเชือดของฟาร์ม	วัน
คะแนนการจัดการฟาร์ม	X_{21}	คะแนนการจัดการฟาร์ม เต็ม 100 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ)	%
อาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัว ในสัปดาห์	X_{i+19}	น้ำหนักอาหารที่สุกรกินเฉลี่ยต่อตัวต่อ วันภายในสัปดาห์ที่ i ; $i = 3, 4, \dots, 29$;	กก./ตัว/วัน

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของตัวแปรผลลัพธ์

ตัวแปรนำเข้า	ตัวแปรที่	ความหมาย	ค่า/หน่วย
อัตราการแลกเนื้อ	Y_i	จำนวนลูกสุกรขุนที่รับเข้ามา	หน่วย
ร้อยละของปริมาณสุกรในแต่ละขนาด	Y_{i+1}	น้ำหนักเฉลี่ยของสุกรในขนาดที่ i ; $i = 1, 2, \dots, 8$	%

1.2 การเตรียมข้อมูลเพื่อพัฒนาแบบจำลอง

ข้อมูลการผลิตสุกรปลอดสารพิษที่รวบรวมมาจากฟาร์มในช่วงวงรอบการเลี้ยงของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 – มีนาคม พ.ศ. 2552 จากฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งข้อมูลทั้งหมดมีจำนวน 414 ชุดข้อมูล (record) จาก 180 โรงเรือนของแต่ละฟาร์ม โดยข้อมูลจะประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ที่แตกต่างกัน ข้อมูลทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดฝึกสอน (training set) สำหรับใช้ในการฝึกสอนการเรียนรู้ของตัวโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้น ชุดทดสอบ (testing set) สำหรับใช้ในการทดสอบความแม่นยำของรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นมา และชุดตรวจสอบความสมบูรณ์ (validation set) ของโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้น ในอัตราส่วน 65:25:10 โดยการคัดเลือกข้อมูลแต่ละชุดด้วยวิธีการสุ่ม

1.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีการทดลองเพื่อหาโครงสร้างและสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม ดังนี้

- โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ
- จำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลนำเข้า (Input node) ได้แก่ ปัจจัยด้านต่างๆ อาทิเช่น เพศและพันธุ์ รูปแบบและระยะเวลาการเลี้ยง ทักษะและคะแนนการจัดการของแต่ละฟาร์ม เป็นต้น จำนวน 48 ปัจจัยเป็นตัวแปรต้นและข้อมูลนำเข้า

- จำนวนชั้นซ่อนเร้น ในงานวิจัยนี้กำหนดให้มี 1 – 2 ชั้นซ่อนเร้น
- จำนวนหน่วยซ่อนเร้น (Hidden nodes) ในชั้นซ่อนเร้น ทำการทดลองหาค่าที่ดีที่สุด โดยแปรค่าตั้งแต่ 5 – 40 nodes

- จำนวนหน่วยในชั้น Output คือ อัตราการแลกเนื้อ และร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดช่วงน้ำหนักที่ 1 ถึง 8 ดังนั้น Output ทั้งหมดมีจำนวน 8 ตัว

- ฟังก์ชันกระตุ้น (Activating function) แบบ Sigmoid และ TanH
- ฟังก์ชันในการฝึก (Learning function) แบบ LM (Levenberg-Marquardt backpropagation)

1.4 เลือกโครงสร้างและสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม

โดยเลือกจากการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในรูปของ RMSE และ R^2 สำหรับประมาณผลผลิตสุกรที่เกิดขึ้นจากแต่ละฟาร์มสุกรขุน ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถที่จะคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

ผลการวิจัย

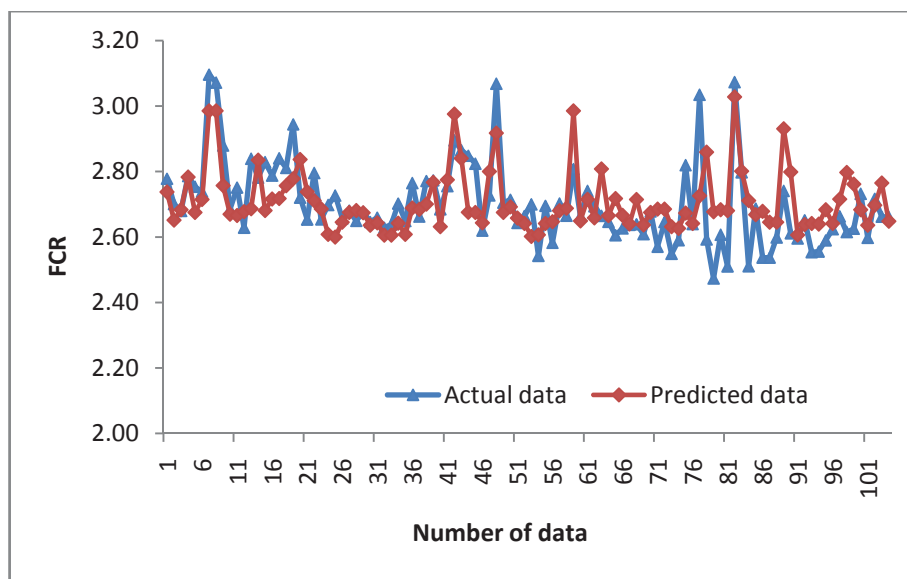
1. การประมาณอัตราการแลกเนื้อ

ผลการประมาณอัตราการแลกเนื้อของแต่ละฟาร์มสุกรขุน โดยใช้มาตรวัด RMSE และ MAD เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับข้อมูลชุดฝึกสอน ชุดทดสอบ และชุดตรวจสอบ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3.3

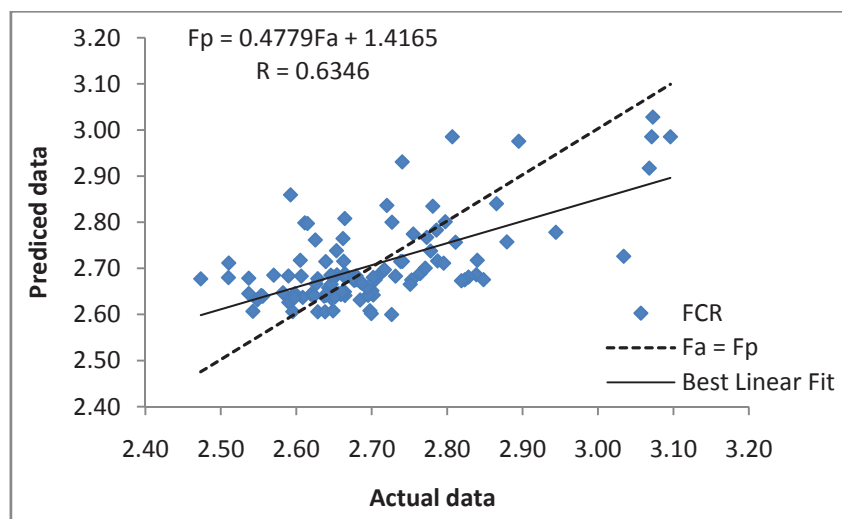
ตารางที่ 3.3 แสดงผลการพัฒนาแบบจำลองการประมาณอัตราการแลกเนื้อ

แบบจำลอง	จำนวนตัวแปรเข้า	ค่า RMSE			ค่า MAD		
		ชุดฝึกสอน	ชุดทดสอบ	ชุดตรวจสอบ	ชุดฝึกสอน	ชุดทดสอบ	ชุดตรวจสอบ
อัตราการแลกเนื้อ	48	0.1302	0.0953	0.0860	0.0686	0.0722	0.0681

ผลลัพธ์ที่ได้จากตารางที่ 3.3 แสดงว่า แบบจำลองสำหรับการประมาณอัตราการแลกเนื้อ มีความแม่นยำสูงในการกะประมาณด้วยค่า RMSE เท่ากับ 0.1302 0.0953 และ 0.0860 และค่า MAD เท่ากับ 0.0686 0.0722 และ 0.0681 สำหรับข้อมูลชุดฝึกสอน ทดสอบและตรวจสอบ ตามลำดับ อธิบายได้ว่าการพัฒนาแบบจำลองสำหรับประมาณอัตราการแลกเนื้อของฟาร์มสุกรขุนด้วยตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมนี้ มีความเหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการกะประมาณได้ด้วยความแม่นยำน่าเชื่อถือ และเมื่อพิจารณาความแม่นยำข้อมูลชุดทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 และ 3.3 พบว่า ค่าจริงกับค่าประมาณมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 3.3 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณอัตราการแลกเนื้อของข้อมูลชุดทดสอบ



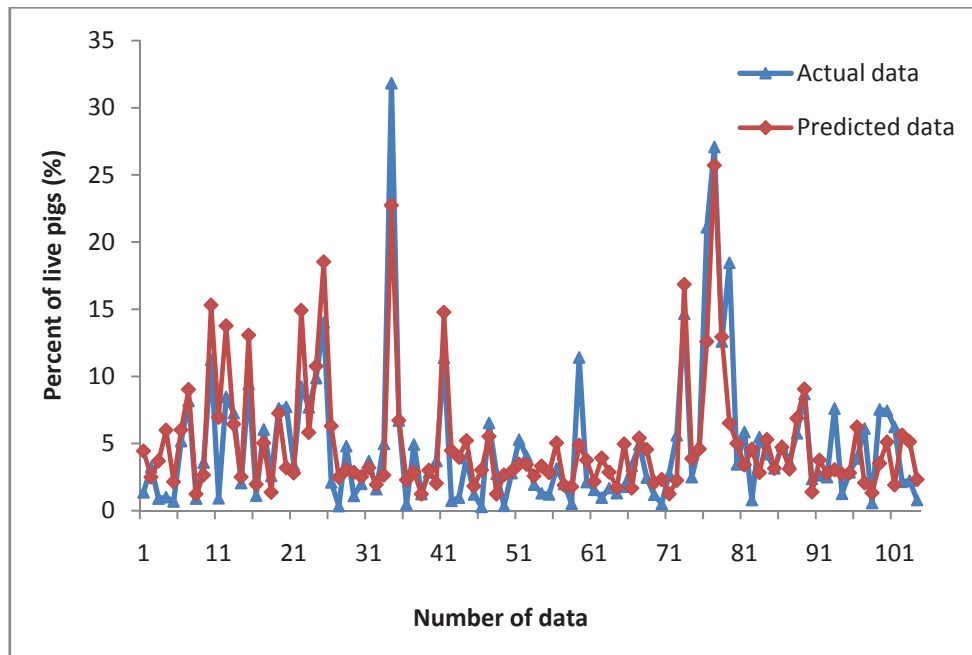
ภาพที่ 3.4 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณของข้อมูลชุดทดสอบ

2. การประมาณน้ำหนักเฉลี่ยของขนาดสุกรในแต่ละขนาด

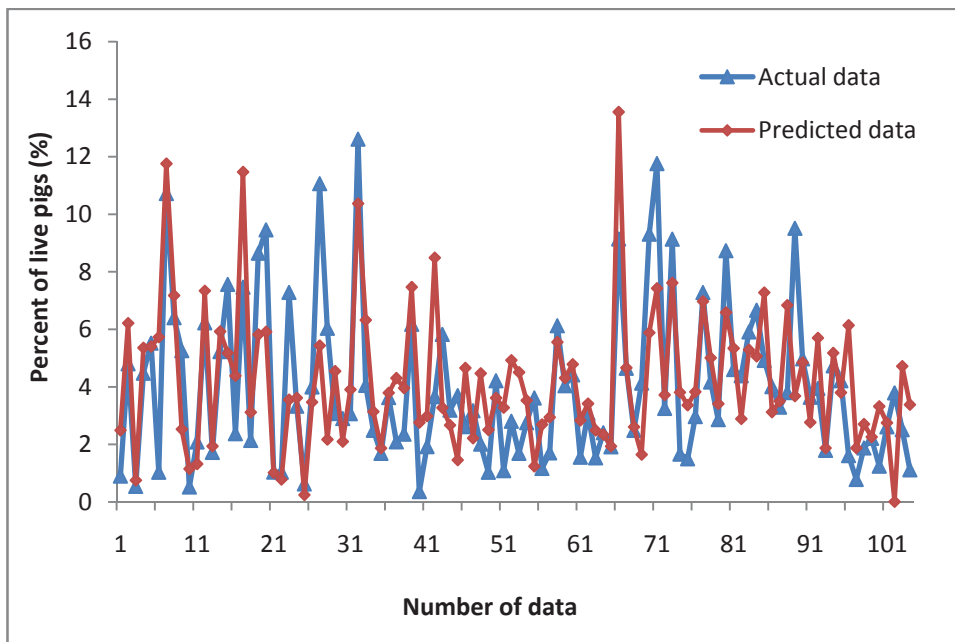
ผลการประมาณน้ำหนักเฉลี่ยของขนาดสุกร 8 ขนาด แสดงในตารางที่ 3.4 โดยใช้มาตรวัด RMSE และ MAD เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่พัฒนาจากโครงข่ายประสาทเทียม ของชุดข้อมูลฝึกสอน ทดสอบและตรวจสอบ ผลจากตารางสรุปได้ว่า ร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 4 มีความคลาดเคลื่อนในการประมาณสูงกว่าขนาดอื่นๆ ของข้อมูลทั้ง 3 ชุด คือ ชุดฝึกสอน ทดสอบและตรวจสอบ ส่วนตัวแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด คือ ร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 2 คือ มีความคลาดเคลื่อนประมาณด้วยค่า RMSE เท่ากับ 1.74; 2.06 และ 2.72 % ของข้อมูลชุดฝึกสอน ทดสอบและตรวจสอบ ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการพัฒนาแบบจำลองการประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในแต่ละขนาด

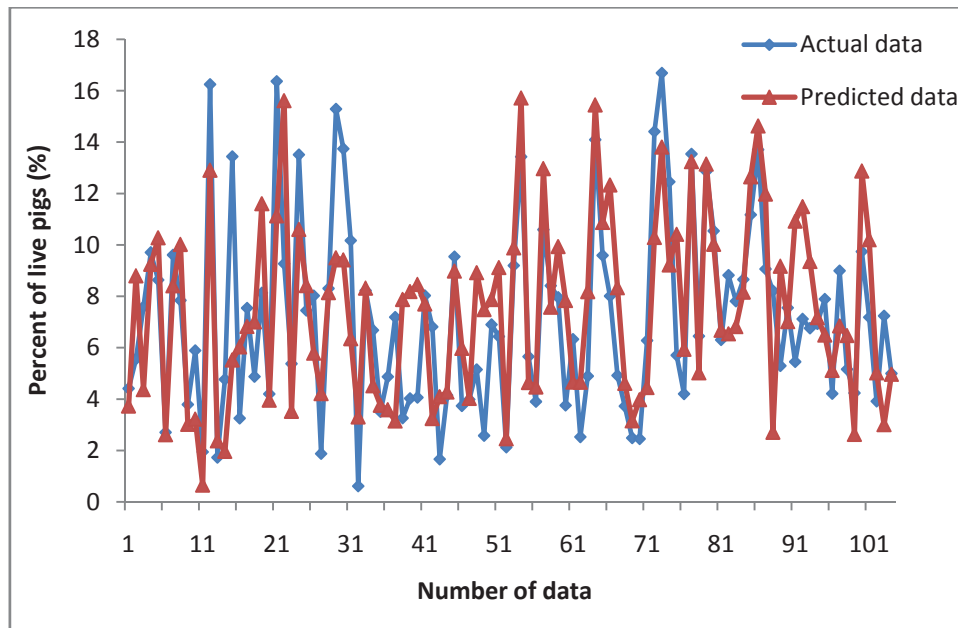
น้ำหนักเฉลี่ยสุกร	ตัวแปรเข้า	ค่า RMSE (%)			ค่า MAD		
		ฝึกสอน	ทดสอบ	ตรวจสอบ	ฝึกสอน	ทดสอบ	ตรวจสอบ
ขนาดที่ 1	48	3.1971	2.9056	3.8903	2.1403	2.0975	2.9865
ขนาดที่ 2	48	1.7398	2.0597	2.7162	1.2946	1.5583	2.0909
ขนาดที่ 3	48	1.9427	2.7540	3.2105	1.4818	2.2067	2.5488
ขนาดที่ 4	48	8.5172	8.5223	8.7668	6.6424	6.9142	6.9889
ขนาดที่ 5	48	7.7741	7.7797	7.1128	5.9049	6.1972	5.5589
ขนาดที่ 6	48	3.3427	3.1936	3.7570	2.5546	2.5720	3.0390
ขนาดที่ 7	48	4.2489	3.3098	3.7427	3.1239	2.7143	2.6953
ขนาดที่ 8	48	3.0618	3.1369	3.1307	2.2977	2.4826	2.2887



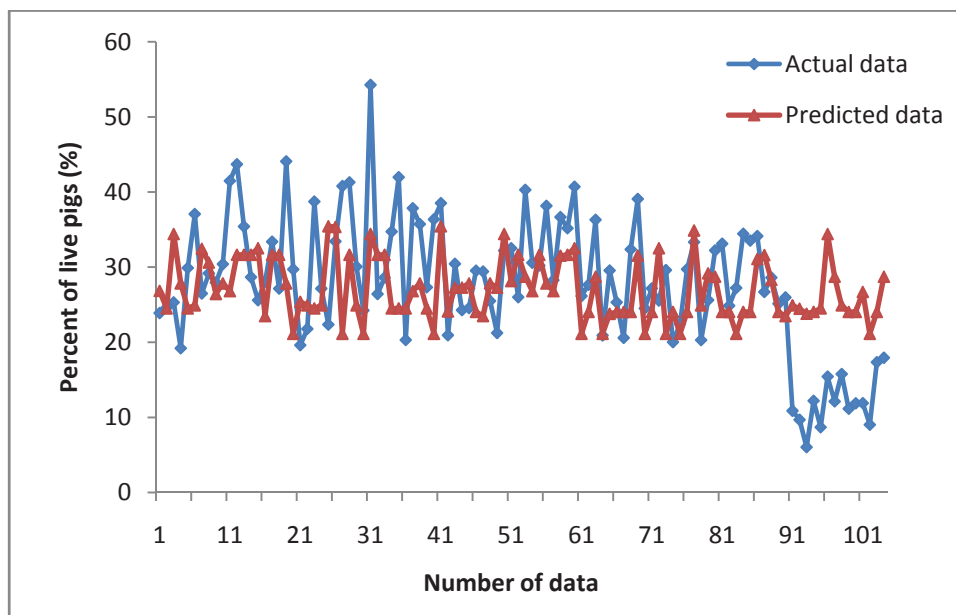
ภาพที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 1 (น้ำหนักต่ำกว่า 87 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ



