การพัฒนาแบบจำลองสโตแคสติกเพื่อประเมินความยืดหยุ่นของโซ่อุปทานสินค้าเกษตร กรณีศึกษา มันสำปะหลังในประเทศไทย

ปารียา ศิริวัฒนพันธ์[1] สราวุธ จันทร์สุวรรณ[*2]

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 118 ถนนเสรีไทย เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

บทคัดย่อ

ภาครัฐและภาคเอกชนได้ให้ความสำคัญในเรื่องของการบริหารจัดการระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสินค้าเกษตรของประเทศไทยมากขึ้น ซึ่งการมีเครือข่ายโลจิสติกส์ภาคการเกษตรที่มีประสิทธิภาพจะทำให้มีการส่งมอบสินค้าที่ดีขึ้นโดยต้องมีการสนับสนุนบทบาทของเกษตรกรและผู้ประกอบการภาคการเกษตรตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ทั้งนี้ในการบริหารจัดการได้มีการกำหนดตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ 3 มิติ คือ ต้นทุน (Cost) เวลา (Lead Time) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) อย่างไรก็ตามตัวชี้วัดที่สำคัญอีกมิติหนึ่ง คือ ความยืดหยุ่นของโซ่อุปทาน (Supply Chain Flexibility) ที่จะแสดงถึงความสามารถที่ระบบสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของราคาและนโยบายการสนับสนุนของภาครัฐที่กระทบต่อโซ่อุปทานสินค้าเกษตรนั้นยังไม่มีการศึกษาในลักษณะเชิงปริมาณ บทความนี้จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อใช้วัดความยืดหยุ่นของโซ่อุปทาน ซึ่งการศึกษาได้ประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง ซึ่งถือเป็นผลผลิตส่งออกที่สำคัญของประเทศ ทั้งนี้ในการพัฒนาตัวแบบพิจารณาตั้งแต่ส่วนการเพาะปลูก การแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง และการขนส่งเพื่อการส่งออก โดยใช้หลักการของตัวแบบสโตแคสติกมาพัฒนาตัวแบบ ในการประเมินความยืดหยุ่น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้น โดยขั้นที่ 1 เป็นตัวแบบเพื่อประเมินความสามารถพื้นฐานของโซ่อุปทานที่ทำให้มีผลกำไรสูงที่สุด และขั้นที่ 2 เป็นตัวแบบเพื่อประเมินความยืดหยุ่นของโซ่อุปทานที่สามารถเพิ่มขึ้นได้สูงที่สุดจากความสามารถพื้นฐานที่ได้จากตัวแบบขั้นที่ 1 ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความสามารถสำรอง (Reserve Capacity) ของโซ่อุปทาน ทั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในการกำหนดนโยบายเพื่อเพิ่มศักยภาพในการบริหารจัดการตลอดจนช่วยระบุส่วนที่อาจจะกลายเป็นคอขวดของโซ่อุปทาน ให้มีการพัฒนาเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของอุปทานและอุปสงค์ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ความยืดหยุ่นของโซ่อุปทาน, โซ่อุปทานเกษตร, มันสำปะหลัง, ตัวแบบสโตแคสติก

* Corresponding author. E-mail: sarawutj@gmail.com

[1] มหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

[2] อาจารย์ สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Stochastic Modeling for Assessing Agricultural Supply Chain Flexibility: A Case Study of Cassava in Thailand

Pareeya Siriwatthanaphan[1] Sarawut Jansuwan[*2]

Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

118 SeriThai Road, Bangkapi, Bangkok 10240

Abstract

The logistics and supply chain management for the agricultural supply chain in Thailand has recently been more emphasized by both the private and public sectors. The efficient agricultural logistics network could provide better product shipment in support of the policy *"from farm (farmers) to forks (midstream or downstream producers or consumers)."* The performance indicators usually consider the dimensions of cost, lead time, and reliability. Besides these three indicators, the supply chain flexibility is an alternative performance indicator used to assess the ability to accommodate or handle the demand changes in the supply chain system. The objective of this study was to develop a mathematical programming model to assess the supply chain flexibility for the cassava industry, which is a key exported agricultural product of Thailand. In this study, the proposed model adopted the concept of stochastic programming and was divided into two stages. The first stage evaluated the base pattern along the supply chain networks to meet the maximize profit. The second stage assessed the reserve capacity using the base pattern obtained from the first stage. The models could be used as a suggestion for planning and also for identifying bottlenecks in the supply chain in order to enhance the capacity to serve future supply and demand changes.

Keywords: supply chain flexibility, agricultural supply chain, cassava, stochastic programming

* Corresponding author. E-mail: sarawutj@gmail.com

[1] Master of science (Logistics Management Program), Graduate School of Applied Statistics, NIDA

[2] Lecturer in Logistics Management Program, Graduate School of Applied Statistics, NIDA

1. บทนำ

ตัวชี้วัดเรื่อง “ความยืดหยุ่น (Flexibility)” เป็นตัวชี้วัดที่มีความสำคัญค่อนข้างมาก สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการรองรับกับการเปลี่ยนแปลงทั้งในส่วนอุปสงค์ อุปทาน ตลอดจนปัจจัยภายนอกต่างๆ ซึ่งในอดีตมีการนำมาปรับใช้ในส่วนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ต่อมาได้มีการศึกษาในมุมมองที่หลากหลายยิ่งขึ้นและให้ความสำคัญกับความยืดหยุ่นของโซ่อุปทาน (Supply Chain Flexibility) มากขึ้น โดยพิจารณาถึงความสามารถของผู้ที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานที่จะปรับเปลี่ยนการดำเนินงานให้สามารถตอบสนองต่อลูกค้าของโซ่อุปทานได้อย่างรวดเร็ว [1] ซึ่งการพิจารณามิติของความยืดหยุ่นให้เป็นอีกตัวชี้วัดหนึ่งในโซ่อุปทานเพิ่มเติมจากเรื่องของต้นทุน ระยะเวลา และความน่าเชื่อถือ จะช่วยเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายเพื่อเพิ่มความสามารถการแข่งขันได้เหมาะสมขึ้น

ปัจจุบันภาครัฐมีการสนับสนุนให้พัฒนาระบบบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานของพืชเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับตลาดโลก ซึ่งมันสำปะหลังถือเป็นพืชยุทธศาสตร์ที่สำคัญ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกอันดับ 1 ของโลก มีส่วนแบ่งการตลาดสูงถึงร้อยละ 79.4 [2] อย่างไรก็ตามแนวโน้มความต้องการใช้มันสำปะหลังมีเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้หลากหลาย แต่การผลิตจากส่วนของเกษตรกรมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ที่ค่อนข้างต่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ อันเป็นผลมาจากหลายปัจจัย โดยเฉพาะราคารับซื้อ ทำให้บางช่วงเวลาก็มีผลผลิตล้นตลาด บางช่วงผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังอุตสาหกรรมกลางน้ำที่ทำหน้าที่ในการแปรรูปมีการบริหารจัดการทรัพยากรการผลิตได้ค่อนข้างยาก เกิดต้นทุนการผลิตที่ไม่เหมาะสม รวมไปถึงภาคการขนส่งของโซ่อุปทานมันสำปะหลังที่มีการขนส่งทางถนนเป็นหลัก ในส่วนของเกษตรกรบางรายมีขนาดการบรรทุกของรถที่ไม่เพียงพอ ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่สูงขึ้น ส่วนการขนส่งจากโรงงานเพื่อการส่งออกมีการขนส่งแบบต่อเนื่องร่วมกับทางรถไฟเพื่อส่งต่อไปยังท่าเรือค่อนข้างน้อย ทั้งที่มีต้นทุนต่ำกว่า สาเหตุเกิดจากอุปกรณ์อำนวยความสะดวกไม่เพียงพอ และเวลาในการส่งมอบไม่แน่นอน ทำให้เกิดอุปสงค์ขนส่งทางรถบรรทุกค่อนข้างมาก และเกิดปัญหาการจราจรที่แออัดตามมา

ปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าแต่ละส่วนในโซ่อุปทานยังขาดความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทั้งภายในและภายนอก ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ จึงทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นที่จะพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาความสามารถของเกษตรกร โรงงานแปรรูป และระบบการขนส่งที่รวมถึงมิติความยืดหยุ่นของโซ่อุปทานในการรองรับการเปลี่ยนแปลงอุปทานและอุปสงค์สำหรับโซ่อุปทานการผลิตและแปรรูปมันสำปะหลัง โดยพิจารณาปัจจัยการผลิตรวมถึงปัจจัยเรื่องราคาที่มีผลต่อการดำเนินงานของโซ่อุปทาน ซึ่งการประยุกต์ใช้จะทำให้ทราบถึงส่วนที่เป็นอาจเป็นคอขวดของโซ่อุปทาน ตลอดจนเป็นแนวทางให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องกำหนดนโยบายการส่งเสริม การลงทุน และการพัฒนาเพื่อให้โซ่อุปทานเกษตรสามารถรองรับกับการเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้อย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่น

