

การจัดการโซ่อุปทานมะพร้าวน้ำหอมโดยประยุกต์ใช้ โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสม Aromatic Coconuts Supply Chain Management Using Mixed-integer Linear Programming

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ^{1,2*} วงศ์ผกา วงศ์รัตน์³ ปริญญ์ พัฒนสันต์พร¹ และ สมยศ เชิญอักษร^{4,5}
Chaimongkol Limpianchob^{1,2*} Wongphaka Wongrat³ Parinya Pattanawasanporn¹ and Somyot Chirnaksorn^{4,5}

บทคัดย่อ

ปัญหาในการจัดการโซ่อุปทาน และโลจิสติกส์สำหรับมะพร้าวน้ำหอมของจังหวัดสมุทรสาคร ประกอบด้วยปัญหาเกี่ยวกับการจัดหาวัตถุดิบและปัญหาการขนส่ง ปัญหาแรกเกิดจากความไม่สมดุลระหว่างอุปทานของพื้นที่เก็บเกี่ยวและอุปสงค์ของลูกค้า ซึ่งมีสาเหตุจากการวางแผนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ สำหรับปัญหาการขนส่งเป็นปัญหาการเลือกใช้ยานพาหนะที่มีให้เลือกถึง 3 ขนาด ที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมะพร้าว น้ำหอมจากพื้นที่เก็บเกี่ยว แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสมได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นตัวแทนของปัญหาดังกล่าวภายใต้กรอบการจัดการโซ่อุปทานการไหลของวัตถุดิบตั้งแต่การเก็บเกี่ยว จนผ่านกระบวนการแปรรูปหลังจากปัญหาดังกล่าวถูกนำมาหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับแผนการจัดหาวัตถุดิบและการวางแผนการผลิต ผลลัพธ์เชิงตัวเลขได้ถูกนำเสนอ เพื่อแสดงให้เห็นวิธีการและรูปแบบที่ใช้ได้กับระบบจริง ซึ่งสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้

ถึง 5.20% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนก่อนการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คำสำคัญ: การจัดการโซ่อุปทาน โลจิสติกส์ มะพร้าว น้ำหอม แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสม

Abstract

Procurement and transportation are two major problems of supply chain and logistics management for aromatic coconuts in Samudrasakhorn Province. The first problem is usually caused by an imbalance of the supply from harvesting areas and customers' demands resulting from an inefficiency of production planning while the transportation problem involves the selection of 3 vehicle sizes which affect transportation cost of coconuts from the harvesting areas. In this study, mixed-integer linear programming models

- ¹ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - ² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
 - ³ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - ⁴ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - ⁵ ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- * Corresponding Author, Tel. 08-6925-828-2, E-mail: fengckl@ku.ac.th

were developed to represent those problems within the supply chain management framework. The flow of raw material from harvesting areas through production process is considered. The optimal solutions for procurement and production plan problems were eventually obtained. Numerical results were presented to demonstrate how the constructed models could be applied to the actual system. The models could reduce the total cost by 5.20% when compared with the method prior to this.

Keywords: Supply Chain Management, Logistics, Aromatic Coconuts, Mixed-integer Linear Programming

1. บทนำ

มะพร้าว น้ำหอม กำลังเป็นที่สนใจของเกษตรกร เนื่องจากการส่งออกที่มีแนวโน้มดีขึ้นเรื่อยๆ เพราะว่ามีมะพร้าว น้ำหอม ราคาไม่แพง และเป็นผลไม้ที่สามารถบริโภคได้ทั้งเนื้อและน้ำซึ่งมีรสชาติหวานหอม และมีคุณค่าทางโภชนาการเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนั้นมะพร้าว น้ำหอม ยังออกดอกให้ผลเกือบตลอดปี [1]

แต่ปัจจุบันโรงงานแปรรูปมะพร้าว น้ำหอม สดเพื่อการส่งออก ประสบปัญหาจำนวนมะพร้าว น้ำหอม ที่ใช้ในการแปรรูปไม่เพียงพอกับปริมาณที่ลูกค้าจากต่างประเทศสั่งซื้อ เนื่องจากขาดการวางแผนการเก็บเกี่ยวมะพร้าว น้ำหอม จากสวน ทำให้ต้องมีการสั่งซื้อมะพร้าว น้ำหอม จากพ่อค้าคนกลางซึ่งมีราคาสูง และอีกปัญหาหนึ่งที่โรงงานและพ่อค้าคนกลางประสบอยู่ คือ ขาดการวางแผนการเลือกใช้นานพาทะที่ ใช้ในการขนส่งจากสวนมายังโรงงาน ที่มีถึง 3 ขนาด ทั้งรถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ และรถกระบะ ซึ่งปัจจุบันจะเลือกใช้นานพาทะจากยานพาหนะที่ว่างอยู่หรือคนขับชินที่จะใช้นานพาทะชนิดใดก็จะใช้แต่นานพาทะนั้น มีผลทำให้ต้นทุนการดำเนินงานไม่สามารถควบคุมได้ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาความสัมพันธ์ด้านเวลา ให้ผลิตภัณฑ์

ส่งถึงลูกค้าตรงตามเวลาที่กำหนดไว้ การขาดการวางแผนที่มีประสิทธิภาพจึงถือเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหา จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวางแผนการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางธุรกิจ ให้สามารถอยู่รอด และเติบโตได้ในสภาพการแข่งขันที่รุนแรงในปัจจุบัน

การจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) อย่างมีประสิทธิภาพ และมีประสิทธิผลจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเนื่องจากทุกส่วนภายในองค์กร รวมถึงภายนอกองค์กรมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยง และมีผลกระทบซึ่งกันและกัน [2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำการจัดการโซ่อุปทานมาใช้ โดยนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโซ่อุปทานของมะพร้าว น้ำหอม ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อให้ต้นทุนรวมการดำเนินการรวมต่ำสุด ซึ่งพิจารณาถึงในด้านการวางแผนการเก็บเกี่ยวมะพร้าว น้ำหอม และสัดส่วนการผลิตให้สอดคล้องกับเวลา และปริมาณของอุปสงค์ของลูกค้า รวมถึงพิจารณาการเลือกใช้นานพาทะให้เหมาะสมในการขนส่งมะพร้าว น้ำหอม โดยการสร้างเป็นแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสม (Mixed-integer Linear Programming Model) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น และเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบ การผลิตและการแปรรูป และการส่งมอบสินค้าในโซ่อุปทานมะพร้าว น้ำหอม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยด้านการจัดการโซ่อุปทานได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบันนี้ ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนในการพัฒนาระบบการจัดการโซ่อุปทาน [3]

หากจะกล่าวถึงการนำแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มผสม ไปใช้ในการแก้ปัญหาค่าความยุ่งยากในการตัดสินใจ และข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อการบริโภค เพื่อช่วยทำให้การวางแผนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพนั้น เป็นที่แพร่หลายอย่างมากในงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ประกอบด้วย แบบจำลอง

กำหนดการจำนวนเต็มผสมที่นำไปใช้ในการวางแผนการเก็บเกี่ยววัตถุดิบจากแปลงปลูกเข้าสู่โรงงานผลิต เช่น ในโรงงานบรรจุผลไม้สด (Packaging Plant) [4] โรงงานทำน้ำองุ่น (Grape Processing) [5] เพื่อแก้ปัญหาการเก็บผลไม้แต่ละชนิดที่มีช่วงเวลาการเก็บไม่เท่ากัน และเพื่อหาปริมาณการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาในด้านการจัดการโซ่อุปทานและการขนส่ง เช่น Mula et al. [6] ได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวางแผนการผลิตโซ่อุปทานและการขนส่ง ซึ่งพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนมากจะใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสมในการแก้ไขปัญหา เป้าหมายเพื่อลดต้นทุนโซ่อุปทานให้เหลือน้อยที่สุด และยังเสนอแนวทางการทำวิจัยที่มีความน่าสนใจในอนาคตที่จะมีความโดดเด่น คือ พิจารณารูปแบบการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกันในโซ่อุปทาน และเพื่อกำหนดขอบเขตในการทำวิจัยในการแก้ไขปัญหา ผู้วิจัยจะใช้งานวิจัยของ Mula et al. [6] ที่ได้แนะนำในการทำวิจัยในด้านนี้ให้มีความโดดเด่น คือ การเลือกใช้ยานพาหนะในการขนส่งที่มีหลายขนาดให้เหมาะสม โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น สามารถช่วยพิจารณาเลือกขนาดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมะพร้าว น้ำหอมจากแปลงปลูกมายังโรงงานแปรรูป และวางแผนการแปรรูปมะพร้าว น้ำหอมให้มีความสอดคล้องกับกำลังการผลิต และเวลาในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า โดยที่มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด

3. โครงสร้างโซ่อุปทานของมะพร้าว น้ำหอม

เพื่อกำหนดพื้นที่และขอบเขตในการทำวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลทั้งจากองค์กรของรัฐบาล เช่น สำนักงานเกษตรจังหวัด อุตสาหกรรมจังหวัด เป็นต้น และข้อมูลภาคสนามจากเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าว น้ำหอม พ่อค้าคนกลาง ตลอดจนเจ้าของโรงงานแปรรูปมะพร้าว น้ำหอม จนได้พื้นที่ในการทำวิจัย คือ อำเภอบ้านแพ้ว

จังหวัดสมุทรสาคร

มะพร้าว น้ำหอมที่โรงงานแปรรูปได้มาจากสวนมะพร้าว น้ำหอม 4 แหล่ง แบ่งเป็นส่วนมะพร้าว น้ำหอมของโรงงานเอง (I_S) สวนมะพร้าว น้ำหอมของทางเกษตรกรในเครือข่ายของทางโรงงาน (I_{SC}) สวนมะพร้าว น้ำหอมของพ่อค้าคนกลาง (I_H) และสวนมะพร้าว น้ำหอมของเกษตรกรในเครือข่ายของพ่อค้าคนกลาง (I_{HC}) ซึ่งทางโรงงานจะสั่งซื้อมะพร้าว น้ำหอม (L'_{wi}) จากพ่อค้าคนกลาง (MDM) ก็ต่อเมื่อมะพร้าว น้ำหอมที่เก็บเกี่ยวจากสวนของโรงงานและสวนของเกษตรกรในเครือข่ายของโรงงาน (E'_I) มีมะพร้าว น้ำหอมไม่เพียงพอต่อการแปรรูป