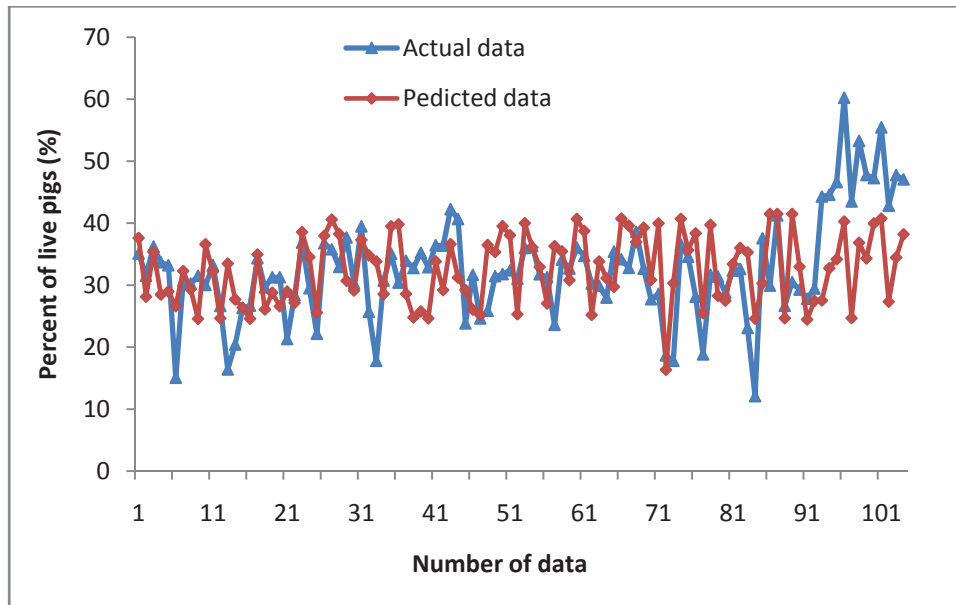
ภาพที่ 3.6 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 2 (น้ำหนัก 87 - 91 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ



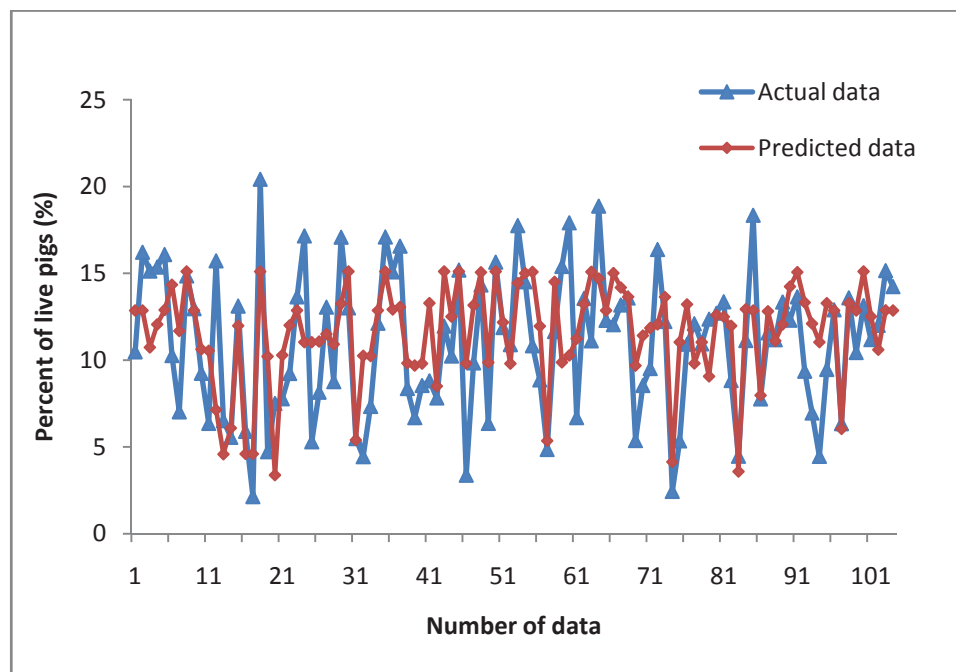
ภาพที่ 3.7 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 3 (น้ำหนัก 92 - 96 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ



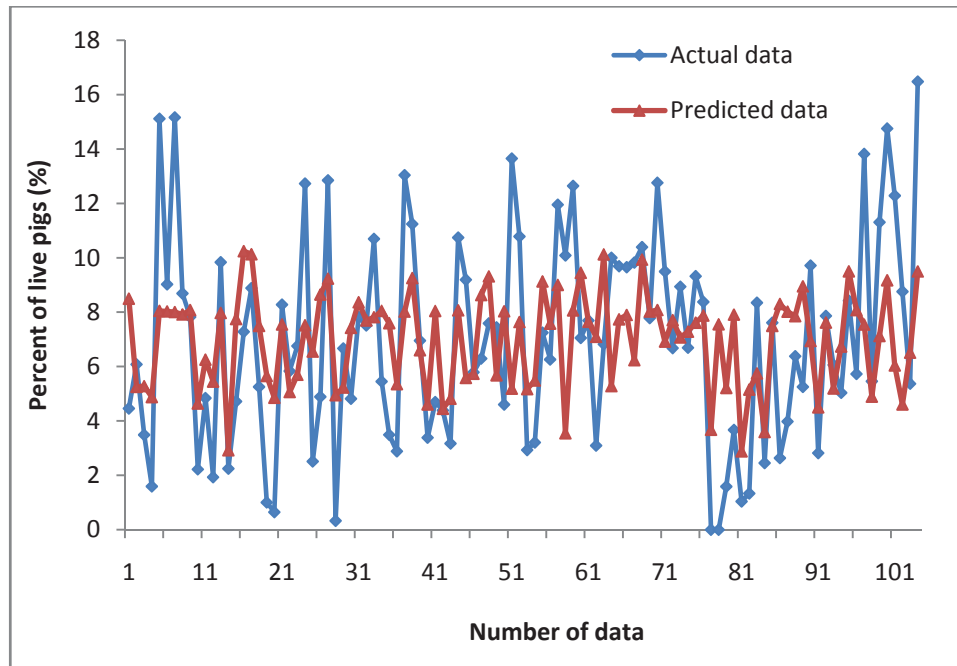
ภาพที่ 3.8 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 4 (น้ำหนัก 97 - 101 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ



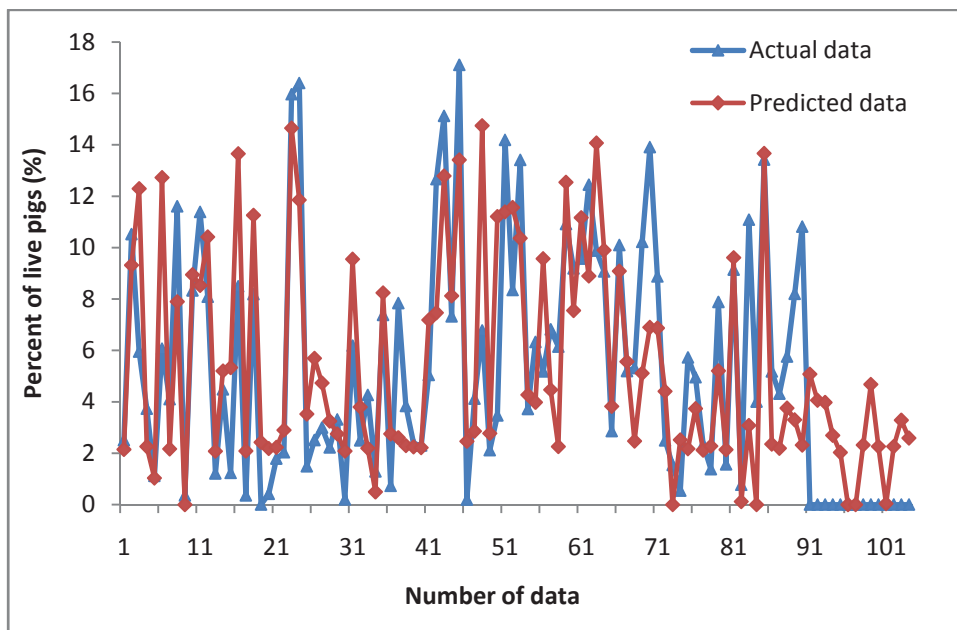
ภาพที่ 3.9 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 5 (น้ำหนัก 102 - 117 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ



ภาพที่ 3.10 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 6 (น้ำหนัก 118 - 122 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ



ภาพที่ 3.11 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 7 (น้ำหนัก 123 - 127 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ



ภาพที่ 3.12 เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในขนาดที่ 8 (น้ำหนักมากกว่า 127 กก.) สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ

จากตารางที่ 3.4 ที่สรุปความแม่นยำในการประมาณร้อยละของปริมาณสุกรทั้ง 8 ขนาด ซึ่งจะพบว่า สุกรแต่ละขนาดมีความถูกต้องแม่นยำในระดับหนึ่ง คือ มีความคลาดเคลื่อนในการประมาณน้อยกว่า 5 % ในบางขนาดและคือ มีความคลาดเคลื่อนมากกว่า 5 % ในบางขนาด ซึ่งเมื่อพิจารณาชุดข้อมูลสำหรับทดสอบจากการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการประมาณร้อยละของปริมาณสุกรทั้ง 8 ขนาด ดังที่แสดงในภาพที่ 3.4 – 3.11 ตามลำดับ พบว่า ค่าจริงและค่าจากการประมาณมีค่าใกล้เคียงกันในสุกรขนาดที่ 1, 2, 3, 6 และ 8 ส่วนผลการประมาณในสุกรขนาดที่ 4, 5 และ 7 ยังมีความแม่นยำที่ไม่ดีนัก ซึ่งเกิดจากข้อมูลจริงที่มีการเคลื่อนไหวมาก ๆ ทำให้ยากที่จะทำการประมาณให้มีความแม่นยำสูงได้ ซึ่งต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมทั้งพัฒนาตัวแบบสำหรับการประมาณต่อไป ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะแตกต่างกันบ้างในบางขนาดของสุกรแต่ก็อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้น แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับประมาณน้ำหนักเฉลี่ยของสุกรทั้ง 8 ขนาด โดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมนี้ มีความแม่นยำน่าเชื่อถือในระดับหนึ่งซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ในการกะประมาณได้

สรุป

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการกะประมาณอัตราการแลกเนื้อของสุกร และการประมาณร้อยละของปริมาณสุกรในแต่ละขนาด ภายใต้รูปแบบและระยะเวลาการเลี้ยง ทักษะของ แต่ละฟาร์ม เพศและพันธุ์ที่แตกต่างกัน โดยอาศัยตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมนั้น พบว่า มีความแม่นยำที่ดีในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ในการประมาณผลผลิตสุกรในโซ่อุปทานสุกร เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการวางแผนการบริหารจัดการ การดำเนินงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องขององค์กรให้มีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Boland, M.A., Foster, K.A., Preckel, P.V., (1999). Nutrition and the economics of swine management. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 31: 83-96.
- Gu, Y., Schinckel, A.P., Martin, T.G., 1992. Growth, development, and carcass composition in five genotypes of swine. *Journal of Animal Science*. 70, 1719-1729.
- Hernesch, S., Kanis, E., Eissen, J.J, (2002). Economic weights for feed intake in the growing, pig derived from a growth model and economic model. *Journal of Animal Science*. 81, 895-903.
- Niemi, J.K., Sevon-Aimnen, M., Pietola, K., Stalder, K.J., (2010). The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. *Livestock Science*. 129. 13 – 23.

- Oliveira, J., Yus, E., Guitian, F.J., (2009). Effects of management, environmental and temporal factors on mortality and feed consumption in integrated swine fattening farms. *Livestock Science*. 123, 221 – 229.
- Ouden, M.D., Nijsing, J.T., Dijkhuizen, A.A., Huirne, R.B.M., (1997). Economic optimization of pork production-marketing chains: I. Model input on animal welfare and costs. *Livestock Production Science*. 48, 23 – 37.
- Pathumnakul, S., Piewthongngam, K., Khamjan, S., (2009). Integrating a shrimp-growth function, farming skills information, and a supply allocation algorithm to manage the shrimp supply chain. *Computers and Electronics in Agriculture*. 66, 93 –105.
- Yu, R., Leung, P.S., Bienfang, P., (2006). Prediction shrimp growth: Artificial neural network versus nonlinear regression models. *Aquacultural Engineering*. 34, 26 – 32.

การพยากรณ์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหาร เนื่องมาจากความหลากหลายและผันแปรของวัตถุดิบ

ปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานในโซ่อุปทานของธุรกิจของสุกร คือ การบริหารจัดการต้นทุนการผลิตสุกรขุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นค่าอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสุกรขุนของแต่ละฟาร์ม เนื่องจากว่า ต้นทุนอาหารเป็นต้นทุนที่มีสัดส่วนสูงสุดในต้นทุนการผลิตสุกร กล่าวคือ ในการเลี้ยงแบบครบวงจรจะมีสัดส่วนสูงถึง 70 – 75 % และหากนับเฉพาะการเลี้ยงสุกรขุนจะมีสัดส่วนสูงถึง 50 – 55 % ดังนั้น เมื่อราคาวัตถุดิบแพงมากขึ้น ก็จะทำให้ราคาอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นตาม ซึ่งจะส่งผลให้ฟาร์มมีต้นทุนในการเลี้ยงสุกรขุนเพิ่มขึ้น และจะมีผลทำให้ราคาขายสุกรขุนแพงขึ้น ก็อาจจะก่อให้เกิดปัญหาความผันผวนในตลาดสุกรขึ้นมาได้ นอกจากนี้ โดยทั่วไปต้นทุนที่สำคัญของอาหารนั้นจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนที่สำคัญ คือ ต้นทุนวัตถุดิบ การผลิต การจัดเก็บและการขนส่ง ซึ่งต้นทุนเหล่านี้ ต้นทุนวัตถุดิบและการผลิตจะมีความสัมพันธ์กันและความผันแปรเปลี่ยนไปในแต่ละช่วง ส่วนต้นทุนการจัดเก็บและการขนส่งนั้นไม่มีความผันแปรในแต่ละช่วงมากนัก ทำให้สามารถบริหารจัดการได้ดีกว่าต้นทุนสองตัวแรก เนื่องจากว่า ส่วนผสมหลักที่ใช้ในการผลิตอาหาร เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันเส้น เป็นต้น นั้นค่อนข้างจะมีราคาผันผวนแปรเปลี่ยนไปตามสถานการณ์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ทำให้จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมหลักเพื่อสร้างสูตรอาหารที่มีคุณค่าอาหารตามต้องการของสุกรในแต่ละช่วงอายุ โดยคำนึงถึงราคาของวัตถุดิบและปริมาณวัตถุดิบที่มีอยู่ในคลังวัตถุดิบหรือที่สามารถจัดหาได้ในขณะนั้น จากนั้นก็นำสูตรอาหารที่คำนวณได้ส่งไปทำการผลิตอาหารสัตว์ตามสูตรอาหารที่ได้คำนวณไว้

เมื่อฝ่ายผลิตรับสูตรไป จะนำไปวางแผนการผลิตอาหารสูตรต่างๆ โดยอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ในการกำหนดและปรับเปลี่ยนตัวแปรของกระบวนการผลิต เช่น feeder speed, feed temperature, pressure เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับสูตรอาหารที่จะผลิต และหากทำการผลิตแล้วผลผลิตที่ได้ไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ เช่น มีฝุ่นมาก มีการแตกหักของเม็ด เป็นต้น หรือเกิดปัญหาต่อความสามารถของการผลิต เช่น ผลิตได้ยาก อัตราการอัดเม็ดลดลง เป็นต้น เมื่อเกิดปัญหาดังกล่าว ผู้ผลิตจะทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการผลิตไปเรื่อยๆ เพื่อให้ได้คุณภาพที่ต้องการ ในบางกรณีเมื่อผลิตแล้วมีปริมาณฝุ่นมากเกินไป เม็ดอาหารสัตว์ที่ได้ไม่มีคุณภาพตามมาตรฐาน จะต้องมีการนำผลผลิตที่ได้กลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (reprocess) ในบางกรณีเมื่อลองผิดลองถูกหลายครั้งแล้วยังไม่สามารถ

ผลิตอาหารสัตว์ได้ตามมาตรฐาน ฝ่ายออกสูตรอาหารก็จำเป็นต้องการปรับปรุงสูตรใหม่โดยการจำกัดสัดส่วนของวัตถุดิบบางชนิดในสูตรอาหารเพื่อแก้ไขปัญหาในการผลิต

กระบวนการการออกสูตรอาหารเพื่อนำไปผลิตนั้นมีความสำคัญอย่างมาก เพราะสูตรอาหารที่นำไปผลิตนั้นถึงแม้ว่าจะเป็นสูตรอาหารที่มีต้นทุนวัตถุดิบ (raw material cost) ที่ต่ำแต่อาจส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิต (production cost) ที่เกิดจากการสูญเสียกำลังการผลิตของเครื่องจักรไปในการผลิตซ้ำของผลผลิตที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน หรือการมีอัตราผลผลิตน้อย หรือการสูญเสียกำลังการผลิตไปในการปรับเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการผลิต เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ (decision tool) เพื่อทำการพยากรณ์ต้นทุนและความสามารถในการผลิตของสูตรอาหารสัตว์ (ในรูปของอัตราการอัดเม็ดและระดับฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการผลิต) ด้วยตัวแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks, ANNs) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ในการพยากรณ์โดยฝ่ายที่ออกสูตรอาหารสามารถที่จะกะประมาณอัตราการอัดเม็ดและระดับฝุ่นได้ รวมทั้งต้นทุนการผลิตของสูตรอาหารนั้นได้ทันที ซึ่งจะช่วยให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถเลือกสูตรที่จะทำการผลิตที่คาดว่าจะมีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดได้อย่างแท้จริง นอกจากนี้ การนำไปประยุกต์ใช้จริงในอุตสาหกรรมนั้น จะต้องมีการพัฒนาเครื่องมือให้อยู่ในรูปซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการทำงานซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญยิ่ง