จากการทบทวนวรรณกรรม งานวิจัย [3] มีการศึกษาและนำเสนอกรอบแนวคิดของตัวชี้วัดประสิทธิภาพเรื่องของความยืดหยุ่นของระบบการผลิต (Flexible Manufacturing System: FMS) ทั้งนี้การศึกษาจากกรอบแนวคิดดังกล่าวได้มีผลงานวิจัยที่สอดคล้องกัน เช่น [4] - [6] ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ความยืดหยุ่นของการผลิตมีหลายมิติ เช่น เครื่องจักร กระบวนการดำเนินงาน แรงงาน และกำลังการผลิต ซึ่งการทราบความยืดหยุ่นจะช่วยให้มีความได้เปรียบในการแข่งขัน การดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ และวางแผนระยะยาวได้เหมาะสมยิ่งขึ้น

ปัจจุบันได้มีการนำเรื่องของความยืดหยุ่นศึกษาร่วมกับรูปแบบการดำเนินงานที่หลากหลาย เช่น วิธีการในการวัดความยืดหยุ่นที่เป็นเชิงปริมาณสำหรับระบบการขนส่งสินค้า [7] เพื่อรองรับกับการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์และรูปแบบการขนส่ง เมื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบกับการขนส่งสินค้าตู้คอนเทนเนอร์ทางราง ทำให้ทราบช่วงความยืดหยุ่นของ

ระบบขนส่งทางรางที่ชัดเจนขึ้น ต่อมาได้มีการพัฒนาตัวแบบการวัดความยืดหยุ่นของความจุที่รองรับได้ของระบบการขนส่ง โดยประยุกต์ใช้กับการขนส่งผู้โดยสารทางถนน ซึ่งผลการศึกษาทำให้เห็นถึงความสามารถของระบบการขนส่งภายใต้ปริมาณอุปสงค์เดิมและอุปสงค์ที่จะเพิ่มขึ้นจากการปรับรูปแบบของระบบขนส่ง [8]

นอกจากนั้นมีการศึกษาเพื่อสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับวัดประสิทธิภาพที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น [9] ศึกษาเรื่องความยืดหยุ่นของปริมาณผลิตต่ออุปสงค์ ความยืดหยุ่นของระยะเวลาการจัดส่ง และความยืดหยุ่นในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์ที่มีผลต่อโซ่อุปทาน งานวิจัย [10] ศึกษาและสร้างตัวแบบเพื่อนำมาวัดความยืดหยุ่นของโซ่อุปทาน 4 มิติ ได้แก่ แรงงาน เครื่องจักร เส้นทาง และเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทำให้มีกำไรของโซ่อุปทานสูงที่สุด และงานวิจัย [11] สร้างตัวแบบเพื่อวัดความยืดหยุ่นของโซ่อุปทาน พิจารณาความยืดหยุ่นของกำลังการผลิต ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ระดับการให้บริการลูกค้า และความสามารถของผู้จัดหาวัตถุดิบ ซึ่งผลการศึกษาของทั้ง 3 งานวิจัยนี้ สอดคล้องกันว่า เมื่อนำตัวแบบไปประยุกต์ใช้เพื่อตัดสินใจผลิตสินค้าจะทำให้สามารถวางแผนการผลิตได้ดีขึ้น มีผลกำไรสูงขึ้น ตลอดจนเป็นแนวทางวางแผนเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของโซ่อุปทานได้เหมาะสมมากขึ้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโซ่อุปทานเกษตร

ภาคเกษตรประสบปัญหาทั้งเรื่องของการผลิตและระบบโลจิสติกส์ ซึ่งมีหลายงานวิจัยได้ทำการศึกษาโดยนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ เช่น [12] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการลดต้นทุนโลจิสติกส์การเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์ควีน โดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed Integer Linear Programming) พิจารณาตั้งแต่การวางแผนเพาะปลูกให้มีต้นทุนที่เหมาะสม และการวางแผนเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ได้ตามที่ลูกค้าต้องการ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ขยายขอบเขตศึกษาที่ครอบคลุมเรื่องการขนส่ง [13] ศึกษาการจัดการโซ่อุปทานมะพร้าวน้ำหอมโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสมในการพิจารณาระบบการขนส่งผลผลิตมะพร้าวน้ำหอมให้เกิดต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนสินค้าคงคลังและต้นทุนแรงงานที่ต่ำที่สุด ซึ่งมีผลการศึกษาของทั้งสองงานวิจัยทำให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ตัวแบบช่วยให้มีต้นทุนรวมลดลง

ทั้งนี้สำหรับโซ่อุปทานมันสำปะหลัง ผู้วิจัยได้มีการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทย [14] ซึ่งผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นตั้งแต่ส่วนต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยเฉพาะในเรื่องของการผลิตและการขนส่งผลผลิตของส่วนเกษตรกร และโรงงานแปรรูป ตลอดจนได้มีการศึกษาปัญหาการดำเนินงานขนส่งผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลังทางถนนร่วมกับทางราง โดยปัญหาได้แก่ ปริมาณหัวรถจักรและแคร่ที่ไม่เพียงพอ ความไม่แน่นอนของตารางเวลาในการขนส่ง และจากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) แสดงให้เห็นว่า การลดความไม่แน่นอนในการขนส่งทางรางและการเพิ่มจำนวนขบวนรถไฟต่อวันจะช่วยลดต้นทุนการขนส่งสินค้าได้ จึงควรมีการผลักดันให้เกิดการพัฒนาการขนส่งทางระบบรางมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้แหล่งรับซื้อและโรงงานแปรรูปถือเป็นส่วนสำคัญของโซ่อุปทาน [15] ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังที่เหมาะสม โดยพิจารณาต้นทุนการผลิต ต้นทุนการขนส่งของเกษตรกร และต้นทุนจากการใช้พื้นที่เพาะปลูกของพืชอื่นเพื่อปลูกมันสำปะหลัง และกรณีที่ใช้พื้นที่เพาะปลูกของพืชอื่นและได้รับการอุดหนุนเรื่องของต้นทุนการผลิตจากภาครัฐ เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังเดิม ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานแปรรูปที่เหมาะสมแห่งใหม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของผลผลิตและความต้องการของโรงงาน และการเพาะปลูกในพื้นที่เพาะปลูกของพืชชนิดอื่นโดยมีภาครัฐอุดหนุนต้นทุนการผลิตจะทำให้มีผลกำไรสูงที่สุด ซึ่งเป็นแนวทางให้ภาครัฐกำหนดนโยบายสนับสนุนภาคเกษตรต่อไป

อย่างไรก็ตามการดำเนินงานของโซ่อุปทานนั้นอยู่ภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์และอุปทาน ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับตัวแบบสโตแคสติกร่วมด้วย [16] ได้ทำการศึกษาเรื่องของการวางแผนการผลิตของโซ่อุปทานเชื้อเพลิงชีวภาพ ภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์และราคา การศึกษาพบว่า ตัวแบบ Stochastic ให้ค่าของ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่สูงกว่าตัวแบบ Deterministic ส่วนอีกงานหนึ่งได้นำตัวแบบ Stochastic มาใช้ในการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมแปรรูปมะเขือเทศ [17] โดยพิจารณาตั้งแต่ส่วนของเกษตรกรผู้เพาะปลูกจนกระทั่งนำมาจำหน่ายให้กับโรงงานแปรรูป แล้วส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าผ่านทางศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งผลการศึกษาของทั้งสองงานวิจัยพบว่า ตัวแบบ Stochastic สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานได้มีประสิทธิภาพค่อนข้างดี

3. วิธีการวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาได้เลือกพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการผลิตมันสำปะหลัง และมีโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังมากที่สุดในประเทศไทย ในการสร้างตัวแบบพิจารณาโซ่อุปทานที่ประกอบด้วยเกษตรกร ผู้แปรรูปและผู้ส่งออก โดยการขนส่งมันสำปะหลังจากเกษตรกรจะนำไปจำหน่ายให้กับผู้แปรรูปโดยตรง ไม่ผ่านพ่อค้าคนกลาง และผู้แปรรูปเป็นรายเดียวกับผู้ส่งออก โดยรูปที่ 1 แสดงเครือข่ายโซ่อุปทานแป้งมันสำปะหลังที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและเป็นเครือข่ายในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 6 Node ดังนี้

$i \Rightarrow j$ เกษตรกรขนส่งผลผลิตมันสำปะหลังโดยรถบรรทุกมาจำหน่าย และเทกองไว้ที่ลานมันของโรงงาน

$j \Rightarrow k$ มันสำปะหลังที่รับซื้อจากเกษตรกรและถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

$k \Rightarrow g$ แป้งมันสำปะหลังที่เสร็จจากกระบวนการแปรรูปและนำมาจัดเก็บไว้ยังคลังสินค้าของโรงงาน

