



KKU Res. J. 2014; 19(1) : 60-74

<http://resjournal.kku.ac.th>

การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางสำหรับโซ่อุปทานเอทานอลของไทย Location of Central Depots for Ethanol Supply Chain in Thailand

โรจน์ หอมชาลี¹ และ วีรพัฒน์ เสริมบุญ^{1*}Rojanee Homchalee¹ and Weerapat Sessomboon^{1*}¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*Correspondent author: weerapatkku@hotmail.com

บทคัดย่อ

เพื่อให้ระบบโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานเอทานอลของไทยมีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและการจัดการโซ่อุปทานเอทานอลของไทยภายในขอบเขตเครือข่ายการกระจายเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังลูกค้าซึ่งเป็นคลังผสมแก๊สโซฮอล์และคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก โดยออกแบบให้มีคลังกลางรวบรวมเอทานอลและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Location-Allocation Model ในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางเอทานอลและการกระจายเอทานอลที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ศึกษาบริบทโซ่อุปทานเอทานอลของไทยโดยการทบทวนวรรณกรรม การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แล้ววิเคราะห์โครงสร้างและตัวขับเคลื่อนโซ่อุปทาน ส่วนการกำหนดตำแหน่งทางเลือกของคลังกลางเอทานอล ใช้การวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means Clustering และ Hierarchical Clustering รวมทั้งตำแหน่งที่เป็นไปได้ตามโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งของประเทศ จากนั้นนำไปเป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางเอทานอลของแบบจำลอง ผลการวิจัย พบว่า ประเทศไทยควรมีคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออกเพียงแห่งเดียว โดยตั้งอยู่แถบท่าเทียบเรือ จ.สมุทรปราการ ส่วนคลังกลางเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศนั้น ควรมี 2 แห่ง คือ ภาควิทยานอกเมืองเหนือ บริเวณรอยต่อ จ.ขอนแก่น และ จ.นครราชสีมา และภาคกลางตอนบน บริเวณ นครสวรรค์ ซึ่งทำให้ได้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด

Abstract

In order to improve efficiency of logistics system of Thai ethanol supply chain, this study aimed to design and manage ethanol supply chain in Thailand from plants to customers, which were gasohol blending and exporting depots. Supply chain network was designed with ethanol central depots. Location-allocation model was developed to locate the central depots and allocate ethanol appropriately, with the objective to minimize total cost. Preliminary, the context of Thai ethanol supply chain was studied by literature review, secondary data collecting and interviews with relevant agencies. Consequently, supply chain structure and supply chain drivers were analyzed. Alternative ethanol central depots were determined using cluster analysis by K-means and hierarchical clustering methods. In addition, other alternative depots were defined by considering geographically possible location along transport infrastructure of the country. Afterward, all alternative depots were used to be decision variables of the model. The results showed that

Thailand should have only one ethanol collection depot for export located along wharfs in Samut Prakan province. However, central depots should be located along the highway between Khon Kaen and Nakhon Ratchasima provinces in the northeast region and Nakhon Sawan province in the upper central region.

คำสำคัญ: เอทานอล โซ่อุปทาน การจัดกลุ่ม แบบจำลองการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและการจัดสรรทรัพยากร

Keywords: ethanol, supply chain, clustering, location-allocation model

1. บทนำ

ประเทศไทย เป็นประเทศหนึ่งของโลกที่มีการผลิต การใช้ และการส่งออกเอทานอล เนื่องจากไทยต้องมีการนำเข้าพลังงาน โดยเฉพาะน้ำมัน ด้วยมูลค่าที่สูงและเพิ่มขึ้นทุกปี รัฐบาลโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน จึงมีการกำหนดนโยบายพัฒนาพลังงานทดแทน ครอบคลุมพลังงานทดแทนหลายด้านรวมทั้งเอทานอล จากนโยบายดังกล่าว ทำให้ประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมเอทานอลอย่างต่อเนื่อง ปี 2556 ประเทศไทยมีโรงงานผลิตเอทานอลทั้งหมด 21 แห่ง กำลังการผลิตรวม 3.89 ล้านลิตรต่อวัน (1) วัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลของไทยคือ กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ในปี 2555 ไทยสามารถผลิตเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิง (Ethanol 99.5%) ได้ถึง 655.56 ล้านลิตร (2) นอกจากนี้ยังมีโรงงานผลิตเอทานอลที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง อีก 3 โรงงาน กำลังการผลิตรวม 1.37 ล้านลิตรต่อวัน ทำให้ภายในปี 2557 ประเทศไทยจะมีกำลังการผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นเป็น 5.26 ล้านลิตรต่อวัน (3)

สำหรับการใช้เอทานอลในรูปของเชื้อเพลิงนั้น ประเทศไทยมีการใช้แก๊สโซฮอล์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในการขนส่งที่เกิดจากการผสมกันระหว่างเอทานอลกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนต่างๆ และสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเบนซินได้ แก๊สโซฮอล์ที่มีใช้ในประเทศไทย ได้แก่ แก๊สโซฮอล์ 91 (E10) แก๊สโซฮอล์ 95 (E10) แก๊สโซฮอล์ E20 และแก๊สโซฮอล์ E85 ปริมาณการใช้แก๊สโซฮอล์ของไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมากและต่อเนื่องทุกปี โดยในปี 2555 ประเทศไทยมีการใช้แก๊สโซฮอล์ รวมทั้งสิ้น 4,454.73 ล้านลิตร (4) นอกจากการใช้ในประเทศแล้ว ไทยยังมีการส่งออกเอทานอลไปยังหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย ซึ่งเอทานอลที่ส่งออก ส่วนใหญ่เป็นเอทานอล