ดังนั้น การกะประมาณต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหารก็เพื่อที่จะไปใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการต้นทุนของอาหารสัตว์ที่เกิดขึ้นจากความผันผวนของวัตถุดิบและการผลิต จะทำให้องค์กรสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เพื่อวางแผนการผลิต การขาย การตั้งราคา และการจัดลำดับการจับสุกรในแต่ละฟาร์มให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้

แนวทางและระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยทำการวิจัยเป็นกรณีศึกษาในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ที่จังหวัดลพบุรี ซึ่งเป็นบริษัทในเครือบริษัทเบทาโกร จำกัด (มหาชน) โดยการวิจัยช่วงแรก ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 – มิถุนายน 2553 เป็นการศึกษาถึงวิธี ตลอดจนแนวทางเพื่อการพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ความสามารถในการผลิตสูตรอาหารสัตว์แบบต่างๆ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และการตรวจสอบความแม่นยำเมื่อนำไปใช้ในสถานการณ์จริงในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลากับช่วงแรกยาวนานกว่าปกติ ส่วนการศึกษาในช่วงที่สอง คือ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 – มกราคม 2553 เป็นการหาแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในรูปของโปรแกรมประยุกต์ พร้อมทั้งทดสอบการนำไปใช้จริงในการประมาณต้นทุนและความสามารถในการผลิตของสูตรอาหารสัตว์ โดยสามารถจำแนกขั้นตอนการวิจัยได้ ดังนี้

1. การวิจัยแรกเริ่ม

การวิจัยแรกเริ่มนั้นทางคณะผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานต่างๆ ขึ้นมาเพื่อหาแนวทางในการพยากรณ์ โดยอยู่บนสมมติฐานหลักที่ว่า การผลิตอาหารในแต่ละสูตรนั้นจะใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบ (raw material inclusion) ที่แตกต่างกัน บางครั้งวัตถุดิบเดียวกันแต่มีแหล่งที่มาและคุณค่าทางอาหาร (nutrient content) ในวัตถุดิบแตกต่างกัน ส่งผลให้มีอัตราการผลิต (production rate) และเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (percent of fine level) แตกต่างกัน นอกจากนี้การกำหนดค่าตัวแปรในกระบวนการผลิต (process parameter) แตกต่างกันของฝ่ายผลิตก็อาจจะส่งผลต่ออัตราการผลิตและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดสมมติฐานเพื่อทำการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรวัตถุดิบและตัวแปรการผลิตต่ออัตราการผลิตและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นดังนี้

สมมติฐานที่ 1 พารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต (processing parameters) กับน้ำหนักของส่วนผสมคุณค่าทางอาหาร (nutrient content) ของวัตถุดิบทั้งหมดในสูตรอาหารต่างๆ จะส่งผลต่ออัตราการผลิตและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในการอัดเม็ด

สมมติฐานที่ 2 พารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตกับน้ำหนักของส่วนผสมของคุณค่าทางอาหารภายในของวัตถุดิบที่สำคัญแต่ละชนิดในสูตรอาหารแต่ละสูตร จะส่งผลต่ออัตราการผลิตและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในการอัดเม็ด

สมมติฐานที่ 3 พารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตกับสัดส่วนผสมของวัตถุดิบที่สำคัญแต่ละชนิดในสูตรอาหารแต่ละสูตร (raw material inclusion) จะส่งผลต่ออัตราการผลิตและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในการอัดเม็ด

สมมติฐานที่ 4 สัดส่วนผสมของวัตถุดิบที่สำคัญแต่ละชนิดในสูตรอาหารแต่ละสูตร จะส่งผลต่ออัตราการผลิตและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นในการอัดเม็ดที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากว่า ตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆ ในการผลิตได้ถูกกำหนดไว้ให้เป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตอาหารแต่ละสูตรอาหารแล้ว

ข้อสรุปจากการพัฒนาตัวแบบแบบโครงข่ายประสาทเทียมตามแต่ละสมมติฐานทั้ง 4 สมมติฐาน นั้นสามารถสรุปได้ว่า สมมติฐานที่ 3 ให้ความแม่นยำในการพยากรณ์ดีที่สุด สำหรับอัตราการผลิตและเปอร์เซ็นต์ฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการผลิต ด้วยมาตรวัดความแม่นยำ MAPE คือ 9.34 และ 15.64 % ของชุดทดสอบตามลำดับ รองลงมา คือ สมมติฐานที่ 1 และ 2 ด้วยค่า MAPE ที่ใกล้เคียงกัน คือ มีค่าเท่ากับ 10.46 และ 10.01% ของชุดทดสอบตามลำดับ และสมมติฐานที่ 4 มีค่าสูงที่สุดสำหรับการพยากรณ์อัตราเร็วการผลิต เท่ากับ 11.24 % ของชุดทดสอบ ซึ่งก็เป็นค่าที่ไม่สูงมากนัก สามารถที่ยอมรับได้ในระดับหนึ่ง แต่ว่าเมื่อวิเคราะห์ถึงความสะดวกในการนำไปใช้งาน จะพบว่า สมมติฐานที่ 3 กับ 4 มีความสะดวกมากกว่า 1 กับ 2 เนื่องจากว่า ฝ่ายออกสูตรอาหารซึ่งจะต้องเป็นผู้ใช้ตัวแบบนี้ในการประมาณต้นทุนนั้นจะต้องทำการปรับเปลี่ยนสูตรอาหารให้เหมาะสมกับราคาของวัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา และเนื่องจากว่า ตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆ ในการผลิตได้ถูกกำหนดไว้ให้เป็นค่าที่ดีที่สุด

สำหรับการผลิตอาหารแต่ละสูตรอาหารอยู่แล้ว ดังนั้น สมมติฐานที่ 4 จึงได้ถูกนำไปใช้ในการวิจัยเพื่อทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ต่อไป

2. การวิจัยช่วงที่สอง การพัฒนาเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ

การวิจัยนี้จะเป็นการขยายผลการวิจัยในช่วงแรกเริ่มไปสู่การพัฒนาวิธีการต่างๆ ให้สะดวกและเหมาะสมกับสภาพในการทำงานให้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในสถานการณ์จริงในการดำเนินงานของอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.1 การพัฒนาโปรแกรมการประมาณต้นทุนอาหาร เพื่อนำไปประมาณการต้นทุนและความสามารถในการผลิตของสูตรอาหารสัตว์ ด้วยตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพยากรณ์โดยฝ่ายที่ออกสูตรอาหารสามารถที่จะประมาณอัตราการอัดเม็ดและระดับฝุ่นได้ การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม นั้นได้นำผลจากการวิจัยแรกเริ่มมาพัฒนาต่อยอด โดยที่โครงสร้างและสถาปัตยกรรมที่ใช้ มีดังนี้

- โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ
- จำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลนำเข้า ได้แก่ สัดส่วนผสมของวัตถุดิบที่สำคัญแต่ละชนิดในสูตรอาหารแต่ละสูตร ตามสมมติฐานที่ 4 จำนวน 28 ปัจจัยเป็นตัวแปรต้นและข้อมูลนำเข้า
- จำนวนชั้นซ่อน กำหนดให้มี 1 – 2 ชั้นซ่อนไว้
- จำนวนหน่วยซ่อน (Hidden nodes) ในชั้นซ่อน ทำการทดลองหาค่าที่ดีที่สุด โดยแปรค่าตั้งแต่ 0 – 200 nodes
- จำนวนหน่วยซ่อนในชั้นซ่อนที่ 2 ทำการทดลองหาค่าที่ดีที่สุด โดยแปรค่าตั้งแต่ 0 – 60 nodes
- ฟังก์ชันกระตุ้น (Activating function) แบบ Sigmoid
- จำนวนหน่วยในชั้น Output คือ อัตราการผลิต (ตัน/ชั่วโมง) และปริมาณฝุ่นที่จะเกิดขึ้นจากการผลิต (%)

2.2 นำไปทดสอบใช้ในสถานการณ์จริง

2.3 ปรับปรุงแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้สะดวกและเหมาะสม รวมทั้งการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพในการนำเอโปรแกรมไปใช้จึงต้องมีการปรับแต่งให้เข้ากับสภาพการทำงาน ณ ปัจจุบันให้มากที่สุด รวมทั้งยังสามารถรองรับสภาพต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตได้ อาทิเช่น การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบหลักตัวใหม่ที่สำคัญ เป็นต้น

- สามารถที่จะทำการปรับเปลี่ยนจำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลนำเข้าซึ่งก็คือสัดส่วนผสมของวัตถุดิบที่สำคัญแต่ละชนิดในสูตรอาหารแต่ละสูตรได้จำนวนที่ต้องการ

2.4 สรุปและนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

3. การคำนวณหาต้นทุนทั้งหมดของการผลิตสุตรอาหารจากการพยากรณ์

เพื่อให้ได้สุตรอาหารที่จะผลิตมีต้นทุนที่ต่ำที่สุดอย่างแท้จริง การคำนวณต้นทุนสุตรอาหารแต่ละสุตรจะต้องคำนวณต้นทุนที่เกิดจากวัตถุดิบ (raw material cost) และต้นทุนการผลิต (production cost) รวมเข้าด้วยกัน โดยต้นทุนการผลิตนั้น ในการวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการผลิตโดยตรงซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการผลิต และต้นทุนที่เกิดจากการทำการผลิตซ้ำซึ่งเกิดจากการที่อาหารที่ผลิตออกมามีเปอร์เซ็นต์ฝุ่นมากเกินไป ในกรณีต้นทุนการผลิตโดยตรงนั้น ถ้าสุตรอาหารมีอัตราการผลิต (ตัน / ชม.) ต่ำจะสะท้อนให้เห็นถึงต้นทุนการผลิตต่อหน่วยการผลิตที่สูงขึ้น ในขณะที่สุตรอาหารที่มีอัตราการผลิต (ตัน / ชม.) สูงจะส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่ต่ำ โดยต้นทุนการผลิตทั้ง 2 กรณีสามารถจะประมาณได้ดังนี้

(1) ต้นทุนการผลิตโดยตรง

$$\text{ต้นทุนการผลิต} = [\text{ต้นทุนผลิต (บาท/ชม.)} \times \text{ปริมาณการผลิต/อัตราการผลิต (ชม.)}]$$

(2) ต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นเมื่อจะต้องมีการผลิตซ้ำเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ฝุ่นเกินอัตราที่กำหนด

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนการผลิตในกรณีที่มีการผลิตซ้ำ} &= [\text{ต้นทุนผลิต (บาท/ชม.)} \times \\ &\quad \text{ปริมาณการผลิต/อัตราการผลิต (ชม.)}] + \\ &\quad \text{ต้นทุนในการผลิตซ้ำ (ตัน/ชม.)} \end{aligned}$$

การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการพัฒนาโปรแกรม

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นข้อมูลแบบพหุติภูมิที่เก็บรวบรวมมาจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลด้านวัตถุดิบ และการผลิต ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 – มกราคม 2554 มีรายละเอียด ดังนี้

1. บันทึกการลำดับการผสมและส่วนผสมของสุตรอาหารจากเครื่องผสม ข้อมูลในส่วนนี้รวบรวมมาจากแผนกวางแผนการผลิต

2. บันทึกการอัดเม็ด รวบรวมมาจากแผนกผลิต โดยข้อมูลประกอบไปด้วย ล้อทการผลิต เบอร์ดอาหารที่ผลิต เครื่องอัดเม็ดที่ใช้ เบอร์ดและขนาดความหนาของไดร์ (die size and die thickness) จำนวนไขมันที่ฉีดหน้าได ที่ทำให้ได้อัตราการผลิต (ตันต่อชั่วโมง) และเปอร์เซ็นต์ฝุ่นที่เกิดขึ้นกิโลกรัมของ แต่ละขนาดถุงบรรจุ

ผลการวิจัย

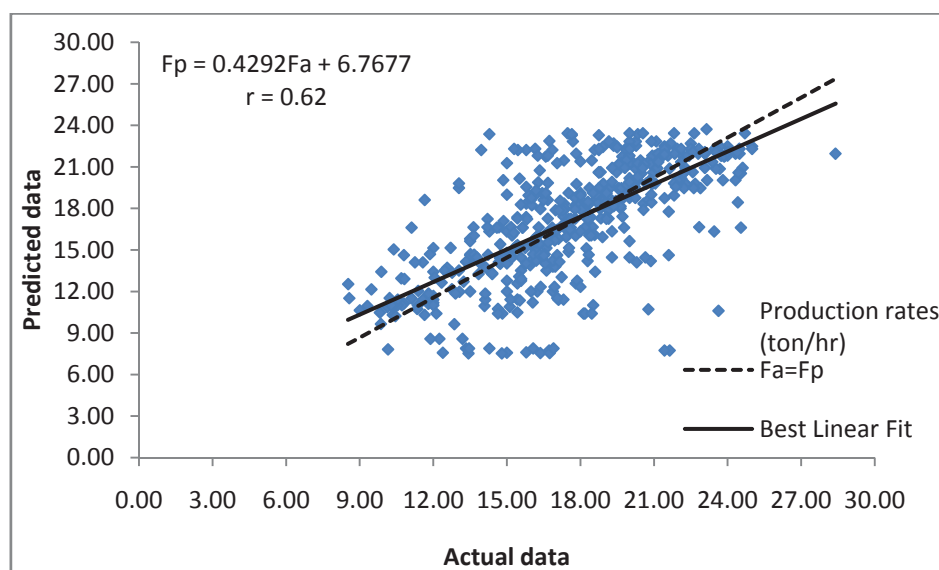
ผลการวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นที่ทำการต่อยอดผลจากการวิจัยก่อนหน้านี้ โดยทำการพัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วยในการตัดสินใจหรือโปรแกรมการประมาณต้นทุนอาหารนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลการพัฒนาโปรแกรมการประมาณต้นทุนอาหาร

การประมาณต้นทุนอาหารที่ได้จากการพยากรณ์ความสามารถในการผลิตอาหารที่อยู่ในรูปของอัตราการผลิตนั้น สามารถแบ่งออกตามเครื่องจักรที่ทำการผลิตได้ ดังนี้

1.1 ผลการประมาณอัตราการผลิตอาหารในเครื่องจักรที่ 1

การประมาณอัตราการผลิตในการเครื่องจักรที่ 1 เพื่อทดสอบดูความแม่นยำของตัวโปรแกรมกับค่าจริงที่เกิดขึ้น ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 1

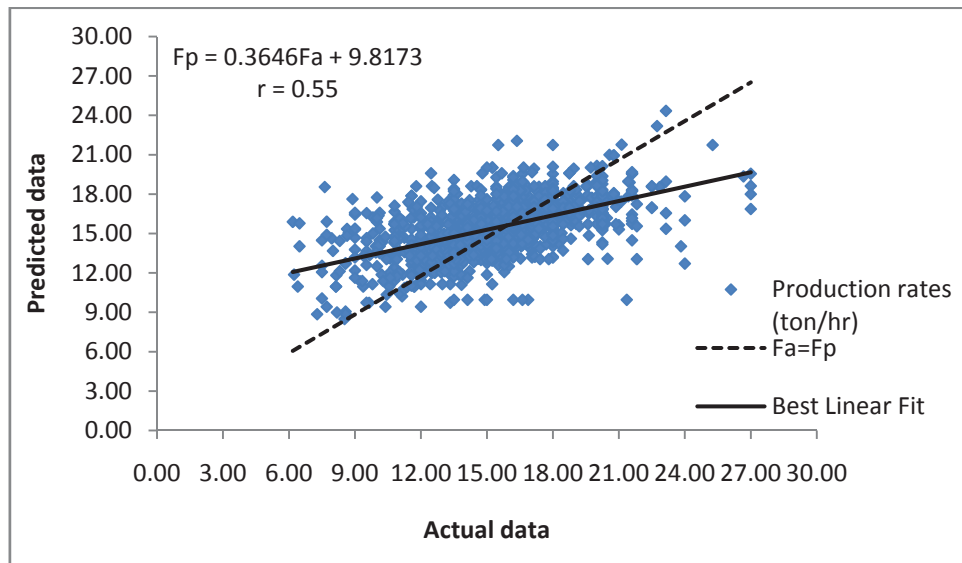
จากภาพที่ 4.1 ผลการประมาณอัตราการผลิตสำหรับเครื่องจักรที่ 1 จากการนำไปทดสอบใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่าจริงจากการผลิตและค่าจากการประมาณมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาจจะมีบางค่าที่อาจจะไม่แม่นยำ แต่โดยรวมก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น ตัวโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณต้นทุนอาหารสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงได้ด้วย ความแม่นยำถูกต้องที่ยอมรับได้

1.2 ผลการประมาณอัตราการผลิตอาหารในเครื่องจักรที่ 2

การประมาณอัตราการผลิตในการเครื่องจักรที่ 2 เพื่อทดสอบดูความแม่นยำของตัวโปรแกรมกับค่าจริงที่เกิดขึ้น ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.2

จากภาพที่ 4.2 ผลการประมาณอัตราการผลิตสำหรับเครื่องจักรที่ 2 จากการนำไปทดสอบใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่าจริงจากการผลิตและค่าจากการประมาณมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาจจะมีบางค่าที่อาจจะไม่แม่นยำ แต่โดยรวมก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น ตัว