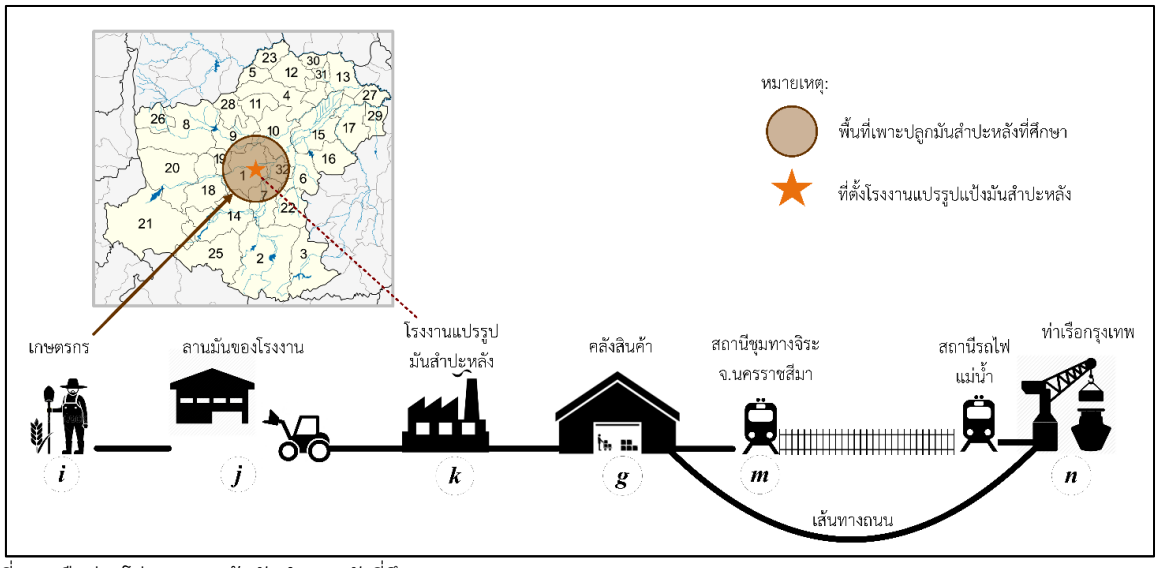
$g \Rightarrow m$ แป้งมันสำปะหลังที่ส่งออกถูกบรรจุเข้าตู้คอนเทนเนอร์และขนส่งโดยรถหัวลากไปยังสถานีรถไฟ

$g \Rightarrow n$ แป้งมันสำปะหลังที่ส่งออกถูกบรรจุเข้าตู้คอนเทนเนอร์และขนส่งโดยรถบรรทุกหัวลากไปยังท่าเรือ

$m \Rightarrow n$ แป้งมันสำปะหลังส่งออกที่บรรจุเข้าตู้คอนเทนเนอร์ถูกขนส่งด้วยรถไฟไปยังท่าเรือ

3.2 วิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้หลักการของตัวแบบสโตแคสติกในการสร้างตัวแบบ ทั้งนี้ในการพิจารณาความไม่แน่นอนในเรื่องของอุปทาน อุปสงค์ ผู้วิจัยได้พิจารณาปัจจัยในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงราคารับซื้อ และราคา F.O.B (Free on Board) ของแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นราคาที่กำหนดขึ้นจากมูลค่าสินค้า รวมถึงค่าขนส่งสินค้ามาสู่ท่าเรือ เพื่อทำพิธีการส่งออก ซึ่งราคาจะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความผันผวนของปริมาณมากขึ้น จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Linear Regression ระหว่างข้อมูลราคารับซื้อและปริมาณอุปทานมันสำปะหลังของเกษตรกรในปี 2555 – 2558 แสดงสมการความสัมพันธ์ คือ $y_1 = 136.62x_1 - 252{,}048.28$ และมีค่า R-square เท่ากับ 0.52 โดย y_1 แทน ปริมาณอุปทานมันสำปะหลังของเกษตรกร (ตัน/ไตรมาส) และ x_1 แทน ราคารับซื้อเฉลี่ย (บาท/ไตรมาส) ส่วน Linear Regression ระหว่างข้อมูลราคา F.O.B กับปริมาณอุปสงค์มีสมการความสัมพันธ์คือ $y_2 = -0.91x_2 + 17{,}253.13$ โดย y_2 แทน ปริมาณอุปสงค์แป้งมันสำปะหลัง (ตัน/ไตรมาส) และ x_2 แทน ราคา F.O.B (บาท/ไตรมาส) ซึ่งมีค่า R-square เท่ากับ 0.79 และนำค่าจากสมการนี้ไปใช้ในการประมวลผลต่อไป



รูปที่ 1 เครือข่ายโซ่อุปทานแป้งมันสำปะหลังที่ศึกษา

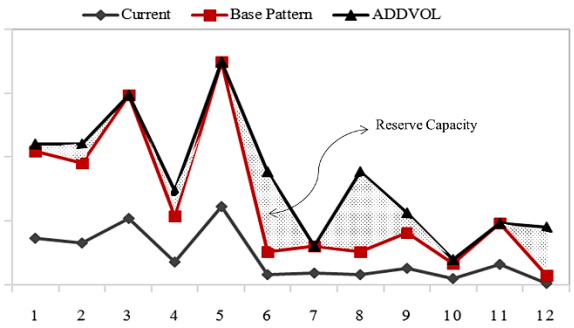
3.3 การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์

3.3.1 หลักการของตัวแบบประเมินความยืดหยุ่น

ตัวแบบจะมีการวิเคราะห์ผลเป็น 2 ขั้น โดยขั้นที่ 1 (Base Pattern) เป็นตัวแบบที่สร้างขึ้นเพื่อหาความสามารถพื้นฐานของโซ่อุปทานของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทานแป้งมันสำปะหลังตั้งแต่เกษตรกร โรงงานแปรรูป และการขนส่งไปยังท่าเรือ โดยพิจารณาภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ของทุกส่วน โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดผลกำไรสูงที่สุด Base Pattern จะสามารถบอกถึงความสามารถของโซ่อุปทานที่จะรองรับกับอุปสงค์ ณ ปัจจุบันได้

ตัวแบบขั้นที่ 2 (Additional Volume: ADDVOL) เป็นตัวแบบที่แสดงให้เห็นค่าความสามารถสูงที่สุดภายใต้ข้อจำกัดเรื่องของ Capacity ของทุกส่วนในโซ่อุปทาน ซึ่งตัวแบบนี้จะนำค่าที่ได้จาก Base Pattern มาใช้เป็นค่าพื้นฐานและใช้โปรแกรมประมวลค่าที่เพิ่มได้สูงที่สุด ซึ่งค่าระหว่าง Base Pattern และ ADDVOL จะเรียกว่า Reserve Capacity หากค่านี้มีค่ามากแสดงว่า มีความยืดหยุ่นได้มาก แต่หากมีค่าน้อยหรือเท่ากับ Base Pattern แสดงว่าส่วนนั้น ๆ อาจจะกลายเป็นจุดคอขวดของโซ่อุปทานเมื่อมีการเปลี่ยนเปลี่ยนของอุปทานและอุปสงค์ ซึ่งเป็นแนวทางให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องวางแผนเพื่อพัฒนาศักยภาพต่อไป โดยรูปแบบของตัวแบบทั้ง 2 ขั้นนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2

ทั้งนี้ในการสร้างตัวแบบสโตแคสติกได้มีการกำหนด Scenario ของการเกิดปริมาณความต้องการขายมันสำปะหลังของเกษตรกร และความต้องการขายแป้งมันสำปะหลังของโรงงานแป้ง ณ ราคาที่แตกต่างกันออกไป โดยจะมีการหาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละ Scenario ซึ่งจะมีผลต่อค่าของสมการวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยผลของสมการวัตถุประสงค์จะออกมาในรูปของค่าเฉลี่ยของทุก Scenario ในแต่ละช่วงไตรมาส ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในส่วนที่ 4.1



รูปที่ 2 ลักษณะของตัวแบบประเมินความยืดหยุ่น

3.3.2 ตัวแบบสโตแคสติกประเมินความยืดหยุ่น

ดัชนี (Index)

i ดัชนีของพื้นที่เพาะปลูก; i = 1, 2, 3, ..., 10

j ดัชนีของลานมันของโรงงาน; j = 11, 12

k ดัชนีของเครื่องจักรผลิตแป้งมันสำปะหลัง; k = 13, 14

g ดัชนีของคลังจัดเก็บแป้งมันสำปะหลัง; g =15

m ดัชนีของสถานีรถไฟชุมทางนครราชสีมา; m = 16

n ดัชนีของท่าเรือส่งออก; n = 17

t ดัชนีของช่วงเวลา; t = 1, 2, 3, 4

α ดัชนีของ Scenario; α = 1, 2,..., 36

ค่าพารามิเตอร์ (Parameter)

f ต้นทุนการเพาะปลูกของเกษตรกร (บาทต่อตัน)

r อัตราค่าขนส่งมันสำปะหลังของเกษตรกร (บาทต่อตัน)