การขนส่งมะพร้าว น้ำหอม หากเป็นส่วนของโรงงาน หรือสวนของเกษตรกรในเครือข่ายของโรงงาน โรงงานจะต้องจัดรถไปขนมะพร้าว น้ำหอมจากสวนมายังโรงงานเอง ซึ่งในปัจจุบันทั้งโรงงาน (N'_{iv}) และพ่อค้าคนกลาง (M'_{wiv}) จะจัดรถไปขนมะพร้าว น้ำหอมจากรถที่ว่างอยู่เท่านั้น รูปแบบยานพาหนะ (VM) ที่ใช้ในการขนส่งมะพร้าว น้ำหอมมีอยู่ 3 ประเภท คือ รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ และรถกระบะ ซึ่งยานพาหนะแต่ละประเภทมีต้นทุนค่าขนส่งในแต่ละเที่ยว (TFC'_{iv}) แตกต่างกันไปตามระยะทางของสวน นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาข้อจำกัดในการบรรทุกของยานพาหนะในแต่ละประเภทสำหรับแต่ละช่วงเวลาด้วย

โกดังเก็บมะพร้าว น้ำหอมและตู้คอนเทนเนอร์ เมื่อมะพร้าว น้ำหอมถูกเก็บเกี่ยวจากสวนทั้งของโรงงานและของพ่อค้าคนกลางนั้น หากมีปริมาณมากเกินกำลังการผลิตในแต่ละวันหรือเกินอุปสงค์ของลูกค้า มะพร้าว น้ำหอมสดจะถูกเก็บไว้ในโกดัง (J_B and J_K) เพื่อรอการแปรรูปในวันถัดไป หลังจากแปรรูปมะพร้าว น้ำหอมและบรรจุใส่กล่องเสร็จเรียบร้อยแล้ว มะพร้าว น้ำหอมจะถูกเก็บไว้ในตู้คอนเทนเนอร์เย็นที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส Kamolwan et al. [6] จนเต็มตู้คอนเทนเนอร์แล้วจึงขนส่งไปที่ท่าเรือ

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลของโรงงานแปรรูป

มะพร้าวน้ำหอมแห่งหนึ่ง ในอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาครเป็นกรณีศึกษา โดยผู้วิจัยมีข้อสมมติ (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นดังนี้

1. ทุกสวนมีความพร้อมในการเก็บมะพร้าวน้ำหอมและผลผลิตที่ได้คงที่ทุกช่วงเวลา ทุกสภาพภูมิอากาศตลอดช่วงฤดูการเพาะปลูก
2. ทุกสวนมะพร้าวน้ำหอมมีความพร้อมในการเก็บผลผลิตทุก 20 วัน
3. กำหนดให้ในแต่ละกระบวนการไม่มีวัสดุคงค้าง (Work in Process, WIP) ตอนเริ่มการคำนวณ

ในส่วนต่อไป ผู้วิจัยจะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการวางแผนการเก็บเกี่ยว และการขนส่งมะพร้าวน้ำหอม สิ่งแรกที่ต้องอธิบาย คือ กลุ่มของตัวแปร (Sets of Variables) ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงสมการเป้าหมาย (Objective Function) และข้อจำกัด (Constraints) ดังแสดงในรูปที่ 1

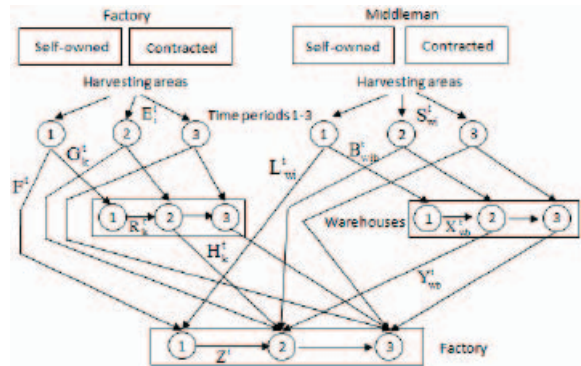
4.1 ดัชนี (Indices and Sets)

- I_S สวนมะพร้าวน้ำหอมของโรงงาน
 I_{SC} สวนมะพร้าวน้ำหอมในเครือข่ายของทางโรงงาน
 I_H สวนมะพร้าวน้ำหอมของพ่อค้าคนกลาง
 I_{HC} สวนมะพร้าวน้ำหอมในเครือข่ายพ่อค้าคนกลาง
 J_B กลุ่มของโกดังพ่อค้าคนกลาง
 J_K กลุ่มของโกดังทางโรงงาน
 MDM กลุ่มของพ่อค้าคนกลางที่ส่งมะพร้าวน้ำหอม
 T กลุ่มของรอบเวลาในการเก็บเกี่ยว
 VM กลุ่มของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง

4.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

เพื่อเป็นตัวแทนในการเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอมจากแต่ละสวน ในแต่ละช่วงเวลา $t \in T$ ดังนี้

- E_i^t ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่เก็บเกี่ยวจากสวน i ของโรงงานหรือของเกษตรกรในเครือข่ายของโรงงาน เมื่อเวลา t (ผล) ; $\forall i \in I_S \cup I_{SC}$
 S_{wi}^t ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่เก็บเกี่ยวจากสวน