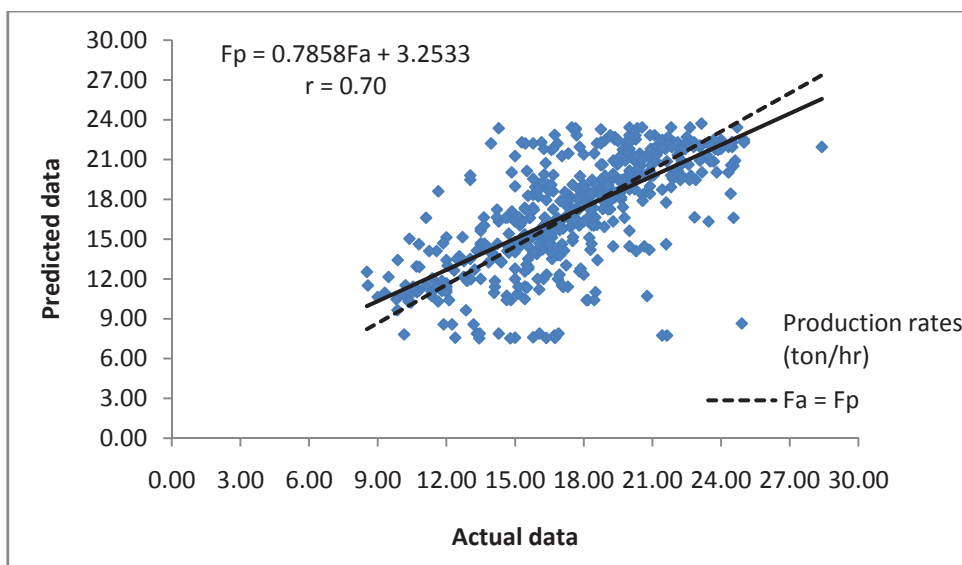
โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณต้นทุนอาหารสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงได้ด้วยความแม่นยำถูกต้องที่ยอมรับได้ระดับหนึ่ง



ภาพที่ 4.2 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 2

1.3 ผลการประมาณอัตราการผลิตอาหารในเครื่องจักรที่ 3

การประมาณอัตราการผลิตในการเครื่องจักรที่ 3 เพื่อทดสอบดูความแม่นยำของตัวโปรแกรมกับค่าจริงที่เกิดขึ้น ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.3

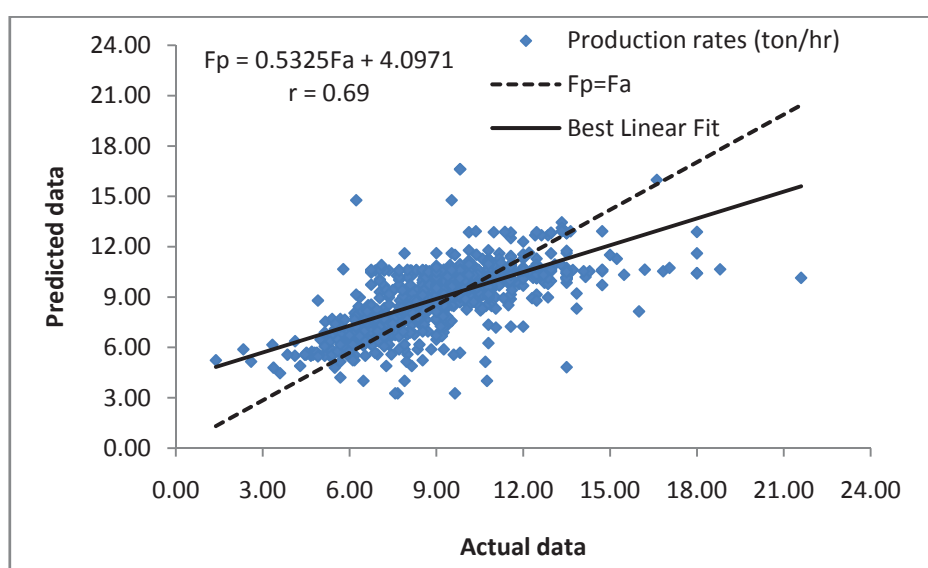


ภาพที่ 4.3 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 3

จากภาพที่ 4.3 ผลการประมาณอัตราการผลิตสำหรับเครื่องจักรที่ 3 ที่นำไปทดสอบใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่าจริงจากการผลิตและค่าจากการประมาณมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาจจะมีบางค่าที่อาจจะไม่แม่นยำ แต่โดยรวมก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น ตัวโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณต้นทุนอาหารสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงได้ด้วยความแม่นยำถูกต้องที่ดีได้

1.4 ผลการประมาณอัตราการผลิตอาหารในเครื่องจักรที่ 4

การประมาณอัตราการผลิตในการเครื่องจักรที่ 4 เพื่อทดสอบดูความแม่นยำของตัวโปรแกรมกับค่าจริงที่เกิดขึ้น ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ผลการประมาณอัตราการผลิตในเครื่องจักรที่ 4

จากภาพที่ 4.4 ผลการประมาณอัตราการผลิตสำหรับเครื่องจักรที่ 4 ที่นำไปทดสอบใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่าจริงจากการผลิตและค่าจากการประมาณมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาจจะมีบางค่าที่อาจจะไม่แม่นยำ แต่โดยรวมก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น ตัวโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณต้นทุนอาหารสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงได้ด้วยความแม่นยำถูกต้องที่ยอมรับได้

1.5 ผลการประมาณต้นทุนอาหารด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

โปรแกรมจะแสดงผลการการประมาณอัตราการผลิตแต่ละเครื่องจักรและทำการประมาณต้นทุนอาหารที่คาดว่าจะเกิด ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.5 โดยต้นทุนที่ได้มีหน่วยเป็นบาทต่อตัวต่อชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจบริหารจัดการต่อไป

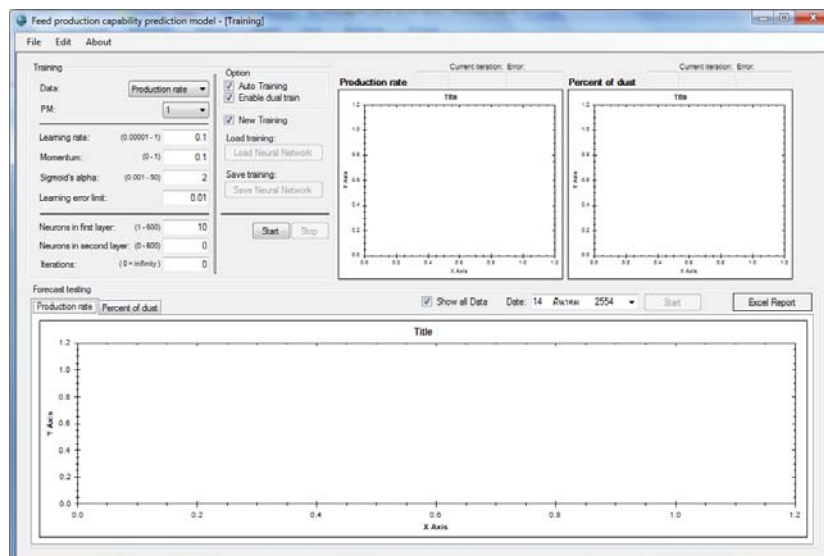
Feed production capability prediction report												
No	Lot	Formula Number	Pelleting (average)		Average cost (average, unit:THB)		Pelleting machine 1 (PM1)		Pelleting machine 2 (PM2)		Total cost	Total cost
			Production rate (T/Hr)	Dust level (%)	Production cost	Raw material cost	Production rate (T/Hr)	Dust level (%)	Production rate (T/Hr)	Dust level (%)		
1	B203	203000000011'	11.13	6.27	405.07	0	405.07	13.4142	9.765157	321.8231	0	0
2	B203A	203A000000011'	11.68	6.94	374.57	0	374.57	13.05078	9.421166	330.7849	0	0
3	B203V	203V000000011'	13.16	9.53	327.99	0	327.99	13.16183	9.526281	327.9939	0	0
4	B204	2040000000012'	15.40	11.05	283.79	0	283.79	13.29695	9.654177	324.6608	15.45654	10.86004
5	B204A	204A000000012'	14.11	9.94	306.24	0	306.24	13.72307	10.0575	314.5798	14.49169	9.825308
6	B205	2050000000012'	15.11	10.77	291.26	0	291.26	12.64028	9.032622	341.5272	14.95563	10.32285
7	B211	2110000000011'	12.96	9.34	333.02	0	333.02	12.96338	9.338437	333.0151	0	0
8	B215	2150000000011'	12.81	9.19	337.06	0	337.06	12.80778	9.191167	337.0606	0	0
9	D405	4050000000013'	16.17	11.74	718.98	0	718.98	14.87899	11.15161	727.1407	11.46617	6.58065
10	L101	1010000000011'	12.31	8.72	350.56	0	350.56	12.31453	8.724287	350.5615	0	0
11	L101V	101V000000011'	12.56	8.95	343.82	0	343.82	12.55601	8.952857	343.8194	0	0
12	L104R	104R000000011'	16.29	12.28	268.32	0	268.32	0	0	0	17.91755	13.49929
13	L302FI	302FI000000019'	16.11	11.56	705.02	0	705.02	0	0	0	16.10721	11.55784
14	L302I	302I000000019'	14.33	9.65	738.29	0	738.29	0	0	0	14.32836	9.65015
15	P301B	301B000000020'	14.47	9.77	741.03	0	741.03	16.83301	13.00114	693.4604	14.53507	9.871831
16	P301L	301L000000019'	11.70	8.58	823.32	0	823.32	9.221668	5.796819	905.1366	0	0
17	P302	3020000000020'	12.58	8.95	784.02	0	784.02	14.48929	10.78276	734.9441	11.98062	7.132358

ภาพที่ 4.5 รายงานผลการประมาณต้นทุนการผลิตอาหาร

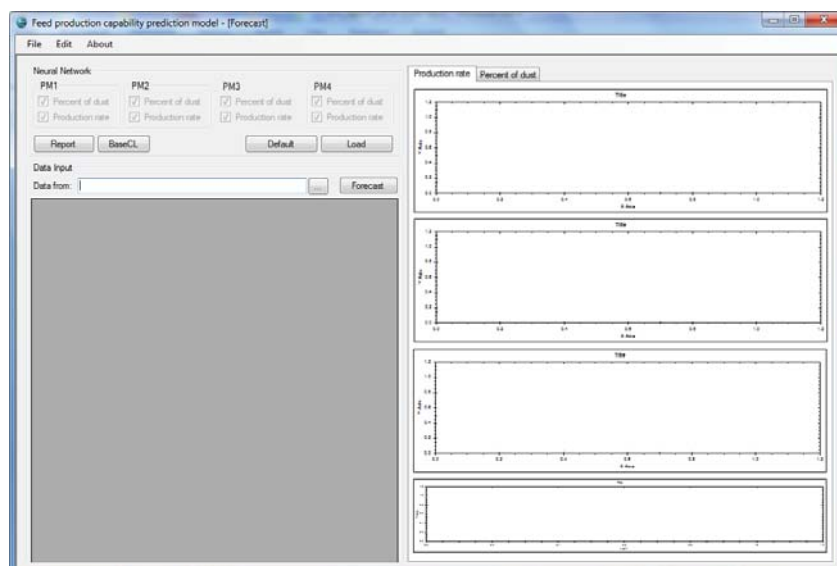
2. การทำงานของโปรแกรมการประมาณต้นทุนอาหาร

2.1 การใช้งานโปรแกรม เมื่อเรียกใช้งาน จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมา ดังภาพที่ 4.6

2.2 วิธีการสั่งให้โปรแกรมทำงานตามวัตถุประสงค์ ก็ให้คลิกเลือก File เพื่อเรียกเมนูที่ต้องการจะใช้งาน โดยจะมีเมนู ANN Forecast สำหรับใช้เพื่อการกะประมาณต้นทุนอาหาร (ภาพที่ 4.7) ส่วนเมนู ANN Training สำหรับใช้ในการสร้างตัวแบบการพยากรณ์หรืออัปเดตตัวแบบการพยากรณ์ (ภาพที่ 4.6) ส่วนเมนู Import จะใช้สำหรับการนำข้อมูลเข้าและ Exit สำหรับปิดการใช้งานโปรแกรม



ภาพที่ 4.6 แสดงโปรแกรมการประมาณต้นทุนอาหารเมื่อถูกเรียกใช้งาน

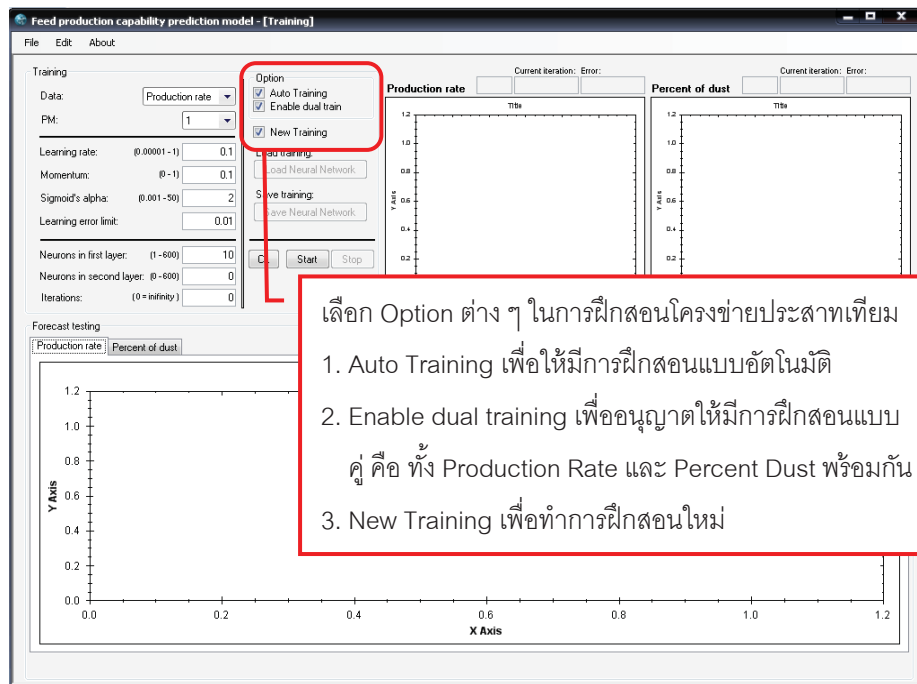


ภาพที่ 4.7 แสดงหน้าต่างโปรแกรมสำหรับกะประมาณต้นทุนอาหาร

2.3 เมนู Import จะใช้สำหรับการเพิ่มข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล โดยในเมนูนี้ จะประกอบไปด้วยเมนูย่อย 2 เมนู คือ Excel และ Text File โดยเมนูย่อย Text File เป็นการนำข้อมูลเข้าในส่วนของสูตรอาหารและวัตถุดิบ คือ ส่วนประกอบชนิดต่างๆ เข้าสู่ฐานข้อมูล ส่วนเมนูย่อย Excel File เป็นการนำข้อมูลเข้าในส่วนของบันทึกการอัดเม็ดที่ประกอบไปด้วยรายละเอียดต่างๆ จากบันทึกการอัดเม็ดของฝ่ายผลิต

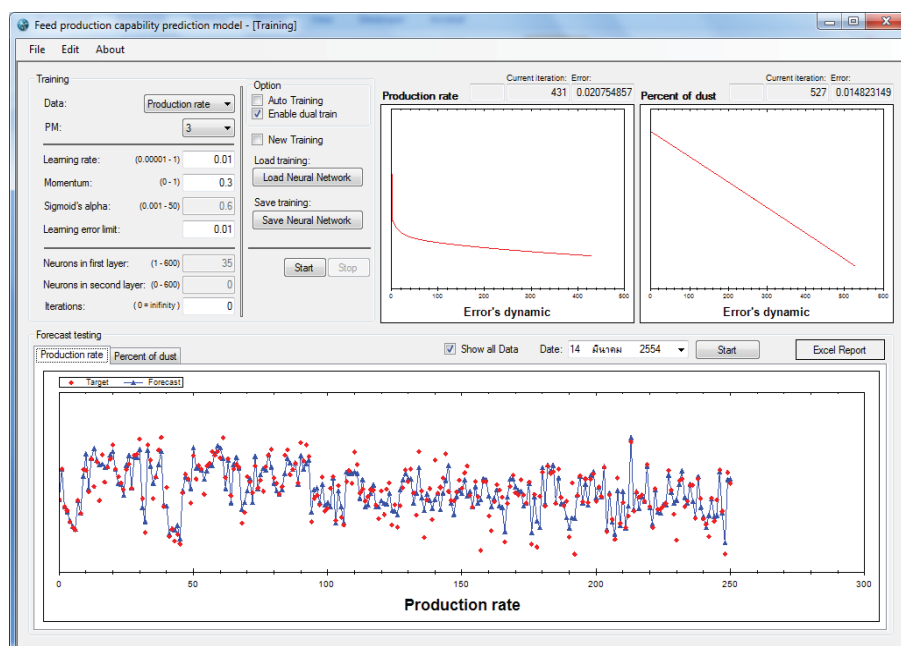
2.4 ตรวจสอบข้อมูลที่นำเข้าโปรแกรมในฐานข้อมูล (Check database) โดยไปที่เมนูหลักและเลือกเมนู Edit --> Database ก็จะเข้าหน้าต่างแสดงเมนู เพื่อให้เลือกที่จะ ตรวจสอบฐานข้อมูลตัวไหน ก็เลือกได้ตามต้องการ จากนั้นก็สามารถทำการแก้ไข หรือลบข้อมูลได้ตามสะดวก

2.5 เพื่อให้โปรแกรมมีความสามารถในการเรียนรู้และจดจำปัญหาหรือคุณลักษณะต่างๆ ได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ จะต้องมีการปรับปรุงและแก้ไขตัวแบบการพยากรณ์ ซึ่งการสร้างตัวแบบการพยากรณ์สามารถทำได้โดย เลือกเมนู File --> ANN Training ก็จะปรากฏ ดังภาพที่ 4.8