$z_{j\alpha}^{t}$ ราคารับซื้อมันสำปะหลังที่ลานมัน j ของแต่ละ Scenario α ในช่วงเวลาที่ t (บาทต่อตัน)

$z_{n\alpha}^{t}$ ราคาส่งออกแป้งมันสำปะหลัง ณ ท่าเรือ n ของแต่ละ Scenario α ในช่วงเวลาที่ t (บาทต่อตัน)

h_g ต้นทุนการจัดเก็บแป้งมันที่คลังสินค้า g (บาทต่อตัน)

s^t ต้นทุนการผลิตแป้งมันในช่วงเวลาที่ t (บาทต่อตัน)

c_{gm}^{t} ค่าขนส่งจากคลังสินค้า g ไปยังสถานีรถไฟชุมทาง m ในช่วงเวลาที่ t (บาทต่อตู้)

c_{mn}^{t} ค่าขนส่งจากสถานีรถไฟ m ไปยังท่าเรือ n ในช่วงเวลาที่ t (บาทต่อตู้)

c_{gn}^{t} ค่าขนส่งจากคลังสินค้า g ไปยังท่าเรือ n โดยตรง ในช่วงเวลาที่ t (บาทต่อตู้)

I_g^0 ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่จัดเก็บที่คลังสินค้าของโรงงานแปรรูป g เริ่มต้นที่ t=0 (ตัน)

U_j^t ปริมาณที่รับซื้อได้สูงสุดของลานมัน j ในช่วงเวลาที่ t (ตัน)

U_k^t กำลังการผลิตแป้งที่โรงงานผลิต k ในช่วงเวลาที่ t (ตัน)

U_g^t ความจุคลังสินค้าจัดเก็บแป้งมัน g ช่วงเวลาที่ t (ตัน)

V_{mn}^{t} จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ขบวนรถไฟจากสถานีชุมทาง m ไปยังท่าเรือ n รองรับได้ ในช่วงเวลาที่ t (ตู้ต่อวัน)

V_{gn}^{t} จำนวนรถหัวลากที่ว่าจ้างได้เพื่อขนส่งจากคลังสินค้า g ไปยังท่าเรือ n โดยตรง ในช่วงเวลาที่ t (คันต่อวัน)

W_{gm}^{t} น้ำหนักบรรทุกของรถหัวลากที่ขนจากคลังสินค้า g ไปยังสถานีรถไฟ m ในช่วงเวลาที่ t (ตันต่อตู้ต่อคัน)

W_{mn}^{t} น้ำหนักบรรทุกของรถไฟที่ขนส่งจากสถานีรถไฟชุมทาง m ไปยังท่าเรือส่งออก n ในช่วงเวลาที่ t (ตันต่อตู้)

W_{gn}^{t} น้ำหนักบรรทุกของรถหัวลากที่ขนจากคลังสินค้า g ไปยังท่าเรือ n โดยตรง ในช่วงเวลาที่ t (ตันต่อตู้ต่อคัน)

D_j^t ปริมาณความต้องการมันสำปะหลังขั้นต่ำของลานมัน j ในช่วงเวลาที่ t (ตัน)

D_g^t ปริมาณแป้งมันสำปะหลังขั้นต่ำที่ควรจัดเก็บไว้ให้กับลูกค้าในช่วงเวลาที่ t (ตัน)

$D_{n\alpha}^{t}$ ปริมาณความต้องการแป้งมันสำปะหลังของลูกค้าที่ส่งออกท่าเรือ n ของแต่ละ Scenario α ที่เกิดจากฟังก์ชันความสัมพันธ์กับราคา F.O.B. ในช่วงเวลาที่ t

$F_{i\alpha}^{t}$ ปริมาณอุปทานของเกษตรกรพื้นที่ i แต่ละ Scenario α ที่เกิดจากฟังก์ชันความสัมพันธ์กับราคารับซื้อ ในช่วงเวลาที่ t

β อัตราการแปรสภาพของมันสำปะหลังสดเป็นแป้งมันฯ

P_α ความน่าจะเป็นของแต่ละ Scenario α

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ตัวแบบขั้นที่ 1

$x_{ij\alpha}^{t}$ ปริมาณมันสำปะหลังที่เกษตรกรพื้นที่ที่ i นำไปจำหน่ายและเทกองไว้ที่ลานมันของโรงงานแปรรูปที่ j ในช่วงเวลาที่ t ของ Scenario α (ตัน)

$x_{jk\alpha}^{t}$ ปริมาณมันสำปะหลังที่จัดเก็บไว้ที่ลานมันของโรงงานแปรรูปที่ j ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงานแปรรูปที่ k ในช่วงเวลาที่ t ของ Scenario α (ตัน)

$y_{kg\alpha}^{t}$ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่แปรรูปและบรรจุพร้อมส่งของโรงงานแปรรูปที่ k นำไปจัดเก็บไว้ที่คลังสินค้าที่ g ในช่วงเวลาที่ t ของ Scenario α (ตัน)

$y_{gm\alpha}^{t}$ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่จัดเก็บไว้ที่คลังสินค้า g จัดส่งไปยังสถานีชุมทางรถไฟ m เพื่อบรรทุกขึ้นรถไฟและส่งต่อไปยังท่าเรือ ในช่วงเวลาที่ t ของ Scenario α (ตัน)

$y_{gn\alpha}^{t}$ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่จัดเก็บไว้ที่คลังสินค้า g ถูกจัดส่งโดยรถบรรทุกไปยังท่าเรือ n โดยตรง ในช่วงเวลาที่ t ของ Scenario α (ตัน)

$y_{mn\alpha}^{t}$ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมจัดส่งโดยรถไฟซึ่งขนส่งจากสถานีชุมทางรถไฟ m ไปยังท่าเรือ n ในช่วงเวลาที่ t ของ Scenario α (ตัน)

$I_{g\alpha}^{t}$ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เก็บไว้ที่คลังสินค้าของโรงงานแปรรูป g ในช่วงเวลาที่ t ของ Scenario α (ตัน)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของตัวแบบขั้นที่ 1

$$Max\ Profit = \sum_i \sum_j \sum_t \sum_\alpha P_\alpha z_{j\alpha}^{t} x_{ij\alpha}^{t} -$$

$$\sum_i \sum_j \sum_t \sum_\alpha P_\alpha f x_{ij\alpha}^{t} - \sum_i \sum_j \sum_t \sum_\alpha P_\alpha r x_{ij\alpha}^{t} +$$

$$\sum_g\sum_m\sum_n\sum_t\sum_\alpha P_\alpha z^t_{n\alpha}\left(y^t_{gm\alpha}+y^t_{gn\alpha}\right)-\sum_j\sum_k\sum_t\sum_\alpha P_\alpha z^t_{j\alpha}x^t_{jk\alpha}-\sum_k\sum_g\sum_t\sum_\alpha P_\alpha s^t y^t_{kg\alpha}-\sum_g\sum_t\sum_\alpha P_\alpha h_g I^t_{g\alpha}-\sum_g\sum_m\sum_t\sum_\alpha c^t_{gm}\left(\frac{P_\alpha y^t_{gm\alpha}}{W^t_{gm}}\right)-\sum_m\sum_n\sum_t\sum_\alpha c^t_{mn}\left(\frac{P_\alpha y^t_{mn\alpha}}{W^t_{mn}}\right)-\sum_g\sum_n\sum_t\sum_\alpha c^t_{gn}\left(\frac{P_\alpha y^t_{gn\alpha}}{W^t_{gn}}\right) \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints) ของตัวแบบขั้นที่ 1

$$\sum_j x^t_{ij\alpha}\le F^t_{i\alpha} \quad ,\forall_i,\forall_t,\forall_\alpha \quad (2)$$

$$\sum_i x^t_{ij\alpha}\le U^t_j \quad ,\forall_j,\forall_t,\forall_\alpha \quad (3)$$

$$\sum_i x^t_{ij\alpha}\ge D^t_j \quad ,\forall_j,\forall_t,\forall_\alpha \quad (4)$$

$$\sum_i x^t_{ij\alpha}-\sum_j x^t_{jk\alpha}=0 \quad ,\forall_\alpha \quad (5)$$

$$\sum_j \beta x^t_{jk\alpha}=\sum_g y^t_{kg\alpha} \quad ,\forall_k,\forall_t,\forall_\alpha \quad (6)$$

$$\sum_g y^t_{kg\alpha}\le U^t_k \quad ,\forall_k,\forall_t,\forall_\alpha \quad (7)$$

$$I^{t-1}_{g\alpha}+\sum_k y^t_{kg\alpha}-\left(y^t_{mn\alpha}+y^t_{gn\alpha}\right)-I^t_{g\alpha}\le U^t_g \quad ,\forall_g,\forall_t,\forall_\alpha \quad (8)$$