รูปที่ 1 โครงสร้างโซ่อุปทานของมะพร้าวน้ำหอม

i ของพ่อค้าคนกลาง w เมื่อเวลา t (ผล)
 $\forall i \in I_H \cup I_{HC}$ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเลือก
 ใช้นานพาหนะในการขนส่งมะพร้าวน้ำหอมจาก
 สวนมายังโรงงานแปรรูป

N_{iv}^t ยานพาหนะ v ที่ใช้ขนส่งจากสวน i ของโรงงาน
 หรือของเกษตรกรในเครือข่ายของโรงงาน เมื่อ
 เวลา t (จำนวนเที่ยว) ; $\forall i \in I_S \cup I_{SC}$

M_{wiv}^t ยานพาหนะ v ที่ใช้ขนส่งจากสวน i มายังโรงงาน
 ของพ่อค้าคนกลาง w เมื่อเวลา t (จำนวนเที่ยว)
 $\forall i \in I_H \cup I_{HC}$

O_{wibv}^t ยานพาหนะ v ที่ใช้ขนส่งจากสวน i มายังโกดัง
 b ของพ่อค้าคนกลาง w เมื่อเวลา t (จำนวน
 เที่ยว) ; $\forall i \in I_H \cup I_{HC}$

P_{wbv}^t ยานพาหนะ v ที่ใช้ขนส่งจากโกดัง b ของพ่อค้า
 คนกลาง w มายังโรงงาน ด้วยยานพาหนะชนิด
 v เมื่อเวลา t (จำนวนเที่ยว) ; $\forall i \in I_H \cup I_{HC}$
 ตัวแปรสำหรับการจัดสมดุลของการแปรรูป
 มะพร้าวน้ำหอม (Mass Balancing) ในโรงงาน
 เป็นดังนี้

F^t ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่ถูกส่งเข้ามาแปรรูปใน
 โรงงาน เมื่อเวลา t (ผล)

G_k^t ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่ถูกเก็บไว้ในโกดัง k
 ของโรงงาน เมื่อเวลา t (ผล)

L_{wi}^t ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมจากสวนที่ i ของพ่อค้า
 คนกลาง w ส่งเข้าโรงงาน เมื่อเวลา t (ผล)

B_{wib}^t	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมจากสวนที่ i ที่ถูกส่งไปเก็บไว้ในโกดัง b ของพ่อค้าคนกลาง w (ผล)	IFC_k	ต้นทุนค่าวัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่ในโกดัง k (บาท/ผล/วัน)
R_k^t	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมที่คงค้างอยู่ในโกดัง k ของโรงงาน เมื่อสิ้นสุดเวลา t (ผล)	IMC_{wb}	ต้นทุนค่าวัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่ในโกดัง b ของพ่อค้าคนกลาง w (บาท/ผล/วัน)
X_{wb}^t	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมที่คงค้างอยู่ในโกดัง b ของพ่อค้าคนกลาง w เมื่อสิ้นสุดเวลา t (ผล)	ICC	ต้นทุนค่าวัสดุคงคลังที่เก็บไว้ในตู้คอนเทนเนอร์ (บาท/วัน)
CON^t	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมแปรรูปทั้งหมดที่เก็บอยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ เมื่อสิ้นสุดเวลา t (ผล)	LBC	ต้นทุนค่าแรงงานในการเก็บมะพร้าวของสวนของโรงงาน (บาท/ผล)
H_k^t	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมที่ต้องขนเข้าโรงงานจากโกดัง k เมื่อเวลา t (ผล)	LMC	ต้นทุนค่าแรงงานในการเก็บมะพร้าวของสวนของพ่อค้าคนกลาง (บาท/ผล)
Y_{wb}^t	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมที่ต้องขนเข้าโรงงานจากโกดัง b ของพ่อค้าคนกลาง w เมื่อเวลา t (ผล)	LPC	ต้นทุนค่าแรงงานในการแปรรูป (บาท/ผล)
SUM^t	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมทั้งหมดที่โรงงานจะต้องแปรรูป เมื่อเวลา t (ผล)	LQF	เปอร์เซ็นต์ของมะพร้าว น้ำหอมที่ไม่ได้คุณภาพจากสวนของโรงงาน
นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ตัดสินใจ (Binary Variables) เลือกสวนในการเก็บเกี่ยวมะพร้าว น้ำหอม และเลือกพ่อค้าคนกลางในการสั่งซื้อมะพร้าว น้ำหอมในการสร้างแบบจำลองนี้ด้วย ดังนี้		LQM	เปอร์เซ็นต์ของมะพร้าว น้ำหอมที่ไม่ได้คุณภาพจากพ่อค้าคนกลาง
$V_i^t = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อเลือกสวนที่ } i \text{ ในการเก็บเกี่ยวที่เวลา } t \\ ; \forall i \in I_s \cup I_{sc} \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$		TFC_{iv}	ต้นทุนค่าขนส่งจากสวนที่ i มายังโรงงานด้วยยานพาหนะ v (บาท/เที่ยว)
$U_{wi}^t = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อพ่อค้าคนกลาง } w \text{ เลือกสวนที่ } i \text{ ในการเก็บเกี่ยวที่เวลา } t \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$		TMC_{wiv}	ต้นทุนค่าขนส่งมะพร้าว น้ำหอมจากสวนที่ i ของพ่อค้าคนกลาง w มายังโรงงานด้วยยานพาหนะ v (บาท/เที่ยว)
		$TMBC_{wibv}$	ต้นทุนค่าขนส่งมะพร้าว น้ำหอมจากสวนที่ i ของพ่อค้าคนกลาง w มายังโกดัง b ด้วยยานพาหนะ v (บาท/เที่ยว)
		$TMCC_{wbv}$	ต้นทุนค่าขนส่งมะพร้าว น้ำหอมจากโกดัง b ของพ่อค้าคนกลาง w มายังโรงงาน ด้วยยานพาหนะ v (บาท/เที่ยว)