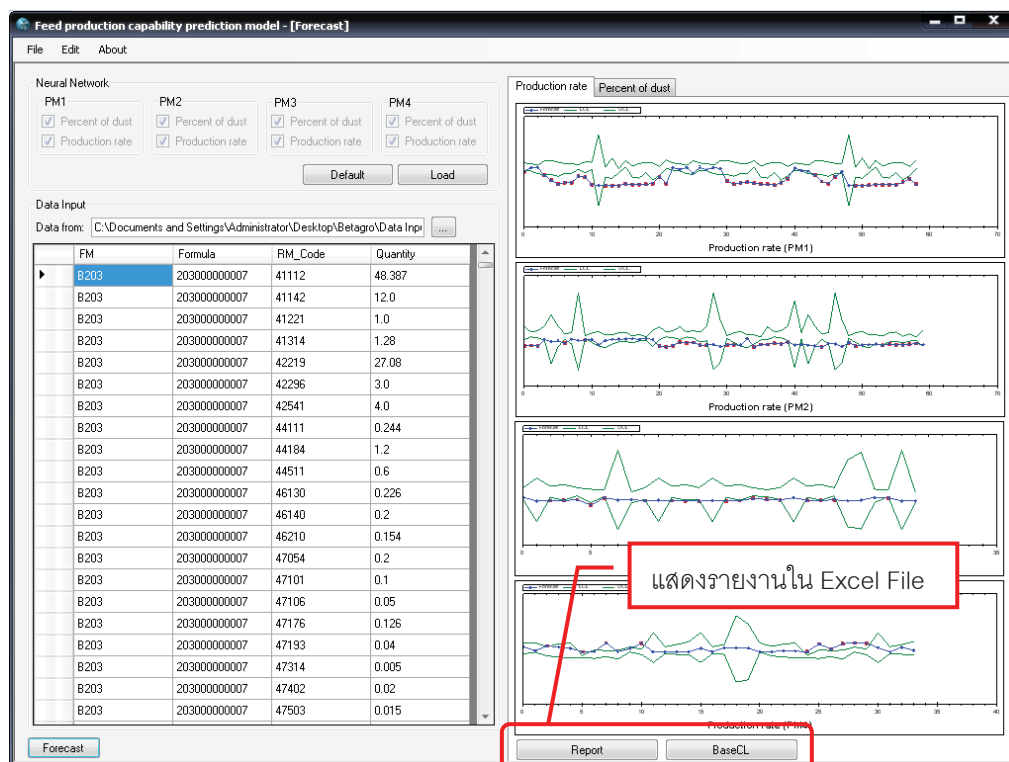
ภาพที่ 4.8 แสดงการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อนำไปประมาณต้นทุนอาหาร

ในระหว่างการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ตัวโปรแกรมก็จะทำงานไปจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ดี ตามที่โปรแกรมได้ตั้งค่าไว้ ถ้าต้องการหยุดการฝึกสอนกลางคันก็สามารถทำได้โดยการคลิกหยุดที่ Stop เพื่อหยุดการทำงานและหลังจากได้ผลการฝึกสอนของตัวแบบนั้นๆ ก็ทำการบันทึกผลและนำไปใช้ในการประมาณต้นทุนอาหาร ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประมาณต้นทุนอาหาร

2.6 เมื่อจะทำการประมาณต้นทุนอาหาร ก็ใช้คำสั่งเลือกเมนู File --> ANN Forecast ก็จะได้ปรากฏ ดังภาพที่ 4.7 และคลิกเลือก Load เมื่อต้องการใช้ตัวแบบการประมาณที่สร้างไว้มาใช้งาน จากนั้นก็สั่งให้โปรแกรมทำงาน ก็จะปรากฏหน้าต่างโปรแกรมดังภาพที่ 4.9 แสดงผลการประมาณต้นทุนอาหาร ถ้าต้องการให้แสดงรายงานในรูปแบบของไฟล์ Excel ก็สามารถทำได้ นอกจากนี้ยังโปรแกรมยังสามารถแสดงรายงานให้ในรูปแบบของการเปรียบเทียบผลการประมาณต้นทุนอาหาร (Benchmark) ที่ต้องการกับต้นทุนอาหารมาตรฐานจากการผลิต เพื่อนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจว่าจะเลือกผลิตสูตรอาหารใด ดังแสดงในภาพที่ 4.10 – 4.12



ภาพที่ 4.10 แสดงผลการประมาณต้นทุนอาหารด้วยโปรแกรม

No	Lot	Formula Number	Pelleting (average)	Average cost (average, unit THB)	Pelleting machine 1 (PM1)	Pelleting machine 2 (PM2)	Pelleting machine 3 (PM3)	Pelleting machine 4 (PM4)
1	B203	2030000000	11.6555	12.3511	378.0242	0	0	0
2	B203A	2030000000	11.20544	10.26775	388.9473	0	0	0
3	B203V	2030000000	12.27246	12.78085	351.7833	0	0	0
4	B204	2040000000	8.308065	7.692554	539.3858	0	0	0
5	B204A	2040000000	6.815347	6.640861	633.4234	0	0	0
6	B205	2050000000	8.373498	5.605189	551.1675	0	0	0
7	B211	2110000000	5.388935	8.114615	801.0859	0	0	0
8	B215	2150000000	3.365298	6.742822	1282.799	0	0	0
9	L101	1010000000	4.158382	7.280441	1038.144	0	0	0
10	L101V	1010000000	4.135912	7.26521	1043.784	0	0	0
11	L102	1020000000	7.578075	9.588599	569.6697	0	0	0
12	L102V	1020000000	7.164318	9.318119	602.5896	0	0	0
13	L103CV	1030000000	3.074779	6.545884	1404.004	0	0	0
14	L104R	1040000000	11.72988	10.78514	368.6634	0	0	0
15	L123PE1	123PE10101	11.28033	8.261101	382.7015	0	0	0
16	P9051	9050000000	9.68747	5.774115	665.8983	0	0	0
17	P9071	9070000000	10.90228	9.822778	832.9722	0	0	0
18	P906	3060000000	10.35759	8.153242	642.5222	0	0	0
19	P307	3070000000	11.7839	10.00908	804.4947	0	0	0
20	PF937	9370000000	0	0	0	0	0	0
21	R002	0020000000	6.456603	6.040649	1051.64	0	0	0

ภาพที่ 4.11 รายงานผลการประมาณต้นทุนอาหาร

No	FN	Formula Number	Aug. Production rate (tons/hr.)	PM1 (Production rate : ton/hr.)	PM2 (Production rate : ton/hr.)	PM3
1	B203	2030000000007	11.65549557	11.10904	14.77003	18.43103
2	B203A	2030000000007	11.20544164	0.946679	11.77749	22.6085
3	B203V	2030000000007	12.27245642	8.923442	11.24107	13.5587
4	B204	2040000000007	8.308065305	11.44433	16.23299	21.02165
5	B204A	2040000000007	6.815346954	14.56283	16.76037	18.9579
6	B205	2050000000007	8.373498425	12.41549	17.48759	22.53968
7	B211	2110000000007	5.388935322	8.474826	12.26647	16.05811
8	B215	2150000000007	3.365297717	7.560819	11.89237	15.22391
9	L101	1010000000007	4.158381611	9.118676	11.81773	14.51678
10	L101V	1010000000007	4.135912298	9.17595	11.80557	14.43519
11	L102	1020000000007	7.578075041	11.2309	12.48993	17.74896
12	L102V	1020000000007	7.164317723	9.578026	12.47292	15.36981
13	L103CV	1030000000007	3.074778573	11.24435	13.2195	15.19466
14	L104R	1040000000007	11.72987698	12.89065	10.5879	23.22693
15	L123PE1	123PE1010007	11.28033211	7.441369	10.42751	13.41366
16	P9051	9050000000007	9.687469773	0.67408	11.65488	23.94643
17	P9071	9070000000007	10.90228102	5.77453	15.08791	24.40129
18	P906	3060000000007	10.35758971	8.400232	11.90574	14.41124
19	P307	3070000000007	11.7838982	6.91689	11.23193	15.54698
20	PF937	9370000000007	0	0	0	0
21	R002	0020000000007	6.456603258	-1.47482	10.05	21.57482

ภาพที่ 4.12 รายงานผลการประมาณเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต้นทุนอาหาร

สรุป

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อประมาณต้นทุนอาหาร ภายใต้ความหลากหลายและการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมหลัก รวมทั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวแทนจำลอง และได้ผ่านการทดสอบใช้จริงในอุตสาหกรรม ซึ่งผลที่ได้ก็แสดงให้เห็นชัดเจนว่า มีความ

ถูกต้องแม่นยำที่สุดในระดับที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุนี้ การกะประมาณต้นทุนและความสามารถในการผลิตอาหารก็เพื่อที่จะไปใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการต้นทุนของอาหารสัตว์ที่เกิดขึ้นจากความผันผวนของวัตถุดิบและการผลิต จะทำให้องค์กรสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เพื่อวางแผนการผลิต การขาย และการตั้งราคา อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

Pathumnakul, S., Piewthongngam, K., Apichottanakul, A., (2009). A neural network approach to the selection of feed mix in the feed industry, Computers and Electronics in Agriculture, 68(1), August 2009, 18-24.

ภาคผนวก

ผลงานการตีพิมพ์



A neural network approach to the selection of feed mix in the feed industry

Supachai Pathumnakul^{a,1}, Kullapapruk Piewthongngam^{b,*}, Arthit Apichottanakul^{a,1}

^a Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

^b E-san Center for Business and Economic Research, Faculty of Management Sciences, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 August 2008

Received in revised form 1 April 2009

Accepted 2 April 2009

Keywords:

Artificial neural network

Feed cost

Least cost formulation

Pelleting rate

Pelleting cost

ABSTRACT

Due to frequent changes of feed mix, the anticipation of pellet quality becomes a cumbersome task for a mill. This paper suggests that the artificial neural network can be used to predict the production rate and percentage of dust for a particular mill. Applying the suggested method, the potentially costly test production that otherwise required is prevented. Four models based on process parameters (i.e., feeder speed, die size, die thickness and press motor amperage), the proportions of nutrient contents (i.e., protein, fat, fibre, and ash) and the type and proportions of raw materials included in each formula (i.e., corn, rice bran, and soybean) were applied. The data used in this study are the actual data collected from a feed mill in Thailand. The assumption of the first model is that the process parameters and the proportions of nutrient contents in a formula affect the production efficiency and pellet quality. The assumption of the second model is that the process parameters and the proportions of nutrient contents of each main raw material included in a formula affect the production efficiency and pellet quality. The assumption of the third model is that the process parameters and the proportions of main raw materials included in the formula affect the production efficiency and pellet quality. The assumption underlying the fourth model is that only the proportions of main raw materials included in each formula affect the production efficiency and pellet quality. The results show that the process parameters and the percent inclusion of main raw materials (Model 3) give a more accurate prediction of pelleting rate. For the prediction of the dust level, Model 1 gives the least accurate results, while the results from the other models are not significantly different. The ability to predict the production rate and dust level enhances the mill's capability to incorporate the cost of production during the feed formulation process. Hence, the mill will be able to consider both production and raw material costs simultaneously when deciding on the most economical formula for producing feed.

© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

In the feed industry, a linear programming approach called the “least cost formulation” (LCF) has been used to determine the cheapest blend of available raw materials that meet certain nutritional requirements. Although, using the least cost formulation, the calculated nutritional requirements are met, feed mills may face problems of pelleting quality due to different types of feedstuffs incorporated at different inclusion levels (Thomas et al., 1998). Hence, when different types of feedstuffs are processed, some pelleting parameters such as die size and die pressure should be adjusted to accommodate the unique physical–chemical properties of the diet ingredients. However, in order to correctly adjust the process parameters, operators need to assess the interactions

among each feedstuff and between the feedstuffs and production processes. Because these interactions are very complex, the effects of these parameters on pellet quality can only be roughly estimated rather than exactly measured (Thomas et al., 1998). In the past, mills slowly adjusted their processes to accommodate changes in the physical–chemical properties of each feed ingredients via learning-by-doing. During the learning process, if physical pellet quality did not meet the mill's standards, those batches were reprocessed. The capacity of the mills dropped, as a result, because of extra clearing and extensive reprocessing time.

From the late 2007 until the beginning of 2008, the price of agricultural products was soared as indicated by the data obtained from the Department of Internal Trade (Thailand) shown in Fig. 1. The fluctuated price resulted in the variation of feed formulas. For example, during August and October 2007, the percentage change of price of yellow corn and soybean meal were 17.34% and 25.36%, respectively, while the price of cassava and rice bran during that same period did not change radically. As a consequence, LCF suggested substituting cassava for yellow corn in respond to the relative price change as indicated in Table 1. In September, the percent

* Corresponding author. Tel.: +66 43 202401; fax: +66 43 202401.

E-mail addresses: supa.pat@kku.ac.th (S. Pathumnakul), pkullap@kku.ac.th (K. Piewthongngam), arthit.apichot@gmail.com (A. Apichottanakul).

¹ Tel.: +66 43 202697.

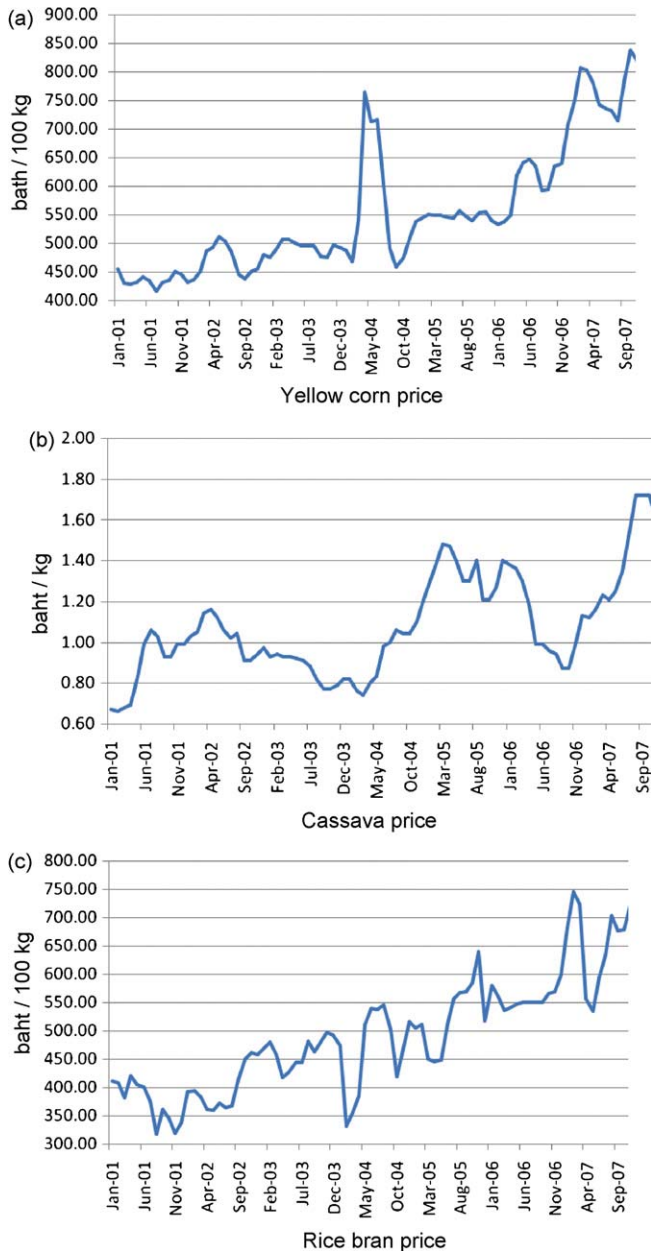


Fig. 1. Domestic price of main crops used in Thai feed industry, January 2001–September 2007. (a) Yellow corn price; (b) cassava price; (c) rice bran price. Note: The data were obtained from the Department of Internal Trade (Thailand).

inclusion of cassava chip in a swine feed was 17.76, while it was 31.94 in October. Feed mills are faced with dynamic processes in which they need to readjust their processes in order to accommodate different types of feedstuff of varying inclusion levels. The mill did not have adequate time for a proper process adjustment. Hence, the numbers of reprocessed batches rise along with production completion time as a result of frequently changing feed composition. For lean production and lean inventory, this situation may create back orders, which are likely to trigger customer complaints. If the problem persists, the mills might experience a sale loss in the near future.

One way to prevent the reprocessing caused by such an issue is to detect the troubled feed ration prior to starting actual production. Chappell (1974) suggested that if inclusion of a certain ingredient at a high level is likely to cause operation problems, a production manager who uses LCF as a communication tool, may persuade the

Table 1

A swine feed formula suggested by least cost formulation in September and October 2007.

Month	Raw material type	% inclusion
September	Yellow corn	8.00
	Tapioca pulp	6.90
	Cassava chip	17.76
	Rice solvent bran	21.38
	Raw rice bran	21.11
	Soybean meal (49.15% protein)	9.44
	Other ingredients	15.42
	Total	100.00
October	Cassava chip	31.94
	Rice solvent bran	30.00
	Raw rice bran	15.00
	Soybean meal (46.15% protein)	11.89
	Other ingredients	11.17
	Total	100.00

Note: The percent inclusion was based on wet basis.

formulation manager to decrease the allowance level of that material. However, in order to anticipate those operation problems, the production manager needs to assess what to do based either upon his experience (Thomas et al., 1997) or upon trials-and-errors which can both costly and error-prone. In this study, we offer a prediction model created by the artificial neural network (ANN) as a tool for the production manager to communicate with the formulation manager such that they can distinguish troubled feed rations from the good ones prior to starting actual production.

2. Literature review

Since the 1950s, the “least cost” formula has been used in the feed industry to determine the optimal blend of feed ingredients (e.g., Brigham, 1959; Panne and van de Popp, 1963; Mohr, 1972; Chappell, 1974). In the 1980s, the formula was developed to be more user-friendly, being utilized by a micro-computer to estimate how best to produce multi-feed, given different blends, each with unique requirements and each manufactured from common stocks of raw materials (Kock and De Sinclair, 1987). From the time the LCF was first developed until recently, the model was focused more on the costs of raw materials. Recently, however, environmental factors are being considered to determine optimal blending (e.g., Jean dit Bailleul et al., 2001; Tozer and Stokes, 2001; Castrodeza et al., 2005; Pomar et al., 2007). Few, if any, have attempted to combine production problems, pellet quality, and LCF model.