$$I^{t-1}_{g\alpha}+\sum_k y^t_{kg\alpha}-\left(y^t_{mn\alpha}+y^t_{gn\alpha}\right)-I^t_{g\alpha}\ge D^t_g \quad ,\forall_g,\forall_t,\forall_\alpha \quad (9)$$

$$\sum_g y^t_{gm\alpha}-\sum_n y^t_{mn\alpha}=0 \quad ,\forall_m,\forall_t,\forall_\alpha \quad (10)$$

$$\sum_n\left(y^t_{mn\alpha}/W^t_{mn}\right)\le V^t_{mn} \quad ,\forall_m,\forall_t,\forall_\alpha \quad (11)$$

$$\sum_n\left(y^t_{gn\alpha}/W^t_{gn}\right)\le V^t_{gn} \quad ,\forall_g,\forall_t,\forall_\alpha \quad (12)$$

$$\sum_g y^t_{gn\alpha}+\sum_m y^t_{mn\alpha}\ge D^t_{n\alpha} \quad ,\forall_n,\forall_t,\forall_\alpha \quad (13)$$

$$x^t_{ij\alpha},x^t_{jk\alpha},y^t_{kg\alpha},y^t_{gm\alpha},\ y^t_{gn\alpha},y^t_{mn\alpha},I^t_{g\alpha}\ge 0 \quad ,\forall_i,\forall_j,\forall_k,\forall_g,\forall_m,\forall_n,\forall_t,\forall_\alpha \quad (14)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 หา Base Pattern ของโซ่อุปทาน โดยมีเป้าหมายให้ผลกำไรของโซ่อุปทานสูงที่สุด ซึ่งแยกออกเป็นผลกำไรของเกษตรกร ประกอบด้วยรายได้จากการจำหน่ายมันสำปะหลังลบด้วยต้นทุนต่อตันมันสำปะหลังตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกจนกระทั่งขนส่งไปจำหน่าย ส่วนของโรงงานแปรรูปที่ k ประกอบด้วยรายได้จากการส่งออกแป้งมัน ลบด้วยต้นทุนการรับซื้อมันสำปะหลังจากเกษตรกร ต้นทุนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ต้นทุนการจัดเก็บแป้งมันสำปะหลังที่คลังสินค้า g และต้นทุนค่าขนส่งด้วยรูปแบบการขนส่ง 2 แบบ คือ การขนส่งจากคลังสินค้าของโรงงาน g ไปยังท่าเรือ n โดยตรงด้วยรถบรรทุก และการขนส่งจากคลังสินค้าของโรงงาน g ไปยังสถานีรถไฟ m และขนส่งต่อไปยังท่าเรือ n ด้วยรถไฟ มีข้อจำกัดดังนี้

สมการที่ 2 มันสำปะหลังที่เกษตรเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปจำหน่ายให้กับโรงงานแปรรูป จะต้องไม่เกินศักยภาพการผลิตของเกษตรกร ในแต่ละช่วงเวลา *t*

สมการที่ 3 มันสำปะหลังที่โรงงานรับซื้อผลผลิตไม่เกินความสามารถสูงสุดของพื้นที่ลานมันในช่วงเวลาที่ *t*

สมการที่ 4 มันสำปะหลังขั้นต่ำที่โรงงานรับซื้อผลผลิตจากเกษตรกรในช่วงเวลาที่ *t*

สมการที่ 5 ไม่มีการจัดเก็บมันสำปะหลัง เพราะจะเกิดการเน่าเสียได้ง่าย ต้องนำเข้ากระบวนการผลิตทันที

สมการที่ 6 อัตราส่วนการแปรสภาพของมันสำปะหลังเป็นแป้งมัน ในช่วงเวลา *t*

สมการที่ 7 กำลังการผลิตแป้งมันของโรงงาน *k*

สมการที่ 8 ผลรวมของแป้งมันที่จัดเก็บแต่ละวันจะต้องไม่เกินพื้นที่ของคลังสินค้า *g* ในแต่ละช่วงเวลา *t*

สมการที่ 9 ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ทำการผลิตจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับปริมาณแป้งมันสำปะหลังสำรองขั้นต่ำที่กำหนดไว้ของคลังสินค้า *g*

สมการที่ 10 สถานีรถไฟเป็นจุด Transshipment จะต้องไม่มีสินค้าเหลือค้างอยู่ในแต่ละช่วงเวลา *t*

สมการที่ 11 ปริมาณบรรทุกของรถไฟที่จะขนส่งจากสถานี *m* ไปยังท่าเรือ *n* ซึ่งจะมีจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สามารถขนส่งจำกัดในแต่ละช่วงเวลา *t*

สมการที่ 12 จำนวนรถหัวลากที่โรงงานสามารถว่าจ้างจากคลังสินค้า *g* ไปส่งยังท่าเรือ *n* ในช่วงเวลา *t*

สมการที่ 13 ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่มีการขนส่งไปยังท่าเรือ *n* ผ่านรูปแบบการขนส่งทั้งสองรูปแบบ ต้องมีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับอุปสงค์ส่งออกในแต่ละช่วงเวลา *t*

สมการที่ 14 ค่าทุกค่าจะต้องไม่เป็นค่าติดลบ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ตัวแบบขั้นที่ *2*

Δx^t_{ij} ปริมาณมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นของเกษตรกรพื้นที่ *i* นำไปจำหน่ายที่ลานมัน *j* ในช่วงเวลาที่ *t* (ตัน)

Δx^t_{jk} ปริมาณมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งจัดเก็บไว้ที่ลานมันของโรงงานแปรรูปที่ *j* ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงานแปรรูปที่ *k* ในช่วงเวลาที่ *t* (ตัน)

Δy^t_{kg} ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งแปรรูปและบรรจุพร้อมส่งของโรงงานแปรรูปที่ *k* นำไปจัดเก็บไว้ที่คลังสินค้าที่ *g* ในช่วงเวลาที่ *t* (ตัน)

Δy^t_{gm} ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งจัดเก็บไว้ที่คลังสินค้า *g* จัดส่งไปสถานีชุมทางรถไฟ *m* เพื่อบรรทุกขึ้นรถไฟและส่งต่อไปยังท่าเรือ ในช่วงเวลาที่ *t* (ตัน)

Δy^t_{gn} ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งจัดเก็บไว้ที่คลังสินค้า *g* ถูกจัดส่งโดยรถบรรทุกไปยังท่าเรือ *n* โดยตรง ในช่วงเวลาที่ *t* (ตัน)

Δy^t_{mn} ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นเพื่อเตรียมจัดส่งโดยรถไฟซึ่งขนส่งจากสถานีชุมทางรถไฟ *m* ไปยังท่าเรือ *n* ในช่วงเวลาที่ *t* (ตัน)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของตัวแบบขั้นที่ 2

$$\begin{aligned}Maximize\ Z\ =\ & \sum_i\sum_j\sum_t\sum_\alpha\left(x^t_{ij\alpha}+\Delta x^t_{ij\alpha}\right)+\\ & \sum_j\sum_k\sum_t\sum_\alpha\left(x^t_{jk\alpha}+\Delta x^t_{jk\alpha}\right)+\sum_k\sum_g\sum_t\sum_\alpha\left(y^t_{kg\alpha}+\Delta y^t_{kg\alpha}\right)+\\ & \sum_g\sum_m\sum_t\sum_\alpha\left(y^t_{gm\alpha}+\Delta y^t_{gm\alpha}\right)+\sum_m\sum_n\sum_t\sum_\alpha\left(y^t_{mn\alpha}+\Delta y^t_{mn\alpha}\right)+\\ & \sum_g\sum_n\sum_t\sum_\alpha\left(y^t_{gn\alpha}+\Delta y^t_{gn\alpha}\right)\end{aligned} \tag{15}$$

สมการข้อจำกัด (Constraints) ของตัวแบบขั้นที่ 2

$$\sum_j\left(x^t_{ij\alpha}+\Delta x^t_{ij\alpha}\right)\le F^t_{i\alpha} \qquad ,\forall_i,\forall_t,\forall_\alpha \tag{16}$$

$$\sum_i\left(x^t_{ij\alpha}+\Delta x^t_{ij\alpha}\right)\le U^t_j \qquad ,\forall_j,\forall_t,\forall_\alpha \tag{17}$$

$$\sum_i\left(x^t_{ij\alpha}+\Delta x^t_{ij\alpha}\right)\ge D^t_j \qquad ,\forall_j,\forall_t,\forall_\alpha \tag{18}$$

$$\sum_i\left(x^t_{ij\alpha}+\Delta x^t_{ij\alpha}\right)-\sum_k\left(x^t_{jk\alpha}+\Delta x^t_{jk\alpha}\right)=0 \qquad ,\forall_j,\forall_t,\forall_\alpha \tag{19}$$

$$\sum_j\beta\left(x^t_{jk\alpha}+\Delta x^t_{jk\alpha}\right)=\sum_g\left(y^t_{kg\alpha}+\Delta y^t_{kg\alpha}\right) \qquad ,\forall_k,\forall_t,\forall_\alpha \tag{20}$$