4.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

Cap_i	ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในสวนที่ i (ผล)
$CapFA$	กำลังการผลิตของโรงงาน (ลูก/วัน)
$CapV_v$	ความจุในการขนมะพร้าว น้ำหอมของยานพาหนะชนิด v (ผล)
$CapWF_k$	ความจุของโกดังที่ k (ผล)
$CapWM_{wb}$	ความจุของโกดังที่ b พ่อค้าคนกลาง w (ผล)
$Demand^t$	ปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าที่เวลา t (ผล)

4.4 ข้อจำกัด

แบบจำลองมีข้อจำกัดหรือข้อกำหนดสำหรับการเก็บเกี่ยว ป้อนวัตถุดิบ การแปรรูป และอุปสงค์ของลูกค้า (Demand) ดังนี้

$$\sum_{i \in I} V_i^t = 1 ; \forall i \in I_s \quad (1)$$

ข้อจำกัด (1) เพื่อเป็นการกำหนดทำให้โรงงานจะต้องเลือกเก็บเกี่ยวมะพร้าว น้ำหอมจากสวนของโรงงานที่มีก่อน

$$\sum_{i \in T} V_i^t \leq 1; \forall i \in I_{sc} \quad (2)$$

ข้อจำกัด (2) เพื่อเป็นการระบุว่าสามารถเก็บเกี่ยวจากสวนของเกษตรกรในเครือข่ายของทางโรงงานได้ หากปริมาณของมะพร้าว น้ำหอมไม่เพียงพอ กับอุปสงค์

$$\sum_{i \in T} U_{wi}^t \leq 1; \forall i \in I_H \cup I_{HC}, \forall w \in MDM \quad (3)$$

ข้อจำกัด (3) ทางโรงงานสามารถเลือกสั่งซื้อมะพร้าว น้ำหอมจากพ่อค้าคนกลางที่มีอยู่ได้

$$E_i^t \leq Cap_i V_i^t; \forall i \in I_s \cup I_{sc}, \forall t \in T \quad (4)$$

และ

$$S_{wi}^t \leq Cap_{wi} U_{wi}^t; \forall i \in I_H \cup I_{HC}, \forall w \in MDM, \forall t \in T \quad (5)$$

ข้อจำกัด (4) และ (5) เพื่อเป็นการกำหนดว่าปริมาณการเก็บเกี่ยวไม่ให้เกินปริมาณของมะพร้าว น้ำหอมที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละสวน

$$E_i^t \leq \sum_{v \in VM} Cap_v V_v N_{iv}^t; \forall i \in I_s \cup I_{sc}, \forall t \in T \quad (6)$$

ข้อจำกัด (6) เป็นการกำหนดรูปแบบยานพาหนะที่จะใช้ขนมะพร้าว น้ำหอม เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งมะพร้าว น้ำหอมต่ำที่สุด

$$S_{wi}^t = L_{wi}^t + B_{wib}^t; \forall i \in I_H \cup I_{HC}, \forall w \in MDM, \forall b \in J_b, \forall t \in T \quad (7)$$

และ

$$\sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} B_{wib}^t \leq Cap_{wb} W_{wb}; \forall b \in J_b, \forall w \in MDM, \forall t \in T \quad (8)$$

ข้อจำกัด (7) เป็นการแบ่งปริมาณมะพร้าว น้ำหอม

จากสวนที่ i ของพ่อค้าคนกลาง w ไปส่งยังโรงงานและไปเก็บที่โกดัง b โดยที่ปริมาณมะพร้าว น้ำหอมที่ถูกส่งไปที่โกดังแต่ละแห่งของพ่อค้าคนกลางต้องการจะไม่เกินความจุของโกดัง แสดงในสมการข้อจำกัด (8)

$$L_{wi}^t \leq \sum_{v \in VM} Cap_v V_v M_{wiv}^t; \forall i \in I_H \cup I_{HC}, \forall w \in MDM, \forall t \in T \quad (9)$$

$$B_{wib}^t \leq \sum_{v \in VM} Cap_v V_v O_{wibv}^t; \forall i \in I_H \cup I_{HC}, \forall w \in MDM, \forall b \in J_b, \forall t \in T \quad (10)$$

และ

$$Y_{wb}^t \leq \sum_{v \in VM} Cap_v V_v P_{wbv}^t; \forall w \in MDM, \forall b \in J_b, \forall t \in T \quad (11)$$