Pellet quality is a main concern for feed mills because the scientific literature indicates that its effect on animal growth and feed utilization of the animal impacts overall production costs. For example, birds prefer more coarse particles and will eat more of a coarsely ground than of a finely ground mash diet (Svihus et al., 2004). Pigs, under pelleted feed, also improve feed utilization about 8% more than mash feed (Thomas et al., 1998). For these reasons, farmers prefer to purchase feed with minimum amount of fines. And that, they prefer the high-quality pelleted product that resists a certain level of stress occurring during transportation. In practical feed mills, pelleted feeds are subject to shearing actions that cause the outer layer to crack. These cracks form artifacts in the pelleted feed and induce fines. Hence, mills need to produce good quality of pelleted product to endure a certain transportation stresses to satisfy their customers' need (Thomas and van der Poel, 1996).

There are two main factors that affect pellet quality of the feed: (1) process parameters such as the layout and dimensions of the pelleting machine, the roller, the die assembly and die velocity of the pellet press, the steam, the temperature and cooling air char-

acteristics (Thomas et al., 1997); (2) the diet ingredients and their compositions such as starch, protein, sugar, fat and fibre content (Thomas et al., 1998). Ingredients affecting pelleting can be classified into starch and sugar, protein, fat, fibre, inorganic matter and moisture. The interactions among these constituents are complex. For instance, free fats added in the mixer negatively affect pellet durability and hardness. By the same token, they lubricate the mash-die during pelleting, and therefore, enhance press capacity. The same amount of natural fat contained in cell walls of the raw materials does not have such a marked negative effect on pelleting. The effects of inclusion of different diet ingredients and different process parameters on pelleting quality were extensively summarized by Thomas et al. (1998, 1997), respectively. These complex interactions cannot be explained by simple functionality.

In this study, an ANN model is developed in order to estimate the production ability of the animal feed mill under dynamic feed formulations obtained from LCF. ANN is widely applied across industries for various distinct objectives. Two major applications of ANN are: (1) output prediction under a given input level; and (2) determination of suitable input parameters in order to achieve the required output. The industries applied ANN concept to solve their production problems pertaining to steel (e.g., Cox et al., 2002; Fileti et al., 2006), powder metallurgy materials (e.g., Cherian et al., 2000; Smith et al., 2002), chemical process (e.g., Mansa et al., 2008) and food industries (e.g., Sanzogni and Kerr, 2001; Korosec et al., 2005; Qiao et al., 2007; Torrecilla et al., 2007).

3. Methods and model development

3.1. Parameters affecting pellet production efficiency and quality

Based on interview sessions with a Thai feed mill, the production efficiency and quality of pellet products is measured in terms of the production rate and amount of fines or the dust level. Normally, production rates are expressed in tonnage per hour, whereas the dust level is measured in percentage. Both factors contribute to the manufacturing costs of the mill. On the one hand, high production rates mean shorter production time and hence lower production costs. On the other hand, high percentage of dust levels lead to reprocessing decisions when the dust exceeds its maximum allowance. This reprocessing causes unnecessary production costs. As stated in the literature review section, parameters affecting pellet production efficiency and quality are mainly derived from process parameters and the type and amount of raw materials composing in the feed ration. To find a proper way of predicting these effects, three sets of parameters are constructed and tested—the parameters relating to nutrient contents, the parameters relating to raw material inclusion and the process parameters. These parameters are the main contributors affecting the production rate and dust level. The details of each set of parameters are explained as follows.

3.1.1. Parameters relating to nutrient contents

In this study, the nutrient contents considered are protein, oil, fibre, moisture, and ash contents. All raw material contents are measured in percentages. The protein, oil and fibre contents usually are uniform according to the specifications of the feed formula, while the moisture and ash contents vary depending on type and contents of the raw materials included in that particular formula.

3.1.2. Parameters relating to raw material inclusions

Unlike the nutrient contents, the raw material inclusion is not specific to any feed formula. The inclusions can vary from time-

to-time, depending on the price and availability of raw materials. For the modern feed mill, the raw material inclusion is obtained using the LCF. The LCF commercial software (e.g., Format, Feedsoft, Brill formulation) determines the percent inclusion of various raw materials in order to satisfy the nutrient contents with the lowest possible raw material costs. In the case of the Thai feed mill, more than one hundred raw materials could be used in the feedstuff with approximately 16 main ones and molasses. Most of them are domestic products such as yellow corn, broken rice, tapioca meal, cassava chip, rice solvent barn and feather meal. In this paper, these main raw materials are used to investigate the effects of raw material included on the production rate and dust levels.

3.1.3. Process parameters

Prior to production, an operator needs to adjust or setup the machine processing parameters (such as changing die, reducing steam pressure) in order to achieve production efficiency and product quality. These process parameters vary depending on the formula, raw material contents and raw material additions. Theoretically, process parameters should be set up according to the pelleting operation manual. Because different feed formulations are obtained using the least cost formulation, setting up the machine parameters of uncommon formula are based on operators' experience and a trial-and-error method. According to available data, the seven processing parameters considered in this study are: machine number, die size, die thickness, feeder speed, press motor amperage, steam pressure and feed temperature. These parameters affect production rates and dust levels differently. As stated by Thomas et al. (1997), high feeder speed results in high production rate, hence, shortens pelleting time. The shorter the amount of time, the lower the pellet quality. The lower the pellet quality, the higher rate of cracking in pelleted products, and the higher the dust level, and hence, the higher rate of reprocessing. Another example is relating to die thickness parameter. It is found that the thicker die reduces the production rate as well as the dust level because the thicker die requires higher compression power and longer compression time in the pellet mill.

3.2. Artificial neural network models

The above parameters have led to the consideration of using artificial neural network as a tool for estimating the pellet production ability under various input parameters. Employing an ANN approach is relatively easy to incorporate a large number of system inputs as illustrated in this study. Because the modeling is directly incorporated within the weights of the ANN connections, therefore, any non-linearity or inter-dependence relationships between inputs and outputs are necessarily incorporated within the prediction of output.

In order to train an ANN with suitable data models, the modeling inputs are grouped into four input datasets as follows:

- (1) Model 1: The set of percent content of each nutrient (protein, fibre, fat, ash and moisture) and process parameters (pelleting mill number, die size, die thickness, feeder speed, press motor amperage, steam pressure and feed temperature). In total, there are 12 parameters used as input for this model.
- (2) Model 2: The set of percent of nutrient contents in each main raw material type, percent of molasses used, and process parameters. Because there are 16 main raw materials considered in this study, a total number of 88 input variables were used in this model (16 raw materials $\times$ 5 nutrient contents, 1 molasses, and 7 process parameters).
- (3) Model 3: The set of percent of each main raw material included in feed formula, percent of molasses used and process param-

Table 2

Parameters used for ANN modeling.

Input layer		Hidden layer		Learning cycles	Transfer function	Output
Model	No. of neurons	No. of layers	No. of neurons			
1	12	1	3–60	150,000	TanH, sigmoid, linear	Production rate (ton/h), dust level (%)
2	88	1	3–60	150,000		
3	24	1	3–60	150,000		
4	17	1	3–60	150,000		

eters. In total, there are 24 parameters used as input (16 raw materials, 1 molasses, and 7 process parameters).

- (4) Model 4: Only the percentage of each main raw material included in feed formula and percent of molasses inclusion are used as the input parameters of the model. Then, there are 17 input parameters in this model (16 raw materials and 1 molasses).

The outputs of the four models are the production rates (ton/h) and the dust levels (%). The three-layer feed-forward back propagation neural network is used to conduct relationships between inputs and outputs. The commercial software MATLAB 6.5 was applied as a tool to develop these four ANN models. The number of neurons in the input layer is equal to the number of input parameters, which are used to assess the production rate and the dust level. The number of neurons in the hidden layer is determined by investigating the number of neural networks ranging from 3 to 60 neurons. Then, the number of hidden neurons providing the best output is selected as the optimal number. Three transfer functions, which are TanH, sigmoid or linear functions have been tested in the model. Table 2 shows parameters involved input, hidden and output layers of the model.

Three months of data (August to October of 2007) were obtained from one of the largest feed mills in Thailand. During that period, the mill produced 3508 lots of pelleted products with 27,052 batches. The descriptive statistics of these data are as shown in Table 3. The records containing missing or uncommon data were filtered out. The screened data were then separated into three sets: one for training, one for the model validation and another for testing. For the purpose of training the network, about 70% of the samples were randomly selected, whereas 20% were used for the testing purpose, and the remaining 10% were used for model validation. The range of each variable was carefully checked and tested to assure a similar range in all datasets. The mean absolute percentage error (MAPE) has been applied to measure the accuracy of the developed model. MAPE is considered as a standard for examining the quality of the forecasting model (González and Zamarreño, 2005). It is written as follows:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|F_a(i) - F_p(i)|}{F_a(i)} \times 100$$

Table 3

Descriptive statistics for processing parameters during August–October 2007.

Process parameters	Max.	Min.	Average	Std.
Feeder speed (%)	89.00	15.00	32.37	10.06
Press motor amperage (amps)	720.00	200.00	349.83	46.78
Steam pressure (bar)	2.00	1.50	1.50	0.03
Feed temperature (°C)	95.00	35.00	78.99	4.41
Die size (size)	4.00	3.00	N/A	N/A
Die thickness (mm)	70.00	50.00	N/A	N/A
Production rate (ton/h)	31.50	2.00	13.62	3.61
Dust level (%)	31.50	0.10	6.18	4.72
Durability (%)	99.90	66.00	97.63	2.24

Note: The data were obtained from a feed mill in Thailand during August–October 2007.

where N is the total number of samples. $F_a(i)$ is the actual value of the dust level and production rate and $F_p(i)$ is the predicted value by the ANN. It should be noted that the MAPE is an average of errors in percentage; hence, it accounts for the magnitude rather than the direction of the errors. The interpretation of the forecast accuracy using MAPE, then, should be used with cautions.

In addition to the MAPE, the performance of each model is evaluated by testing the statistical significance of regression parameter as suggested by Uno et al. (2005) using ordinary least squares in STATA version 9.

4. Results and discussion

Table 4 shows the MAPE results of testing the ANN models. It indicates that Model 3 provides the best MAPE for production rate (9.34%) and Model 2 provides the best MAPE for dust levels (15.51%). The significance of a regression parameters as shown in Table 5 indicates that most of the regression parameters for all models are significantly different from their ideal values at ($P < 0.05$). As stated by Uno et al. (2005), a perfect fit between actual and predicted value indicates a regression parameter of 0 for the intercept and 1 for the slope. However, both the MAPE and regression parameters for Model 4 are not significantly different from those estimated by the other three models, suggesting that in estimation when compared to the others the process parameters did not contribute greatly to the estimation of production rates and the dust levels using these datasets. Because these process parameters relate to the experiences of operators in setting up the machines, adding some factors such as human skills might improve prediction accuracy of the model. It is not, however, practical to include more additional factors for the time being. Therefore, even if the parameters are statistically different from the ideal values, the size of the errors from the two performance measurements is acceptable in practice.

As for industrial applications, Model 4 is the most practical model because it takes into account only percent inclusion of main raw materials and molasses. Although the model is not the most accurate one, the input of Model 4 can be obtained directly from the output of LCF program. Furthermore, because some other factors such as the process parameters are not known during formula selection, it is more convenient for the nutrition manager to work on the model which relies mainly on the LCF output. Hence, Model 4 suits for the present business process. At the same time, it leaves the room for future research to improve estimation accuracy and alter business model accordingly.

4.1. The current pelleting trial procedure vs. ANN estimation of the production rate and dust level

The current trial procedure has been used for years. As shown in Fig. 2 after obtaining a skeptical formulation, mills basically establish the volume of feed that is required for a single production run of a minimum of a 1-h duration under normal operating conditions. If the production run and the feed meet all criteria, normal operation will continue. If this is not the case, the

Table 4
The MAPE of the four studied models using test dataset.

Model	Output: production rate (ton/h)			Output: % of dust level		
	No. of hidden neurons	Transfer function	Min. MAPE (%)	No. of hidden neurons	Transfer function	Min. MAPE (%)
1	18	TanH	10.46	18	TanH	24.30
2	60	TanH	10.01	35	TanH	15.51
3	35	TanH	9.34	50	TanH	15.64
4	32	TanH	11.24	40	TanH	15.85

Note: The mean absolute percentage error (MAPE) is percentage difference between actual value and fitted value.

Table 5
The regression parameters estimated from regressing predicted values against the measured values.

Model	Calibration		Validation	
	Intercept	Slope	Intercept	Slope
Dust level				
1	0.728 (0.000)	0.887 (0.000)	0.603 (0.000)	0.904 (0.004)
2	0.574 (0.000)	0.910 (0.000)	0.438 (0.054)	0.902 (0.000)
3	0.561 (0.000)	0.916 (0.000)	0.411 (0.076)	0.920 (0.004)
4	0.670 (0.000)	0.902 (0.000)	0.449 (0.051)	0.916 (0.003)
Production rate				
1	6.495 (0.000)	0.559 (0.000)	6.397 (0.000)	0.558 (0.000)
2	6.537 (0.000)	0.552 (0.000)	5.839 (0.000)	0.601 (0.000)
3	6.624 (0.000)	0.544 (0.000)	5.722 (0.000)	0.596 (0.000)
4	8.390 (0.000)	0.424 (0.000)	7.525 (0.000)	0.487 (0.000)

Note: Numbers in parenthesis are *P*-value.

trouble formulation will be discarded and nutrition department has to obtain another feed ration using LCF by limiting inclusion of some raw materials. These processes can be costly and time consuming as indicated earlier. On the contrary, using ANN to estimate the costs does not require an actual production run. After obtaining the least cost ration, the nutrition manager can insert all necessary information into the PC and let the ANN assesses the performance of the formulation instead of individual operator. The least cost ration, which meets all pellet criteria will be

obtained in a final step. It can potentially save time and costs for the mill.

4.2. Adding the production rate and the dust level to raw material costs

A graphic user interface as shown in Fig. 3 has been created in order to facilitate the nutrition manager of the mill in order to visualize the combination of the raw material cost from LCF

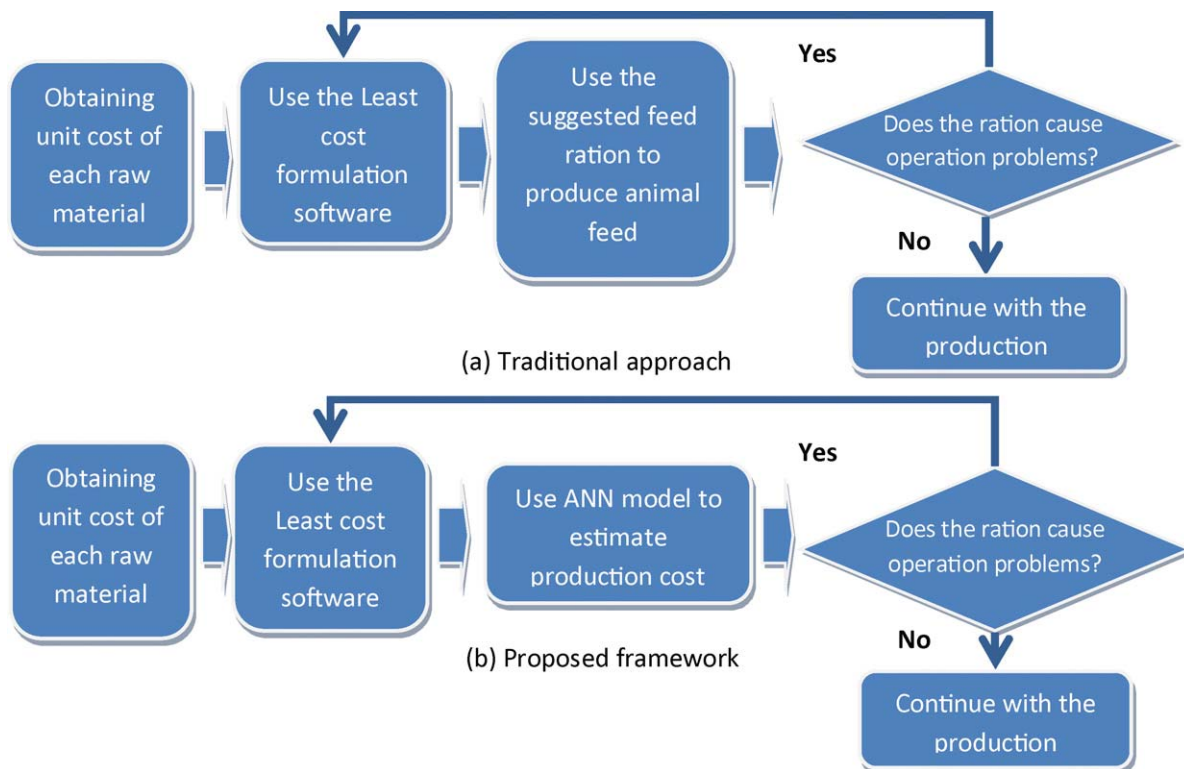


Fig. 2. Framework for feed rations selection.



Fig. 3. Graphic user interface showing its results of production rate and dust level prediction (a) and estimation of total cost (b).

and the production costs. The nutrition manager can insert the percent inclusion of the raw materials into a PC, where it is implemented into the ANN based software. The software then converts these input parameters into an estimation of production rate and dust level. The two outputs can be easily converted to the costs of production as is explained next. The estimated total cost is the summation of the estimated production cost and the cost from LCF.