$$\sum_g\left(y^t_{kg\alpha}+\Delta y^t_{kg\alpha}\right)\le U^t_k \qquad ,\forall_k,\forall_t,\forall_\alpha \tag{21}$$

$$\begin{aligned}&I^{t-1}_{g\alpha}+\sum_k\left(y^t_{kg\alpha}+\Delta y^t_{kg\alpha}\right)-\\ &\sum_m\left(y^t_{mn\alpha}+\Delta y^t_{mn\alpha}\right)-\\ &\sum_g\left(y^t_{gn\alpha}+\Delta y^t_{gn\alpha}\right)-I^t_{g\alpha}\le U^t_g\end{aligned} \qquad ,\forall_g,\forall_t,\forall_\alpha \tag{22}$$

$$\begin{aligned}&I^{t-1}_{g\alpha}+\sum_k\left(y^t_{kg\alpha}+\Delta y^t_{kg\alpha}\right)-\\ &\sum_m\left(y^t_{mn\alpha}+\Delta y^t_{mn\alpha}\right)-\\ &\sum_g\left(y^t_{gn\alpha}+\Delta y^t_{gn\alpha}\right)-I^t_{g\alpha}\ge D^t_g\end{aligned} \qquad ,\forall_g,\forall_t,\forall_\alpha \tag{23}$$

$$\sum_g\left(y^t_{gm\alpha}+\Delta y^t_{gm\alpha}\right)-\sum_n\left(y^t_{mn\alpha}+\Delta y^t_{mn\alpha}\right)=0 \qquad ,\forall_m,\forall_t,\forall_\alpha \tag{24}$$

$$\sum_n\left(\left(y^t_{mn\alpha}+\Delta y^t_{mn\alpha}\right)/W^t_{mn}\right)\le V^t_{mn} \qquad ,\forall_m,\forall_t,\forall_\alpha \tag{25}$$

$$\sum_n\left(\left(y^t_{gn\alpha}+\Delta y^t_{gn\alpha}\right)/W^t_{gn}\right)\le V^t_{gn} \qquad ,\forall_g,\forall_t,\forall_\alpha \tag{26}$$

$$\sum_g\left(y^t_{gn\alpha}+\Delta y^t_{gn\alpha}\right)+\sum_m\left(y^t_{mn\alpha}+\Delta y^t_{mn\alpha}\right)\ge D^t_{n\alpha} \qquad ,\forall_n,\forall_t,\forall_\alpha \tag{27}$$

$$\Delta x^t_{ij\alpha},\Delta x^t_{jk\alpha},\Delta y^t_{kg\alpha},\Delta y^t_{gm\alpha},\ \Delta y^t_{gn\alpha},\Delta y^t_{mn\alpha}\ge 0 \qquad ,\forall_i,\forall_j,\forall_k,\ \forall_g,\forall_m,\forall_n,\ \forall_t,\forall_\alpha \tag{28}$$

ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 15 มีเป้าหมายเพื่อหาปริมาณผลผลิตสูงสุดของแต่ละ Node ในโซ่อุปทานที่สามารถรองรับได้เพิ่มขึ้นจากความสามารถพื้นฐานของตัวแบบขั้นที่ 1 ประกอบด้วยความสามารถที่เพิ่มขึ้นได้สูงสุดในการผลิตของเกษตรกร พื้นที่ลานมัน กำลังการผลิต และพื้นที่คลังสินค้า รวมถึงความสามารถที่เพิ่มขึ้นสูงสุดของระบบการขนส่งทางถนนโดยตรง และการขนส่งทางถนนร่วมกับรถไฟ ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อจำกัดเช่นเดียวกับตัวแบบที่ 1 แต่มีตัวแปรการตัดสินใจเพิ่มเติมเข้ามาในข้อจำกัดดังสมการที่ 16 – 28

4. กรณีศึกษาและผลการศึกษา

4.1 กรณีศึกษา

พารามิเตอร์จากกรณีศึกษาส่วนที่ 1 ส่วนของเกษตรกร ได้แก่ ต้นทุนการเพาะปลูก (f) กำหนดให้มีค่าเท่ากันทุกไตรมาส คือ 1,637 บาทต่อตัน และต้นทุนการขนส่งเพื่อนำมาจำหน่ายที่โรงงานแปรรูป (r) เท่ากับ 220, 200, 200, 190, 220, 180, 180, 170, 150, 170 บาทต่อตัน ของพื้นที่เพาะปลูกที่ *i* ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลโรงงานแปรรูป ประกอบด้วยข้อมูลราคารับซื้อ ต้นทุนการผลิต ปริมาณอุปสงค์มันสำปะหลังของโรงงานแปรรูปและการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง อัตราการแปรสภาพจากมันสำปะหลังเป็นแป้ง ปริมาณความจุของลานมัน กำลังการผลิตแป้ง และปริมาณความจุของคลังสินค้า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของส่วนโรงงานแปรรูป

พารามิเตอร์	หน่วย	ไตรมาส 1	ไตรมาส 2	ไตรมาส 3	ไตรมาส 4
h_g	บาท/ตัน	75	75	75	75
s^t	บาท/ตัน	2,750	3,000	3,000	2,900
I_g^0	ตัน	0	-	-	-
U_j^t	ตัน	200,000	200,000	200,000	200,000
U_k^t	ตัน	44,000	30,000	30,000	30,000
U_g^t	ตัน	35,000	35,000	35,000	35,000
β	%	24	24	24	24
D_j^t	ตัน	10,000	10,000	10,000	10,000
D_g^t	ตัน	1,000	1,000	1,000	1,000

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการขนส่งแบบที่ 1 การขนส่งทางถนนโดยตรง ได้แก่ จำนวนรถหัวลากที่ว่าจ้างได้ น้ำหนักบรรทุก ต้นทุนค่าขนส่ง แบบที่ 2 เป็นการขนส่งทางรถบรรทุกร่วมกับรถไฟ ได้แก่ น้ำหนักบรรทุก ต้นทุนค่าขนส่งทางรถบรรทุกและรถไฟ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์และน้ำหนักบรรทุกที่บรรทุกบนรถไฟได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของส่วนการขนส่ง

พารามิเตอร์	หน่วย	ไตรมาส 1	ไตรมาส 2	ไตรมาส 3	ไตรมาส 4
V_{gn}^t	TEU/ไตรมาส	600	600	600	600
V_{mn}^t	TEU/ไตรมาส	350	350	350	350
W_{gm}^t, W_{mn}^t, W_{gn}^t	ตัน	17	17	17	17
c_{gn}^t	บาท/ TEU	6,750	6,750	6,650	6,650
c_{gm}^t	บาท/ TEU	600	600	600	600
c_{mn}^t	บาท/ TEU	6,100	6,100	6,100	6,100

สำหรับข้อมูลที่เป็น Stochastic ได้จัดทำเป็น Scenario เพื่อใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ของตัวแบบ โดย Scenario ที่สร้างขึ้นนี้ได้มาจากสมการ Linear Regression และการหาความน่าจะเป็นการแจกแจงข้อมูลแบบ Poisson ซึ่งใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นของราคา ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง และปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลังที่เคยเกิดขึ้นในอดีต โดยได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยซึ่งจะอยู่ในขอบเขตของราคาที่เคยเกิดขึ้น และนำไปหาค่าอุปสงค์แป้งมันสำปะหลัง และอุปทานมันสำปะหลังตามสมการ Linear Regression เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นและค่าคาดหมายของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

สมมติฐานของการสร้าง Scenario พิจารณาว่าข้อมูลในส่วนของราคารับซื้อและราคา F.O.B. เป็นอิสระต่อกัน และลำดับการเกิดขึ้นของเหตุการณ์ในส่วนของราคารับซื้อและราคา F.O.B. เกิดขึ้นพร้อมกัน กล่าวคือ เกษตรกรที่จะนำผลผลิตเข้ามาจำหน่ายให้กับโรงงานแปรรูป สามารถทราบได้ทั้งในส่วนของราคารับซื้อผลผลิต และราคา F.O.B. แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีส่วนต่อการตัดสินใจในการนำผลผลิตเข้ามาจำหน่าย ทั้งนี้สามารถสร้างได้ทั้งหมด 36 Scenario ดังตารางที่ 3 -6 ทั้ง 4 ไตรมาส โดยคิดค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นของทั้งสองฝ่าย คือ ฝ่ายอุปทานผลผลิตจากเกษตรกรเมื่อมีราคารับซื้อที่แตกต่างกัน 3 ราคา มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นและลดลงโดยประมาณร้อยละ 10 และอีกฝ่ายหนึ่งคือ ฝ่ายของอุปสงค์ที่เป็นความต้องการของลูกค้าที่จะปรับเปลี่ยนไปตามราคา F.O.B. ให้มีการเพิ่มขึ้นและลดลงจากราคาเฉลี่ยโดยประมาณร้อยละ 5 ซึ่งความน่าจะเป็นที่กำหนดขึ้นเป็นผลมาจากข้อมูลในอดีต และจะเห็นว่า ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ราคาเพิ่มขึ้นจะน้อยกว่าราคาที่ลดลงเป็นผลมาจากราคาที่เพิ่มขึ้นนั้น จะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่า และส่วนใหญ่ค่าราคาจะอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย และราคาที่ต่ำกว่า จึงทำให้มีค่าความน่าจะเป็นที่น้อยกว่าด้วย ซึ่งช่วงราคาที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการหาปริมาณอุปทานส่วนต้นน้ำ และอุปสงค์ส่งออกจากสมการ Linear Regression ต่อไป