ส่วนสมการข้อจำกัด (9) เป็นการกำหนดรูปแบบยานพาหนะที่ใช้ขนมะพร้าว น้ำหอมจากสวนมายังโรงงาน ข้อจำกัด (10) เป็นการกำหนดรูปแบบยานพาหนะที่ใช้ขนมะพร้าว น้ำหอมจากสวนมายังโกดัง และข้อจำกัด (11) เป็นการกำหนดรูปแบบยานพาหนะที่ใช้ขนมะพร้าว น้ำหอมจากโกดังมายังโรงงานของพ่อค้าคนกลางแต่ละราย

มะพร้าว น้ำหอมที่ถูกเก็บเกี่ยวมาจากสวนจะส่งเข้าโรงงาน คนงานจะคัดขนาดของมะพร้าวที่ไม่ได้ขนาดและไม่ได้คุณภาพออก (LQF) หลังจากนั้นจะส่งเข้ากระบวนการแปรรูปของโรงงานต่อไป หากมะพร้าว น้ำหอมมีปริมาณมากเกินกำลังการผลิตส่วนที่เกินจะถูกเก็บไว้ในโกดังของโรงงาน เพื่อรอการแปรรูปในวันถัดไป ซึ่งมะพร้าว น้ำหอมที่ถูกส่งเข้าโกดังจะต้องไม่เกินความจุโกดังของโรงงาน ข้อจำกัดของการขนส่งมะพร้าว น้ำหอมที่มาจากสวนของโรงงานเป็นดังนี้

$$LQF \cdot \left(\sum_{i \in I_s \cup I_{sc}} E_i^t \right) = F^t + \sum_{k \in J_k} G_k^t; \forall t \in T \quad (12)$$

และ

$$G_k^t \leq \text{CapWF}_k; \forall k \in J_K, \forall t \in T \quad (13)$$

การจัดสมดุลของมะพร้าวน้ำหอมที่ถูกเก็บไว้ในโกดังแสดงในข้อจำกัด (14) ส่วนข้อจำกัด (15) เพื่อป้องกันให้ทราบว่าปริมาณของมะพร้าวน้ำหอมที่คงค้างในโกดังอยู่เมื่อสิ้นสุดเวลา t จะต้องไม่เกินความจุของโกดังที่สามารถเก็บมะพร้าวน้ำหอมได้

$$R_k^t = R_k^{t-1} + G_k^t - H_k^t; \forall k \in J_K, \forall t \in T \quad (14)$$

และ

$$\sum_{t \in T} R_k^t \leq \text{CapWF}_k; \forall k \in J_K \quad (15)$$

การจัดสมดุลของมะพร้าวน้ำหอมที่ถูกเก็บไว้ในโกดังของพ่อค้าคนกลางแต่ละราย แสดงในข้อจำกัด (16) และข้อจำกัด (17)

$$X_{wb}^t = X_{wb}^{t-1} + \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} B_{wib}^t - Y_{wb}^t \quad (16)$$

$$; \forall w \in \text{MDM}, \forall b \in J_B, \forall t \in T$$

และ

$$\sum_{t \in T} X_{wb}^t \leq \text{CapWM}_{wb}; \forall w \in \text{MDM}, \forall b \in J_B \quad (17)$$

ผู้วิจัยจะแสดงข้อจำกัดของจำนวนมะพร้าวน้ำหอมทั้งหมดที่เข้ามาในโรงงานเพื่อทำการแปรรูป เมื่อเวลา t และเพื่อให้ทางโรงงานสามารถตรวจสอบปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่ต้องทำการผลิตในแต่ละช่วงเวลาได้โดยง่าย ในข้อจำกัด (18) และข้อจำกัด (19)

$$F^t + \sum_{k \in J_K} H_k^t + (\text{LQM} \cdot (\sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in \text{MDM}} L_{wi}^t + \sum_{b \in J_B} \sum_{w \in \text{MDM}} Y_{wb}^t)) \geq \text{SUM}^t; \forall t \in T \quad (18)$$

และ

$$\text{SUM}^t \leq \text{CapFA}; \forall t \in T \quad (19)$$

นอกจากนี้เพื่อให้ทางโรงงานสามารถตรวจสอบปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่อยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ได้สะดวกขึ้น ผู้วิจัยจึงได้กำหนดตัวแปร CON^t เพื่อให้ทางโรงงานสามารถตรวจสอบปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่อยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ได้และต้องมีปริมาณเท่ากับอุปสงค์ที่ลูกค้าสั่งเมื่อสิ้นสุดเวลา t ดังแสดงในสมการข้อจำกัดต่อไปนี้

$$\text{CON}^t = \text{CON}^{t-1} + \text{SUM}^t; \forall t \in T \quad (20)$$

และ

$$\text{CON}^t \geq \text{Demand}^t; \forall t \in T \quad (21)$$

4.5 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

สมการเป้าหมายสำหรับงานวิจัยนี้ คือเพื่อให้ต้นทุนรวมการดำเนินการรวมต่ำสุด (Total Cost Minimization) ตั้งแต่กระบวนการเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอมจากสวนจนถึงกระบวนการแปรรูป โดยจะต้องตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าให้เกิดความพึงพอใจ ต้นทุนรวมในการดำเนินงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$Z = C^{\text{trans}} + C^{\text{inven}} + C^{\text{labor}}$$