The following explanation is a demonstration of a simple method to calculate production costs. The production cost is divided into two main costs, the operating and the reprocessing costs. The total operating cost is composed of direct labor and overhead costs of the mill. The per-hour operating cost is obtained from dividing the total operating cost by the total machine-hour. As shown in Eq. (1), the per-ton operating cost can be calculated by dividing the per-hour operating cost (baht/pelleting machine-hour) by production rates (tons/h) obtained from ANN. The reprocessing cost is incurred when the percent of dust level of the product exceeds its maximum allowance. When the reprocessing decision is triggered, the whole batch has to be reproduced with process adjustment. In this light, the reprocessing cost is presumably equal to the per-ton operating cost. In other words, the reprocessing incurs twice the operating cost. The mathematical expression of the per-ton total production cost is illustrated in Eq. (2):

$$OC_i = \frac{AOC}{PR_i} \quad (1)$$

$$PC_i = OC_i + OC_i(X_i) \quad (2)$$

where PC_i = the production cost of feed formula i (baht/ton); OC_i = the estimated operating cost of producing feed formula i

(baht/ton); PR_i = the production rate of feed formula i (tons/h); AOC = the average per-hour operating cost (baht/pelleting machine-hour); $X_i = \begin{cases} 1, & \text{if the feed formula } i \text{ required reprocessing,} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$

For illustrative purpose, the estimation of the production rate and the fine level of a feed formula are obtained using Model 4 as shown in Fig. 3. The raw material types are represented as raw material codes (i.e., 41112 and 43110 represent yellow corn and molasses, respectively). A feed formulator inputs the percents of main raw material inclusions according to the suggestion of LCF as shown in Fig. 3. Let assume that the raw material cost of this formulation is 12,000 baht/ton. The AOC of the mill is approximately 8500 baht/pelleting machine-hour. It should be noted that, the cost data are not an actual one. These numbers are created for the purpose of illustration. So, they should be used with cautions. Assume that the maximum allowance of the percent of dust level is 10%. The production rate and dust level obtained from the Model 4 is approximately 17.70 tons/h and 9.30%, respectively. This formulation does not require the reprocessing ($9.30\% < 10\%$), then the production cost is approximately 480.23 baht/ton ($8500/17.70$). In summary, the summation of the raw material cost and production cost is 12,480.23 baht/ton.

5. Conclusion

This paper presented the application of artificial neural networks to predict production rate and dust levels in the feed industry. The new pelleting rate predictor presents a quite precise estima-

tion. The main advantage in the tool is its simplicity based on the pattern of the data. To convert the production rate to production costs, an operator can simply divide the per-hour operating cost by the production rate. And for the dust level, the production cost per ton can be added to the total production cost when the dust level exceeds its maximum allowance. Using this method, production and raw material costs can be both estimated from the outset. It facilitates the selection of feed formula. Formulator can also anticipate the production problem prior to the starting of the feed production.

Acknowledgments

This research was funded by The Thailand Research Fund under project IUG5180005 and Betagro Science Center Company Limited. The authors also acknowledge the company's help in collecting data, providing invaluable guidance and making this research possible.

References

- Brigham, G., 1959. A classroom example of linear programming. *Oper. Res.* 7 (4), 524–533.
- Castrodeza, C., Lara, P., Peña, T., 2005. Multicriteria fractional model for feed formulation: economic, nutritional and environmental criteria. *Agric. Syst.* 86 (1), 76–96.
- Chappell, A.E., 1974. Linear programming cuts costs in production of animal feeds. *Oper. Res. Quart.* 25 (1), 19–26.
- Cherian, R.P., Smith, L.N., Midha, P.S., 2000. A neural network approach for selection of powder metallurgy materials and process parameters. *Artif. Intell. Eng.* 14 (1), 39–44.
- Cox, I.J., Lewis, R.W., Ransing, R.S., Laszczewski, H., Berni, G., 2002. Application of neural computing in basic oxygen steel making. *J. Mater. Process. Technol.* 120 (1–3), 310–315.
- Fileti, A.M.F., Pacianotto, T.A., Cunha, A.P., 2006. Neural modeling helps the BOS process to achieve aimed end-point conditions in liquid steel. *Eng. Appl. Artif. Intel.* 19 (1), 9–17.
- González, P.A., Zamarreño, J.M., 2005. Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network. *Energ. Build.* 37 (6), 595–601.
- Jean dit Bailleul, P., Rivest, J., Dubeau, F., Pomar, C., 2001. Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least-cost formulation algorithm. *Livest. Prod. Sci.* 72 (3), 199–211.
- Kock, H.C., De Sinclair, M., 1987. Multi-mix feedstock problems on microcomputers. *J. Oper. Res. Soc.* 38 (7), 585–590.
- Korosec, M., Balic, J., Kopac, J., 2005. Neural network based manufacturability evaluation of free form machining. *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 45 (1), 13–20.
- Mansa, R.F., Bridson, R.H., Greenwood, R.W., Barker, H., Seville, J.P.K., 2008. Using intelligent software to predict the effects of formulation and processing parameters on roller compaction. *Powder Technol.* 181 (2), 217–225.
- Mohr, G.M., 1972. The bulk constraint and computer formulations of least-cost feed mixes. *Rev. Mark. Agric. Econ.* 40 (1), 15–28.
- Panne, C., van de Popp, W., 1963. Minimum-cost cattle feed under probabilistic protein constraints. *Manage. Sci.* 9 (3), 405–430.
- Pomar, C., Dubeau, F., Létourneau-Montminy, Boucher, C., Julien, P.-O., 2007. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. *Livest. Sci.* 111 (1–2), 16–27.
- Qiao, J., Wang, N., Ngadi, M.O., Kazemi, S., 2007. Predicting mechanical properties of fried chicken nuggets using image processing and neural network techniques. *J. Food Eng.* 79 (3), 1065–1070.
- Sanzogni, L., Kerr, D., 2001. Milk production estimates using feed forward artificial neural networks. *Comput. Electron. Agric.* 32 (1), 21–30.
- Smith, L.N., German, R.M., Smith, M.L., 2002. A neural network approach for solution of the inverse problem for selection of powder metallurgy materials. *J. Mater. Process. Technol.* 120 (1–3), 419–425.
- Svihus, B., Kløvdstad, K.H., Perez, V., Zimonja, O., Sahlström, S., Schüller, R.B., Jeksrud, W.K., Prestløkken, E., 2004. Physical and nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer. *Anim. Feed Sci. Technol.* 117 (3–4), 281–293.
- Thomas, M., van der Poel, A.F.B., 1996. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. *Anim. Feed Sci. Technol.* 61 (1–4), 89–112.
- Thomas, M., van Vliet, T., van der Poel, A.F.B., 1998. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Anim. Feed Sci. Technol.* 70 (1–2), 59–78.
- Thomas, M., van Zuilichem, D.J., van der Poel, A.F.B., 1997. Physical quality of pelleted animal feed 2. Contribution of processes and its conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64 (2–4), 173–192.
- Torrecilla, J.S., Otero, L., Sanz, P.D., 2007. Optimization of an artificial neural network for thermal/pressure food processing: evaluation of training algorithms. *Comput. Electron. Agric.* 56 (2), 101–110.
- Tozer, P.R., Stokes, J.R., 2001. A multiple-objective programming approach to feed ration balancing and nutrient management. *Agric. Syst.* 67 (3), 201–215.
- Uno, Y., Prasher, S.O., Lacroix, R., Goel, P.K., Karimi, Y., Viau, A., Patel, R.M., 2005. Artificial neural networks to predict corn yield from compact airborne spectrographic imager data. *Comput. Electron. Agric.* 47 (2), 149–161.



How soaring agricultural prices will impact the way we do feed business

Supachai Pathumnakul^{1*}, Kullapapruk Piewthongngam²

¹ Supply chain and logistics research unit, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

² E-saan Center for Business and Economic Research, Faculty of Management Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

ABSTRACT - The rising price of agricultural products leads to frequent change of feed recipe, which can cause a high number of reprocessing batches, elevating the overall cost of production. In this study, we proposed an artificial neural network to predict production rate. The conversion of production rate to production cost, the tips for data collection as well as tips for implementation of new feed cost estimation are also discussed. Being able to estimate production rate enables feed mills to improve their operations. In this study, we elaborate its application to feed scheduling (although the applications can be extended to other aspects such as productivity improvement, which goes beyond the scope of this particular study).

Key Words: artificial neural network, feed cost estimation, feed scheduling

Impacto do aumento dos preços agrícolas sobre os negócios do ramo alimentício

RESUMO - O aumento do preço dos produtos agrícolas leva à mudança frequente de receita para alimentação animal, que pode resultar em elevado número de reprocessamento de lotes, aumentando o custo total de produção. Neste estudo, propusemos uma rede neural artificial para prever a taxa de produção. A conversão da taxa de produção para custo de produção, as dicas para a coleta de dados, bem como as dicas para a aplicação de nova estimativa de custo de alimentação, também são discutidas. A capacidade de estimar a taxa de produção e habilitar as fábricas de ração a melhorarem suas operações. Neste estudo, elaboramos a sua aplicação para abastecer a programação (embora os aplicativos podem ser estendidos a outros aspectos, como a melhoria da produtividade, o que ultrapassa o âmbito deste estudo).

Palavras-chave: abastecimento de programação, estimativa de custos com alimentação, rede neural artificial

Introduction

The rising use of biomass for energy production puts the food and feed industry in direct competition with car drivers for the same agricultural output. As ethanol demand rises, prices of agricultural products are now highly correlated with gasoline prices. As shown in Figure 1, the price of raw materials such as yellow corn, rice bran, soybean meal and cassava has fluctuated highly since 2006. The situation will continue as long as the same agricultural output is used for both the food and automobile industries. The recent fluctuation in terms of the cost of feed ingredient will prove to be a challenge to feed manufacturing practices across the globe in many ways. Firstly, the rising raw material prices will also trigger feed prices to rise. This is because raw material costs usual make up for more than 70% of the total cost of feed. Secondly, feed mill garners more interest to control its raw material supply. Integration with their suppliers is expected to be on the rise as well. Thirdly,

price turbulence leads to frequent change of feed recipes. For example (Table 1), in September 2009, the percent inclusion of cassava chips in the swine feed of a Thai feed mill was 12.76, while it was not included in the recipe in October 2009. Hence, the mill has to deal with frequently recipe change in this present era of turbulent prices. The first and the second effects are strategically manageable. However, for the third effect, feed mill needs to alter their business process in order to remain efficient. In this study, we focus on how the feed mill should change its cost estimation and feed scheduling in order to cope with frequent recipe changes.

The cost estimation

Since the 1960s, feed recipe has been obtained using linear programming. The least-cost formulation determines the cheapest blend of available raw materials that meet certain nutritional requirements. Even though the nutritional requirements are met in the calculations, the minimum cost considered is raw material cost while the production cost is



Figure 1 - Price of main raw materials used for feed products.

Table 1 - A swine feed formula suggested by least cost formulation in September and October 2009

Month	Raw material type	% inclusion
September	Yellow corn	22.45
	Cassava chip	12.74
	Rice solvent bran	17.02
	Rice bran dry season	18.35
	Soybean meal Brazil	9.69
	Soybean meal Argentina	9.69
	Other ingredients	10.06
	Total	100.00
October	Yellow corn	38.71
	Rice solvent bran	19.59
	Rice bran dry season	12.89
	Soybean meal Brazil	8.34
	Soybean meal Argentina	7.46
	Other ingredients	13.01
	Total	100.00

excluded during recipe calculation. The production cost of each recipe can vary due to different types of feedstuffs incorporated at different inclusion levels (Thomas et al., 1998). When different types of feedstuffs are processed, it results in different feed qualities and pelleting rates, hence, varying production costs. Operators need to adjust pelleting parameters such as die size and die pressure in order to accommodate the unique physical-chemical properties of the diet ingredients. The frequent change of recipes due to raw material price fluctuation causes a mill to frequently adjust their process parameters. However, correct adjustment of the process parameters is a difficult task because the interactions among each feedstuff and between the feedstuffs and production processes are very complex. As a result, a mill can only roughly estimate rather than

exactly measure the effects of these parameters on pellet quality (Thomas et al., 1998) and slowly adjust their processes to accommodate changes in the physical-chemical properties of each feed ingredients by trial-and-error. The slow learning process often gives rise to feed production that does not meet mill's standards for pellet quality and often results in the mill having to reprocess the materials. Because the reprocess batches need extra clearing and extensive reprocessing time, dropping of the mill's capacity becomes one of the consequence of the high reprocess rate. Hence, highly fluctuated agricultural prices are often followed by high production costs for the mill. Moreover, the numbers of reprocessed batches also rise along with production completion time and back orders. The situation is likely to give rise to customer complaints and even a loss in sales if it persists (Pathumnakul et al., 2009).

Pathumnakul et al. (2009) suggested a way to prevent the reprocessing caused by such a situation by detecting the feed rations prior to starting actual production. They offer a prediction model created by the artificial neural network (ANN) as a tool for the production manager to communicate with the formulation manager such that the problematic feed rations can be distinguished from the good ones.

Data collection

For the ANN, Pathumnakul et al. (2009) recommended the use of a pelleting rate (ton/hr) and dust level (%) as the output and the percentage of each main raw material (16 raw materials) included in feed formula and the percentage of molasses as input parameters of the model. They have tested the model with other input variables such as process parameters (pelleting mill number, die size, die thickness, feeder speed, press motor amperage, steam pressure and feed temperature), percent of nutrient contents in each main raw material type. As for industrial applications, using the percentage of main raw material and molasses as input parameters is the most practical model because some other factors such as the process parameters are not known during formula selection. It is more convenient for the nutrition manager to work on the model, which relies mainly on the least cost formulation output. Hence, the suggested set of parameters is best suited for the present business process.

The three-layer feed-forward back propagation neural network is used to conduct relationships between inputs and outputs. The commercial software MATLAB 6.5 was applied as a tool to develop the ANN model. The number of neurons in the input layer is equal to the number of input parameters, which are used to assess the production rate and the dust level. The number of neurons in the hidden

layer is determined by investigating the number of neural networks ranging from 3 to 60 neurons.

The production cost estimation process

If the proposed cost estimation is to be implemented, the business process will be changed as shown in Figure 2. Both approaches differ in the sense that, for the traditional approach, mills need to operate skeptical formulae in normal conditions even if they suspect that the pelleted products might not meet the mill's quality standards. These processes can be costly and time consuming. On the contrary, the proposed method requires using ANN to estimate the costs without an actual production run. After obtaining the least-cost ration, the nutrition manager can input all necessary information into the ANN and let it assesses the performance of the formulation instead of leaving this up to the individual operator. The least cost ration, which meets all pellet criteria will be obtained in a final step. It can potentially save time and costs for the mill.

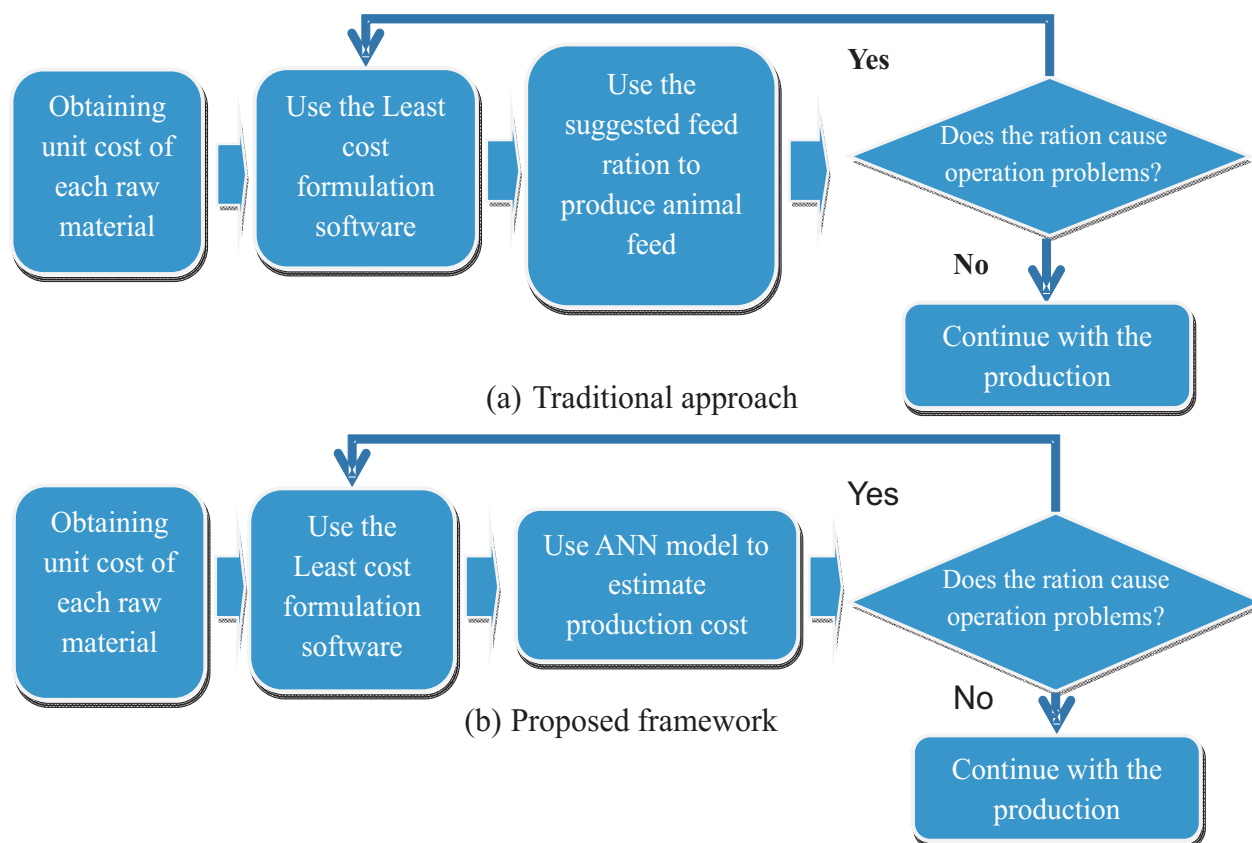
Table 2 shows the use of ANN to obtain the production rate and dust level prediction in a feed mill in Thailand. The nutrition manager inputs the percent inclusion of the raw materials into the ANN-based software. Table 2a presents the input data of a swine-feed recipe. The software then converts these input parameters into an estimation of production rates and dust levels of two distinct pelleting lines (Table 2b). The two outputs, then, are converted to the costs of production, which is the summation of the estimated production costs and the raw material costs.