ตารางที่ 3 Scenario ของตัวแบบขั้นที่ 2 (ไตรมาสที่ 1)

α	ความน่าจะเป็น	x_1	y_1	x_2	y_2
1	0.40 × 0.30= 0.12	2,111	193,611	13,232	15,636
2	0.25 × 0.30= 0.08	2,216	167,931	13,232	15,636
3	0.35 × 0.30= 0.11	1,900	244,974	13,232	15,636
4	0.40 × 0.50= 0.20	2,111	193,611	13,929	13,734
5	0.25 × 0.50= 0.13	2,216	167,931	13,929	13,734
6	0.35 × 0.50= 0.18	1,900	244,974	13,929	13,734
7	0.40 × 0.20= 0.08	2,111	193,611	14,625	11,832
8	0.25 × 0.20= 0.05	2,216	167,931	14,625	11,832
9	0.35 × 0.20= 0.07	1,900	244,974	14,625	11,832

(x หน่วย: บาท/ตัน, y หน่วย: ตัน)

ตารางที่ 4 Scenario ของตัวแบบขั้นที่ 2 (ไตรมาสที่ 2)

α	ความน่าจะเป็น	x_1	y_1	x_2	y_2
1	0.40 × 0.30= 0.12	2,094	27,552	13,085	16,038
2	0.25 × 0.30= 0.08	2,199	23,517	13,085	16,038
3	0.35 × 0.30= 0.11	1,885	35,619	13,085	16,038
4	0.40 × 0.50= 0.20	2,094	27,552	13,929	14,157
5	0.25 × 0.50= 0.13	2,199	23,517	13,929	14,157
6	0.35 × 0.50= 0.18	1,885	35,619	13,929	14,157
7	0.40 × 0.20= 0.08	2,094	27,552	14,462	12,256
8	0.25 × 0.20= 0.05	2,199	23,517	14,462	12,256
9	0.35 × 0.20= 0.07	1,885	35,619	14,462	12,256

(x หน่วย: บาท/ตัน, y หน่วย: ตัน)

ตารางที่ 5 Scenario ของตัวแบบขั้นที่ 2 (ไตรมาสที่ 3)

α	ความน่าจะเป็น	x_1	y_1	x_2	y_2
1	0.40 × 0.30= 0.12	2,091	26,310	13,605	14,619
2	0.25 × 0.30= 0.08	2,195	35,730	13,605	14,619
3	0.35 × 0.30= 0.11	1,882	7,467	13,605	14,619
4	0.40 × 0.50= 0.20	2,091	26,310	14,321	12,663
5	0.25 × 0.50= 0.13	2,195	35,730	14,321	12,663
6	0.35 × 0.50= 0.18	1,882	7,467	14,321	12,663
7	0.40 × 0.20= 0.08	2,091	26,310	15,037	10,707
8	0.25 × 0.20= 0.05	2,195	35,730	15,037	10,707
9	0.35 × 0.20= 0.07	1,882	7,467	15,037	10,707

(x หน่วย: บาท/ตัน, y หน่วย: ตัน)

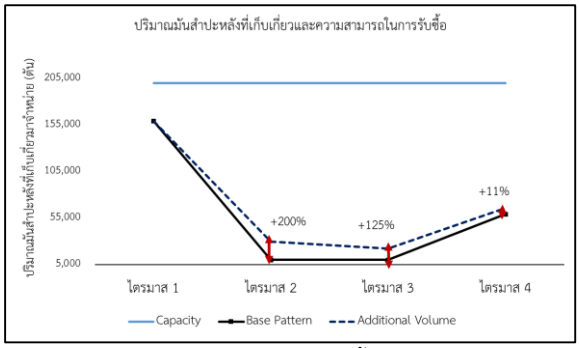
ตารางที่ 6 Scenario ของตัวแบบขั้นที่ 2 (ไตรมาสที่ 4)

α	ความน่าจะเป็น	x_1	y_1	x_2	y_2
1	0.40 × 0.30= 0.12	2,109	59,421	13,242	15,609
2	0.25 × 0.30= 0.08	2,215	48,159	13,242	15,609
3	0.35 × 0.30= 0.11	1,898	81,939	13,242	15,609
4	0.40 × 0.50= 0.20	2,109	59,421	13,939	13,707
5	0.25 × 0.50= 0.13	2,215	48,159	13,939	13,707
6	0.35 × 0.50= 0.18	1,898	81,939	13,939	13,707
7	0.40 × 0.20= 0.08	2,109	59,421	14,636	11,802
8	0.25 × 0.20= 0.05	2,215	48,159	14,636	11,802
9	0.35 × 0.20= 0.07	1,898	81,939	14,636	11,802

(x หน่วย: บาท/ตัน, y หน่วย: ตัน)

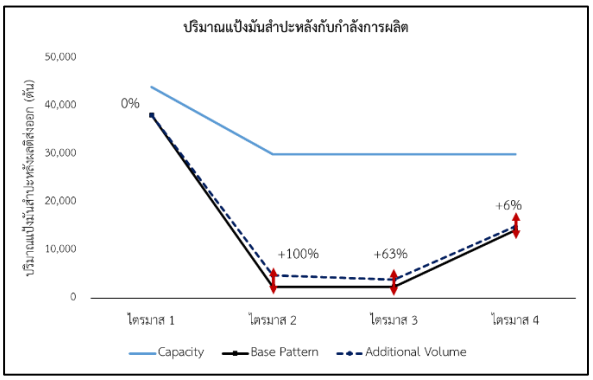
4.2 ผลการศึกษา

การประมวลผลของตัวแบบ Stochastic ยังคงประมวลผลด้วยโปรแกรม Excel Solver โดยผลที่ได้สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟแสดงในแต่ละส่วนดังรูปที่ 3 เป็นส่วนของเกษตรกรที่นำผลผลิตมาจำหน่ายให้กับโรงงานแป้ง ซึ่งจากค่าความยืดหยุ่นจะเห็นว่า ปริมาณผลผลิตที่จำหน่ายในไตรมาสที่ 1 ค่อนข้างสูงทำให้มีปริมาณการรับซื้อไม่เพียงพอ เนื่องจากมี Capacity จำกัด และเรื่องของต้นทุนการจัดเก็บที่สูง โรงงานจึงมีการรับซื้อในปริมาณที่มีความสามารถที่จะระบายออกได้ตามลักษณะของอุปสงค์ ในขณะที่ไตรมาสที่ 2 และ 3 มีผลผลิตออกมาค่อนข้างน้อย ทำให้มีความสามารถในการรับซื้อได้เพิ่มค่อนข้างมาก แต่อาจกระทบต่อโรงงาน เนื่องจากปริมาณผลผลิตที่อาจไม่เพียงพอและต้องมีนำเข้า ทำให้มีต้นทุนสูงขึ้น



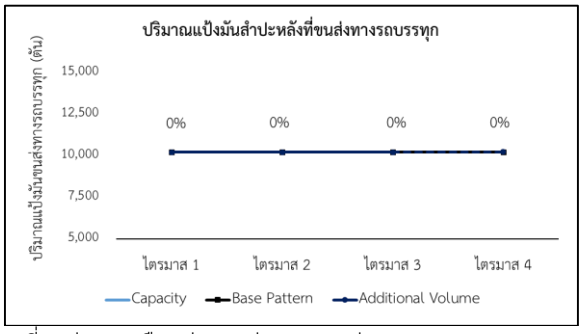
รูปที่ 3 ค่าความยืดหยุ่นของส่วนการรับซื้อจากเกษตรกร

ส่วนการแปรรูปมันสำปะหลังของโรงงานมีลักษณะเป็นไปตามรูปแบบของการรับซื้อ คือจะมีกำลังการผลิตเหลือค่อนข้างมากในช่วงที่มีผลผลิตออกมาน้อย ดังรูปที่ 4



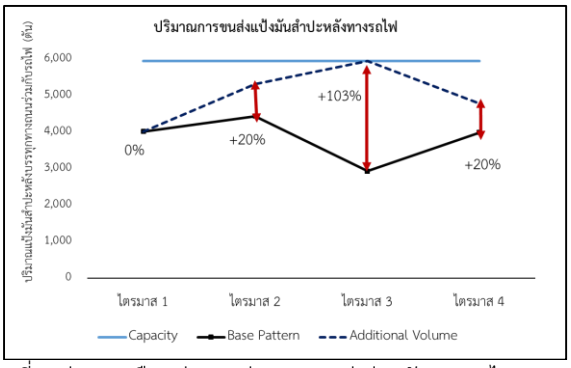
รูปที่ 4 ค่าความยืดหยุ่นของส่วนการผลิตของโรงงานแปรรูป