- ต้นทุนในการขนส่ง (Transportation Cost, C^{trans}) เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งมะพร้าวน้ำหอมจากสวนมายังโรงงาน โดยต้นทุนค่าขนส่งจะมีความแตกต่างกันในแต่ละสวน

$$C^{\text{trans}} = \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in \text{MDM}} \sum_{t \in T} \text{TFC}_{it} \cdot N_{it}^t + \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in \text{MDM}} \sum_{v \in \text{MDM}} \sum_{t \in T} \text{TMC}_{wiv} \cdot M_{wiv}^t + \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in \text{MDM}} \sum_{b \in J_B} \sum_{v \in \text{MDM}} \sum_{t \in T} \text{TMBC}_{wbv} \cdot O_{wbv}^t + \sum_{w \in \text{MDM}} \sum_{b \in J_B} \sum_{v \in \text{MDM}} \sum_{t \in T} \text{TMCC}_{wbv} \cdot P_{wbv}^t$$

● ต้นทุนวัสดุคงคลัง (Inventory Cost, C^{inven})

เป็นต้นทุนที่โรงงาน (IFC) หรือพ่อค้าคนกลาง (IMC) ต้องจ่าย เมื่อมีมะพร้าว น้ำหอม มาเก็บไว้ในโกดังของโรงงาน และให้ ICC เป็นต้นทุนวัสดุคงคลังของมะพร้าว น้ำหอม ที่แปรรูปเสร็จแล้วเก็บไว้ในตู้คอนเทนเนอร์

$$C^{inven} = \sum_{k \in I_k} \sum_{i \in T} IFC_k \cdot R_k^i + \sum_{w \in EMDM} \sum_{b \in E_b} \sum_{i \in T} IMC_{wb} \cdot X_{wb}^i + \sum_{i \in T} ICC \cdot CON$$

● ต้นทุนค่าแรงงาน (Labor Cost, C^{labor})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการเก็บเกี่ยว และแปรรูปมะพร้าว น้ำหอม ดังนี้ ให้ LBC และ LMC เป็นต้นทุนแรงงานในการเก็บมะพร้าว น้ำหอม จากต้นขึ้นมาไว้บนรถเพื่อเตรียมการขนส่งไปยังโรงงาน ให้ LPC เป็นต้นทุนแรงงานในการแปรรูปมะพร้าว น้ำหอม ของโรงงาน ซึ่งต้นทุนแรงงานรวมทั้งหมดเป็นดังนี้

$$C^{labor} = \sum_{i \in I_k \cup I_{SC}} \sum_{i \in T} LBC \cdot E_i^i + \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in EMDM} \sum_{i \in T} LMC \cdot S_{wi}^i + \sum_{i \in T} LPC \cdot SUM^i$$

สมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำสุด แสดงในสมการที่ (22)

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i \in I_k \cup I_{SC}} \sum_{v \in VM} \sum_{i \in T} TFC_{iv} \cdot N_{iv}^i + \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in EMDM} \sum_{v \in VM} \sum_{i \in T} TMC_{wiv} \cdot M_{wiv}^i \\ & + \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in EMDM} \sum_{b \in E_b} \sum_{v \in VM} \sum_{i \in T} TMBC_{wbv} \cdot O_{wbv}^i + \sum_{w \in EMDM} \sum_{b \in E_b} \sum_{v \in VM} \sum_{i \in T} TMCC_{wbv} \cdot P_{wbv}^i \\ & + \sum_{k \in I_k} \sum_{i \in T} IFC_k \cdot R_k^i + \sum_{w \in EMDM} \sum_{b \in E_b} \sum_{i \in T} IMC_{wb} \cdot X_{wb}^i + \sum_{i \in T} ICC \cdot CON^i \\ & + \sum_{i \in I_k \cup I_{SC}} \sum_{i \in T} LBC \cdot E_i^i + \sum_{i \in I_H \cup I_{HC}} \sum_{w \in EMDM} \sum_{i \in T} LMC \cdot S_{wi}^i \\ & + \sum_{i \in T} LPC \cdot SUM^i \end{aligned} \quad (22)$$

5. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical Results)

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ภาษา AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [8] ในการเขียนแบบจำลองการวางแผนการเก็บเกี่ยว

ขนส่งและแปรรูปมะพร้าว น้ำหอม ซึ่งใช้ซอฟต์แวร์ CPLEX (<http://www.ilog.com>) ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

ผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มผสม ที่ช่วยในการวางแผนต้นทุนการเก็บเกี่ยว ขนส่ง และแปรรูปมะพร้าว น้ำหอม อยู่ที่ 46,261 บาท/ตู้คอนเทนเนอร์ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 10,800.01 วินาที และจากการเก็บข้อมูล พบว่าต้นทุนรวมทั้งหมดก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ซึ่งมีต้นทุนการดำเนินการอยู่ที่ 48,800 บาท/คอนเทนเนอร์ จากผลลัพธ์แบบจำลองสามารถลดต้นทุนการดำเนินการได้ถึง 2,539 บาท/คอนเทนเนอร์ หรือคิดเป็น 5.20% ซึ่งสามารถวางแผนการเก็บเกี่ยวไม่ให้มีมะพร้าว น้ำหอม คงค้างอยู่ในโกดังทั้งของโรงงาน และของพ่อค้าคนกลาง และเมื่อวิเคราะห์ต้นทุนค่าขนส่งมะพร้าว น้ำหอม จากสวนมายังโรงงานพบว่า หากใช้แบบจำลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น สามารถจัดการการขนส่งทั้งระบบการส่งมะพร้าว น้ำหอม ของทั้งโรงงาน และพ่อค้าคนกลางพบว่า ต้นทุนค่าขนส่งรวมจะอยู่ที่ 4,200 บาทต่อการผลิตหนึ่งตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการขนส่งก่อนการใช้แบบจำลองที่ไม่มีการจัดการระบบการขนส่งที่มีประสิทธิภาพจะมีต้นทุนอยู่ที่ 4,800 บาทต่อหนึ่งตู้คอนเทนเนอร์ หรือสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้ 12.50% และสามารถเลือกรูปแบบยานพาหนะที่ใช้ขนส่งมะพร้าว น้ำหอม ให้เหมาะสม ดังนี้ การขนส่งจากสวนของโรงงานใช้รถสิบล้อและรถกระบะในการขนส่ง ส่วนสวนอื่นๆ ใช้รถกระบะในการขนส่งมะพร้าว น้ำหอม เข้าสู่โรงงาน

6. สรุป

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาด้านการจัดการโซ่อุปทาน และโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นกับการแปรรูปมะพร้าว น้ำหอม ในจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งพบว่าปัญหามีอยู่ด้วยกัน 2 ด้านใหญ่ๆ คือ มะพร้าว น้ำหอม ที่ใช้ในการแปรรูปไม่เพียงพอ กับปริมาณที่ลูกค้าสั่งซื้อ และอีกด้านหนึ่ง คือ การเลือกใช้อยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งจากสวนมายังโรงงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำการจัดการโซ่อุปทานมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ คำนึงถึงในด้านการ

วางแผนการเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอม สัดส่วนการแปรรูปให้สอดคล้องกับเวลาและอุปสงค์ของลูกค้า การเลือกใช้ยานพาหนะ ตั้งแต่การเก็บเกี่ยวมะพร้าว น้ำหอมจนถึงผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ โดยการสร้างเป็นแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสม

ซอฟต์แวร์ CPLEX ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์จำนวนเต็มที่เหมาะสมที่สุดคุณภาพผลลัพธ์ของแบบจำลองสูงมาก ค่าผลลัพธ์ของสมการเป้าหมายมีค่าความเผื่อจากค่าที่เหมาะสมที่สุด เพียง 0.05% เท่านั้น และมีต้นทุนการดำเนินการรวม 46,261 บาท/ตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งต่ำกว่าก่อนการใช้แบบจำลองถึง 5.20%

แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นทั้งหมดถูกทดสอบกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว น้ำหอมในจังหวัดสมุทรสาคร ผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าแบบจำลองและผลลัพธ์ที่ผู้วิจัยได้แนะนำไปนั้น สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการตัดสินใจในโซ่อุปทานเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตและแปรรูปของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

สำหรับปัญหาในเรื่องของขนาดของถนนที่ยานพาหนะสามารถวิ่งได้ เป็นอีกงานวิจัยหนึ่งที่ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะดำเนินการต่อ เนื่องจากในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาในงานวิจัยนี้นั้น ยังไม่ได้พิจารณาขนาดถนนที่ยานพาหนะแต่ละขนาดสามารถวิ่งได้ ซึ่งในแต่ละสวนก็มีขนาดถนนแตกต่างกันไป การเลือกใช้ยานพาหนะให้เหมาะสมกับขนาดถนนในการการขนส่งจึงเป็นสิ่งสำคัญอีกด้านหนึ่งที่จะมีส่วนช่วยให้โรงงานสามารถเลือกขนาดยานพาหนะให้เหมาะสมกับถนนด้วยต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดได้เป็นอย่างดี

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Benjamas Rattanachinkorn and Sanatas Nantachai, "The coconut postharvest practices," *Journal of Horticulture Research Institute*, vol. 13, no. 9, pp.77-80, 1991.
- [2] B.M Beamon, "Supply chain design and analysis: models and methods," *International Journal of Production economics*, vol. 55, no. 1, pp.281-294, 1998.
- [3] H. Gunnarsson, M. Ronnqvist, and J.T. Lundgren, "Supply chain modeling of forest fuel," *European journal of Operational research*, vol. 158, pp.103-123, 2004.
- [4] A.M. Blanco, G. Masini, N. Petracci, and J.A. Bandoni, "Operations management of a packaging plant in the fruit industry," *Journal of Food Engineering*, vol. 70, pp. 299-307, 2005.
- [5] E.W. Schuster and S. Allen, "Raw material management at Welch's Inc," *INTERFACE*, vol. 28, no.5, pp. 13-24, 1998.
- [6] J. Mula, D. Peidro, M. Diaz-Madronero, and E. Vicens, "Mathematical programming models for supply chain production and transport planning," *European Journal of Operational Research*, vol. 204, pp.377-390, 2010.
- [7] J. Kamolwan, P. Pimolpan, and J. Auuvall, "Quality changes of burnt aromatic coconut during 28 days storage in different packages," *L WT*, vol. 40, pp.1232-1239, 2007.
- [8] R. Fourer, D.M. Gay, and B.W. Kernighan, *AMPL A Modeling Language for Mathematical Programming (2nd ed.)*, United States: Thomson Learning, 2003.