The estimated production cost is divided into total operating costs (i.e., direct labor and overhead cost) and reprocessing costs. The per-hour operating cost (baht/pelleting machine-hour) is obtained from dividing the total operating cost by the total machine-hour. Then, the per-ton operating cost (Eq. (1)) is calculated by dividing the per-hour operating cost by the estimated production rates (tons/hr) obtained from ANN. The reprocessing cost is incurred when the percent of dust level of the product exceeds its maximum allowance. Because the reprocessing incurs twice the operating cost, it is presumably equal to the per-ton operating cost. The mathematical expression of the per-ton total production cost is illustrated in equation (2).

$$OC_i = \frac{AOC}{PR_i} \quad (1)$$

$$PC_i = OC_i + OC_i(X_i) \quad (2)$$

where PC_i = the production cost of feed formula i (baht/t); OC_i = the estimated operating cost of producing feed formula i (baht/t); PR_i = the production rate of feed formula i (t/hr); AOC = the average per-hour operating cost (baht/pelleting machine-hour)



Pathumnakul et al. (2009)

Figure 2 - Framework for feed rations selection.

Table 2 - The use of ANN to estimate production rate and dust level

(a) The example of input data

Swine feed	
Raw material	% inclusion
Yellow corn Thai	24.98
Soybean meal	20.04
Dry season raw rice bran	18.00
Rice solvent bran	16.38
Cassava chip	12.00
Molasses	2.00
Crude palm oil	1.60
Others	5.00
Total	100.00

(b) The example of results

Swine feed			
Pelleting line	Estimated production rate (t/h)	Estimated dust level (%)	Estimated production cost (baht/t)
1	16.44	4.01	386.41
2	14.78	3.75	424.72
Average	15.61	3.88	405.6

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{if feed formula } i \text{ required reprocessing} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Implementing the new concept of production cost estimation

To implement the proposed method of production cost estimation, one needs to collate data from the production line and the nutrition department. Production rates and the quantity of each batch should be recorded along with the dust levels. Production rates can be obtained from subtracting the ending time from the starting time to retrieve total production time, then, divide the total production quantity. The dust level is measured by dividing dust quantity by the total of the sampled quantity. From our experience of working with feed mills, long-range data does not increase the accuracy of the prediction. That is because the mill might experience employee turnover or pellet equipment might be adjusted as a part of the technological improvements. Hence, some other parameters rather than the percent inclusion of raw material might affect the pelleting rate. The same recipe might end up with different pelleting rates. Hence, the long-range data incorporated into the dynamic change of feed mill environments might have a negative effect on prediction accuracy. From a practical standpoint, three months of the most recent data is a good range of data for the prediction of feed production costs. However, using short range of data might also cause another problem. Because the raw material varies by season, short-range data (e.g., three months) is likely to leave out some of the raw material from the neural network. For example, cassava chip is used for certain months of the calendar year. Three months after the end of cassava harvest season would not be included in the neural network using the short-range data. Hence, when the next season starts, the three month updated neural network will not recognize the effects of cassava on pelleting rate and quality. The three month updated neuron will treat it as a new raw material. To solve this problem, we constructed a database to collect one-year data. And if the 3-month data set used to train the neural network indicates unfamiliar raw materials, one can check if it is really new or if it is only excluded from the data set because of seasonality. If the mill used that raw material in the past, its performance can be also included in the train data set. Hence, the train data set is now composed of 3 months of the current data plus the formulae that produced in the past but excluded from this 3-month data set due to its seasonality. Moreover, not all data is appropriate to be incorporated in the neural network. Some data includes outliers due to human error or some other factors. Bad data can create the problem of garbage-in-garbage-out causing

prediction inaccuracy. Therefore, the outliers should be detected prior to the learning process of the neural network.

Because implementing the proposed cost estimation involves parties such as the nutrition and operation departments or perhaps sale department, the concept the estimation should be clarified among all parties. Meetings and guidelines should be conducted and agreed on at the beginning of the project to enhance the success of the project. Executive involvement will urge all parties to realize the need for a new cost estimation project. Capability to estimate production costs will facilitate the mill in determining the pricing strategies. Hence, it should also enhance competitiveness of the mill.

After using the ANN for couple of months, prediction accuracy should again be investigated and another meeting should be constructed to improve the model.

The use of production rate estimation in feed scheduling

Being able to estimate the production rate can also be used to facilitate production scheduling and its use is described next.

The needs for accurate estimation of production rate

Due to highly competitive environment, the feed mills face with an increasing number of feed formulations and variety of feed products which tailor-made toward client-specific needs and requirements. As a result of the feed industry responds to market trends, their production processes become more complex. To cope with these complexities, the feed mills need to be more flexible and more efficient in coordinating their resources. As the operations are sequence-dependent, product sequencing is critical for being efficient. This feed scheduling problem is similar to the sequencing restrictions found in the food industry. The mill produces numerous products that differ in package size, nutrient contents, or presence of ingredients that increase the functional value. The products can be grouped according to their transition cost and time into; non-drug and drug; pelleted, powder and crumble; high fiber and low fiber; and bulk and packed. The production time is not uniform among the products. The factors contribute to non-uniformity production speed, especially in pelleting machine, is the ingredients of the products. For example, fat contents enhance lubrication of the products and, hence, the speed. The fiber contents have the characteristic of being stiffness and elastics which might inhibit good contact between particles in the feed (Thomas et al., 1998). Hence, fibrous products may lead to lower production speed. Some product families contaminate other if produced in successive batches. As a result of increasing wide variety of the product, the production line must be often cleaned,

consuming potential production time. Usually, products in the same family have negligible changeover times, and identical batch weights and processing times. This amount of mixer cleaning time can be minimized by good sequencing of the production of families (Taso et al., 2009). The example of products that might create different changeover times for different sequencing is a formula with/without drugs. Generally, a formula with drugs should be processed before a formula without drugs. The opposite would require an extra flushing operation to ensure that no drugs would be transferred to the non-drug formulae. In this light, changes in the packaging materials; and configuration and cleaning the machinery during transition of feed formula require a changeover time and cost. Hence, an optimal schedule would reduce the cost and time incurring during changing over.

Feed processes

To understand the role of production rate estimation in scheduling, one needs to understand the processing first. Generally, the feed production process is divided into three steps: mixing, pelleting, and packing (Figure 3).

In the mixing stage, bulk ingredients such as soybean meal and some other micro ingredients such as vitamins or medications stored in waiting bins are weighed according

to feed ratio. The feed ingredients which are coarse cereal grains such as corn required a grinding process, so, it is delivered to hammer mills. Grinding will reduce grain size and expose surface area of the particles allowing digestive enzymes to access nutritional components such as starch and protein resulting in better absorption in the digestive tract of the animal and increase animal performance as well. Moreover, as a result of size reduction, the modified physical characteristics of ingredients will improve mixing, pelleting, handling, and transportation process. After grinding process, dry meal particles are blending with liquids ingredients (such as added fat) or others ingredients in a mixer.

Next, the feed mash is conveyed to pelleting mills. In the pelleting process, a soft feed mash is forced through holes in a metal die plate to form compacted pellets, and then, cut to a pre-determined size. Pelleting is a crucial process in the feed production. The high quality pelleted products ensure the correct amount of nutrition for all that consume them each and every bite. The thickness of the die plate helps to determine the compactness and stability of the pellet. In this process, an operator needs to change die size according to the mill's standard. Therefore, choosing die size is product-dependent and should be accommodated in the

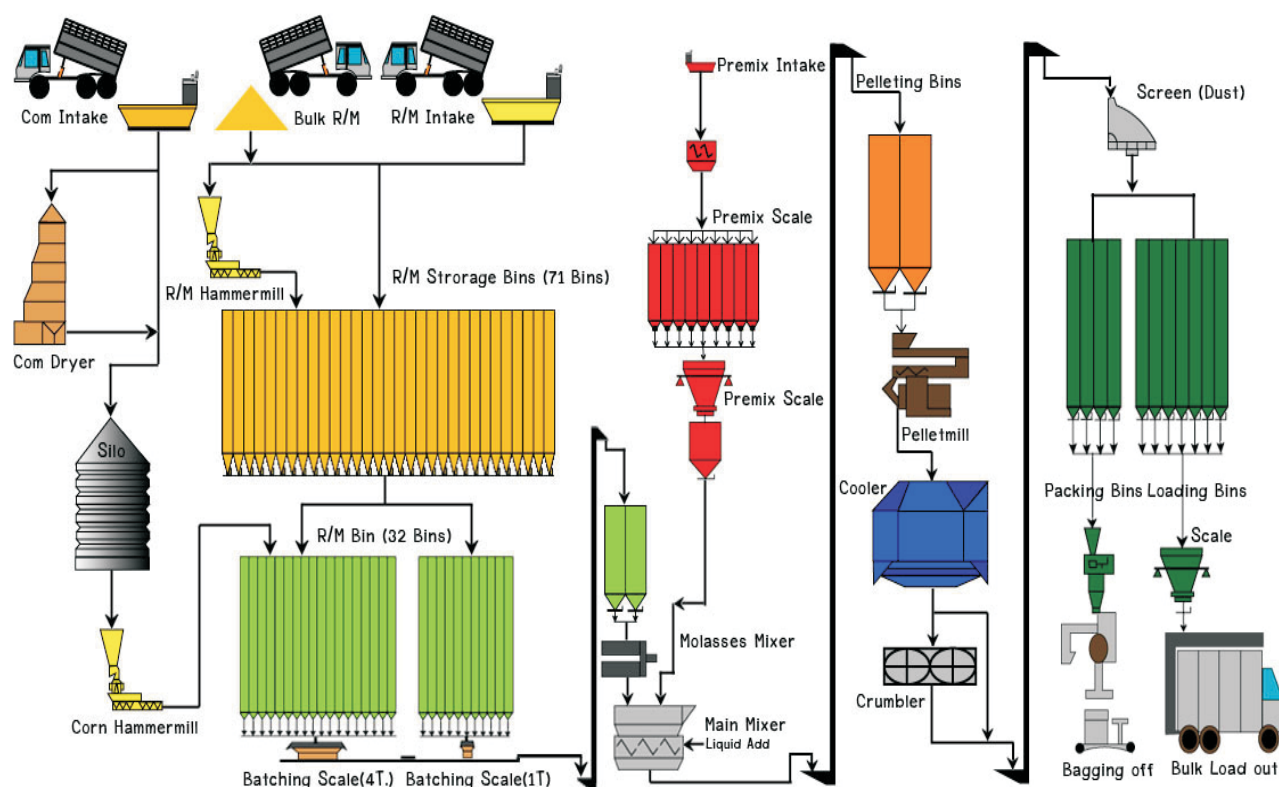


Figure 3 - Feed processing system.

scheduling. Changeover time of die size is sequence dependent. If all products are placed in a succession where the change of die size is minimized, the capacity of the machine will, in turn, increase. From there, the pelleted products are transferred to a cooler/drier to remove the heat which is generated during the pelleting process and the steam conditioning in a mixing process. The moisture content of the pellets also needs to be reduced to 10-12% or less for proper storage and handling. Pellets must therefore be cooled and dried. From the finished product bins the finished feed is either be bulk transport, loading directly onto trucks or it will be packed into bags (30 and 50 kg.). The smaller bag takes longer time to pack, hence, should be also considered in the scheduling goal.

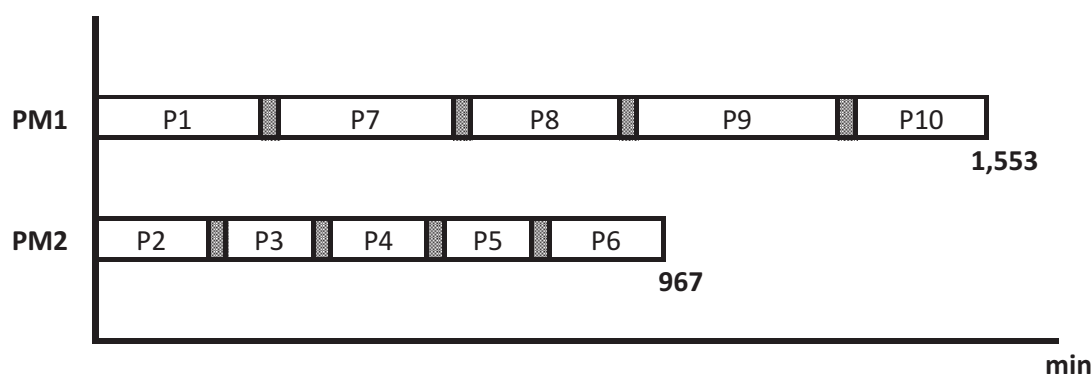
In the case that a feed mill operates with one mixer, several pelleting machines and packings, a planner needs to consider the following factors: The feed production being scheduled should not exceed capacity of each machine; The drug free formulae should be processed before a formula with drugs; The production should meet demand requirements; The pelleting machine should be sequenced to minimize the change over time; While the packing machine is packed, bulk production can be processed such that ideal time of pelleting machine is minimized; Mash production does not require pelleting. Hence, its production can be on parallel with pelleted products. From this complication, one can notice that ability to estimate is crucial for effective scheduling. Inappropriate of production rate estimation could lead to scheduling solutions with high cost or inappropriate timing and infeasible schedules respectively. A planner needs to decide the sequence of the formulae into the mixer and from the mixer what pelleting machine should be utilized. The appropriate timing then relies on the estimation of pelleting rate. The inaccurate estimation of the rate might lead to under utilizing of machine time, hence, lost of opportunity cost to the mill.

The benefits of prediction accuracy: an illustrative case

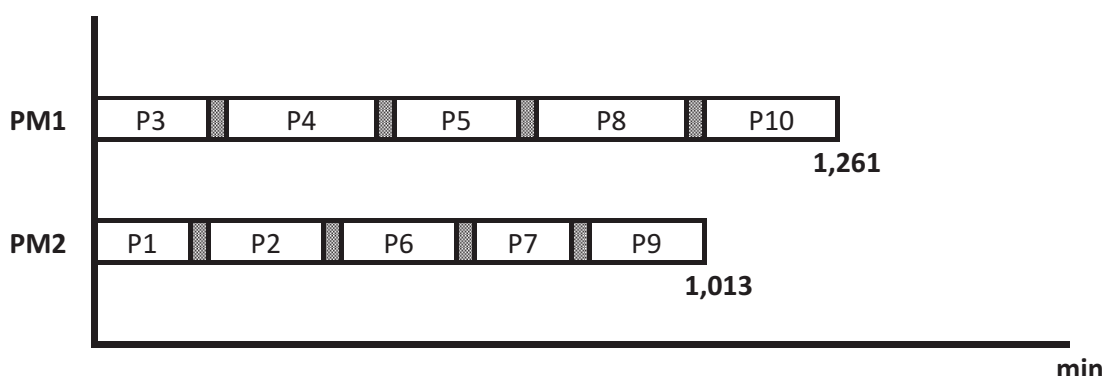
Traditionally, the production rate used in feed scheduling is obtained by planner's experience. The obtained rate is approximately the average of rate of production produced in the past. This practice leads to unintentional lost in production cost and time, if the actual production rate of each feed recipe differs from the average production rate. In an example of 2 pelleting lines called PM1 and PM2, the average production rate for PM1 is 12 tons/hr and it is 17 tons/hr for PM2. Assume that feed mill was to produce 10 batches of 10 distinct feed products. The quantity production of each batch is approximately 50 tons. The production rate of each product is different from one another due to its raw material composition (Table 3). The clearing time required in changing one recipe to another is 30 minutes. The optimal product sequencing of the two pelleting machines is constructed using the average production rate will be different from the optimal sequencing formulated based on a more accurate estimation of production rate. In this sample case, the total processing time and system completion time of feed scheduling based on average capacity are 2,520 and 1,552 minutes, respectively, while they are 2,274 and 1,261 minutes, for sequencing based on a more accurate production rate. The use of inaccurate production rate leads to longer total processing time and completion time at approximately 9.76% and 18.75%, respectively (Figure 4a, b). The longer times of using inaccurate production rate in scheduling imply the potential cost saving from using a more accurate estimation of production rate. The cost saving is even more shining in the case of agricultural price turbulent. That is because the frequent change of recipe composition will make it harder for planner to anticipate the change of production rate. Hence, inappropriate scheduling is likely to result from the unanticipated rate.

Table 3 - Actual production rates in example case

Feed products	Actual production rate (t/h)		Feed products	Actual production rate (t/h)	
	PM1	PM2		PM1	PM2
1	10.50	19.00	6	8.80	16.00
2	8.50	15.50	7	10.00	18.80
3	14.50	20.20	8	11.50	18.00
4	12.70	18.40	9	8.80	15.40
5	14.20	19.50	10	13.30	19.00



(a) The product sequence based on the average production rate



(b) The product sequence based on actual production rate

Figure 4 - The comparison between product sequences based on average and actual production rates.

Conclusions

In this study, we demonstrate the effects of agricultural price fluctuation on feed cost estimation as well as production scheduling. It is found that the agricultural price fluctuation lead to frequent change of feed recipe. And the combination of inappropriate process adjustment and frequent change of feed recipe causes high number of reprocessed batches, and hence, per unit production cost. To deal with this problem, we offer an estimation method based on artificial neural network to predict production rate and cost prior an actual production. The estimated production rate is not only useful for cost estimation but also feed scheduling. Capability to estimate production facilitates good sequencing of feed production. Change over time and cost can be reduced as a result. Although cost estimation and feed scheduling are the only two applications of feed production estimation, it can also be applied to other aspects of feed production (i.e., total productivity

improvement, process adjustment) as well. The other applications have yet but worth been explored.

Acknowledgments

This research was funded by The Thailand Research Fund under project IUG51 and Betagro Science Center Company Limited. The authors also acknowledge the company's help in collecting data, providing invaluable guidance and making this research possible.

References

- PATHUMNAKUL, S.; PIEWTHONGNGAM, K.; APICHOTTANAKUL, A. A neural network approach to the selection of feed mix in the feed industry. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.68, n.1, p.18-24, 2009.
- THOMAS, M.; VLIET, T.; VAN, POEL, A.F.B. Physical quality of pelleted animal feed. 3. Contribution of feedstuff components. **Animal Feed Science Technology**, v.70, p.59-78, 1998.
- TOSO, E.A.V.; MORABITO, R.; CLARK, A.R. Lot sizing and sequencing optimization at an animal-feed plant. **Computers and Industrial Engineering**, v.57, p.813-821, 2009.