ส่วนการขนส่งทางรถบรรทุกจากรูปที่ 5 จะเห็นว่าใช้ Capacity เต็มและอาจจะกลายเป็นจุดคอขวดของโซ่อุปทานต่อไปได้ ซึ่งหากในช่วงเวลานั้น ๆ มีผู้ให้บริการค่อนข้างน้อย ก็จะส่งผลกระทบต่อการส่งมอบสินค้าให้ทันเวลาด้วยเช่นกัน



รูปที่ 5 ค่าความยืดหยุ่นของส่วนการขนส่งทางรถบรรทุก

ส่วนของการขนส่งทางรถบรรทุกร่วมกับรถไฟจากรูปที่ 6เนื่องจากยังไม่ได้ใช้มากนัก ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความสามารถในการรองรับได้เพิ่มอีกค่อนข้างมาก ดังนั้นการขนส่งรูปแบบนี้จึงสามารถเป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการและควรมีการสนับสนุนให้การขนส่งทางรถไฟมีประสิทธิภาพทั้งในเรื่องของความเพียงพอ และความตรงต่อเวลาของตารางเดินรถไฟด้วย



รูปที่ 6 ค่าความยืดหยุ่นของส่วนการขนส่งร่วมกับทางรถไฟ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยประยุกต์ตัวแบบสโตแคสติกเพื่อนำมาใช้ในการประเมินความยืดหยุ่นของโซ่อุปทานแป้งมันสำปะหลัง โดยตัวแบบที่สร้างขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ตัวแบบขั้นแรกเรียกว่า Base Pattern ที่ใช้ในการประเมินความสามารถพื้นฐานของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน โดยมีเป้าหมายเพื่อหาปริมาณการรับซื้อและการผลิตเพื่อการส่งออกให้มีกำไรรวมของเกษตรกรและโรงงานแปรรูปสูงที่สุด และตัวแบบขั้นที่ 2 เรียกว่า Additional Volume ซึ่งใช้ประเมินความยืดหยุ่นหรือความสามารถที่เพิ่มขึ้นได้สูงที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากรการผลิต โดยตัวแบบนี้จะนำผลจาก Base Pattern มาใช้เป็นค่าอ้างอิงและจะประมวลผลค่าที่เพิ่มขึ้นได้สูงที่สุด โดยค่าระหว่าง Base Pattern และ Additional Volume นี้จะเรียกว่า Reserve Capacity ซึ่งหากมีค่ามากแสดงให้เห็นว่ามีความยืดหยุ่นและสามารถที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงได้มาก แต่หากมีค่าน้อย อาจจะกลายเป็นจุดคอขวดของโซ่อุปทานในอนาคตได้ ทั้งในการสร้างตัวแบบจากหลักการของ Stochastic ผู้วิจัยได้พิจารณาปัจจัยความไม่แน่นอนจากราคารับซื้อ กับปริมาณอุปทานและราคา F.O.B กับปริมาณอุปสงค์ส่งออกแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์แบบ Linear Regression แล้วนำมาสร้าง Scenario ในการประมวลผลตัวซึ่งผลของตัวแบบชี้ให้เห็นว่า ส่วนของการขนส่งทางรถบรรทุก จะเป็นจุดคอขวดของโซ่อุปทานได้ ในขณะเดียวกันในหลายๆ ส่วนก็มีความยืดหยุ่นค่อนข้างน้อย ดังนั้นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องจึงควรเริ่มวางแผนเพื่อการรองรับ

การเปลี่ยนแปลงที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป ในการจัดทำในครั้งนี้ผู้วิจัยพิจารณาเพียงปัจจัยราคา แต่ทั้งนี้ในภาคการเกษตรยังคงมีปัจจัยทางการตลาดอื่นๆ ที่น่าสนใจเช่น ปัจจัยในเรื่องของฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต เงินทุนและทรัพยากรด้านการผลิต นโยบายภาครัฐที่มีการทำ Zoning เข้ามาพิจารณา ตลอดจนการสร้างตัวแบบที่มีการพิจารณาถึงพฤติกรรมของโซ่อุปทานที่มีการรับรู้เรื่องของราคาไม่พร้อมกัน ซึ่งนำไปสู่ Scenario ที่แตกต่างออกไปจากงานศึกษานี้ไปใช้ในการศึกษาในอนาคตต่อไปได้ ในขณะเดียวกันตัวแบบที่ทำการศึกษายังเป็นขนาดเล็ก ซึ่งยังสามารถนำ Excel Solver มาใช้ในการประมวลผลได้ แต่ในอนาคตอาจจะต้องมีการนำโปรแกรมอื่นๆ ที่สามารถรองรับปัญหาขนาดใหญ่มาประมวลผล เช่น CPLEX APMPL เป็นต้น

6.เอกสารอ้างอิง

[1] V. Kumar, K. A. Fantazy and U. Kumar, “Implementation and management framework for supply chain flexibility,” *Journal of Enterprise Information Management*., Vol. 19 (3), pp. 303-319, 2006.

[2] ธนาคารแห่งประเทศไทย. (20 สิงหาคม 2558). *รายงานสถานการณ์สินค้าเกษตรปี 2557 และแนวโน้มปี 2558,* [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doclib_Commodity Yearly/Yearly2557_Trend-2558_final.pdf

[3] B. M. Beamon, “Measuring supply chain performance,” *International Journal of Operations & Production Management*., Vol. 19 (3), pp. 275-292, 1999.

[4] R. J. Vokurka and S. W. O’Leary-Kelly, “A review of empirical research on manufacturing flexibility,” *Journal of Operations Management.*, Vol. 18 (4), pp. 485-501, 2000.

[5] C. Chandra, M. Everson and J. Grabis, “Evaluation of enterprise-level benefits of manufacturing flexibility,” *Omega*., Vol. 33 (1), pp. 17-31, 2005.

[6] K. Georgoulias, N. Papakostas, G. Chryssolouris, S. Stanev, H. Krappe, and J. Ovtcharova, “Evaluation of flexibility for the effective change management of manufacturing organizations,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*., Vol. 25 (6), pp. 888-893, 2009.

[7] E. K. Morlok and D. J. Chang, “Measuring capacity flexibility of a transportation system,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice.*, Vol. 38 (6), pp. 405-420, 2004.

[8] A. Chen and P. Kasikitwiwat, “Modeling capacity flexibility of transportation networks,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*., Vol. 45 (2), pp. 105-117, 2011.

[9] P. Schütz and A. Tomasgard, “The impact of flexibility on operational supply chain planning,” *International Journal of Production Economics*., Vol. 134 (2), pp. 300-311, 2011.

[10] Z. Gong, “An Economic Evaluation Model of Supply Chain Flexibility,” *European Journal of Operational Research*., Vol. 184 (2), pp. 745-758, 2008.

[11] K. Das, “Integrating effective flexibility measures into a strategic supply chain planning model,” *European Journal of Operational Research.*, Vol. 211 (1), pp. 170-183, 2011.

[12] ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ และสมยศ เชิญอักษร. “การลดต้นทุนโลจิสติกส์การเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์ควีน โดยประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม,” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, ปีที่ 36 (ฉบับที่ 3), หน้า 287-298, 2556.

[13] ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ, วงศ์ผกา วงศ์รัตน์, ปริญญา พัฒนวสันต์พรและสมยศ เชิญอักษร. “การจัดการโซ่อุปทานมะพร้าวน้ำหอมโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิง

เส้นตรงแบบจำนวนเต็ม ผสม," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.*, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 3), หน้า 601-609, 2555.

[14] ปรารถนา ปรารถนาดี, จิรชัย พุทธกุลสมศิริ, เจริญชัย โขมพัตราภรณ์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. (1 กรกฎาคม 2558). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัย การจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทย*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://fic.nfi.or.th/food/upload/pdf/ 13_182.pdf

[15] พิสิษฐ์ บึงบัว, ไพโรจน์ เร้าธนชลกุล, ณกร อินทร์พยุง และสราวุธ จันทร์สุวรรณ. "นโยบายการจัดการโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมเกษตรสำหรับเมืองที่ยั่งยืน: กรณีมันสำปะหลัง," *วารสาร Thai VCML.*, ปีที่ 7 (ฉบับที่ 2), หน้า 128-145, 2557.

[16] I. Awudu, and J. Zhang, "Stochastic Production Planning for a Biofuel Supply Chain under Demand and Price Uncertainties," *Applied Energy*., Vol. 103, pp. 189-196, 2013.

[17] C. D. Rocco and R. Morabito, "Production and Logistics Planning in the Tomato Processing Industry: A Conceptual Scheme and Mathematical Model," *Computers and Electronics in Agriculture*., Vol. 127, pp. 763-774, 2016.