เกรดอุตสาหกรรมที่มีความบริสุทธิ์ไม่เกิน 95% และเป็นเอทานอลที่ไม่ต้องแปลงสภาพก่อนการส่งออก จากข้อมูลของกรมศุลกากร พบว่า ไทยส่งออกเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 80% ขึ้นไป สูงขึ้นเป็นลำดับตั้งแต่ปี 2552 เป็นต้นมา โดยในปี 2555 ส่งออกทั้งสิ้น 321.07 ล้านลิตร ซึ่งสูงกว่าปี 2554 ที่ส่งออกเพียง 132.13 ล้านลิตร โดยประเทศที่นำเข้าเอทานอลจากไทยส่วนใหญ่เป็นฟิลิปปินส์ ญี่ปุ่น เกาหลี และสิงคโปร์ (5)

แม้ว่าจะมีการขยายตัวเป็นอย่างมากทั้งในด้านอุปทานและอุปสงค์สำหรับอุตสาหกรรมเอทานอลของไทย แต่ระบบโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานเอทานอลของไทยกลับยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าโดยเฉพาะเมื่อเทียบกับประเทศบราซิลและสหรัฐอเมริกาที่เป็นผู้นำทั้งในด้านการผลิต การใช้ และการค้าเอทานอล ทั้งสองประเทศมีระบบโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านการรวบรวมและการขนส่ง เนื่องจากมีโครงสร้างพื้นฐานที่ดี ไม่ว่าจะเป็นระบบการขนส่งทางถนน ทางรถไฟ และทางท่อ ซึ่งแตกต่างจากไทยที่ขนส่งเอทานอลทางถนน อีกทั้งขนาดรถบรรทุกยังมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับของทั้งสองประเทศ นอกจากนี้ บราซิลและสหรัฐอเมริกายังมีระบบคลังกลางในการรวบรวมเอทานอลก่อนกระจายไปสู่ลูกค้าปลายทางทำให้ต้นทุนการขนส่งเอทานอลโดยรวมของประเทศต่ำ (6)

ผู้วิจัยจึงได้ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทย พบว่า การพัฒนาและวิวัฒนาการของการจัดการโซ่อุปทาน พิจารณาจากวรรณกรรม 2 ด้าน คือ การบริหารการจัดซื้อและจัดหา (Purchasing and Supply Management) กับการขนส่งและโลจิสติกส์ (Transportation and Logistics) ซึ่งแต่เดิมถูกมองแยกกัน ปัจจุบันถูกรวมเข้าด้วยกันและพิจารณาแบบองค์รวม เรียกว่า Supply Chain Management

(SCM) ซึ่งเป็นมุมมองเชิงยุทธศาสตร์ในการจัดการดำเนินงาน การจัดการวัตถุดิบ และการจัดการโลจิสติกส์ ซึ่งพอสรุปได้ว่า SCM ถูกนำมาใช้ 3 ทางที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ 1) SCM ถูกใช้เพื่อความหมายกับคำว่ากิจกรรมการจัดซื้อและจัดหาของผู้ผลิต 2) SCM ถูกใช้อธิบายฟังก์ชันการทำงานในด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ของผู้ค้าและผู้ค้าปลีก และ 3) SCM ถูกใช้อธิบายกิจกรรมที่เป็น การเพิ่มคุณค่าจากวัตถุดิบไปจนถึงผู้ใช้คนสุดท้าย รวมทั้ง การรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ (7) ในปี 2000 Simon Croom และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างของ SCM ในด้านเนื้อหาหรือหลักการ (Content-oriented Criterion) และด้านวิธีการ (Methodology-oriented Criterion) โดยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับ SCM จากตำรา บทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารต่างๆ และบทความที่เผยแพร่ในการประชุมวิชาการพบว่า โครงสร้างของ SCM ในด้านเนื้อหา แบ่งตามมิติ ได้ 3 แบบ คือ มิติที่ 1 เป็นระดับของการวิเคราะห์ (Level of Analysis) ที่จะวิเคราะห์แบบเป็นคู่ แบบโซ่หรือแบบโครงข่าย มิติที่ 2 เป็นส่วนประกอบหรือปัจจัยในการแลกเปลี่ยน (Element of Exchange) เช่น การแลกเปลี่ยนวัสดุ ทรัพยากร บุคคลหรือแรงงาน ข้อมูลข่าวสาร หรืออื่นๆ และมิติที่ 3 เป็นการพิจารณาทั้ง 2 มิติไปพร้อมกัน (8)

วิธีการที่นำมาใช้ในการจัดการโซ่อุปทานมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการวิเคราะห์ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า เดิมนักวิจัยวิเคราะห์กระบวนการต่างๆ ในโซ่อุปทานแบบแยกเป็นส่วนๆ แต่ปัจจุบันมุ่งความสนใจไปที่การวิเคราะห์ในภาพรวม ซึ่งเชื่อมโยง 2 ส่วน คือ กระบวนการวางแผนการผลิตและการควบคุมสินค้าคงคลัง กับ กระบวนการทางด้านโลจิสติกส์และการกระจายสินค้า ซึ่งสามารถกำหนดตัวแบบโซ่อุปทานได้ 4 แบบ คือ 1) Deterministic Analytical Models ซึ่งเป็นตัวแบบที่สามารถกำหนดหรือทราบค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบได้ 2) Stochastic Analytical Models เป็นตัวแบบที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ โดยจะสมมติหรือประมาณจากการแจกแจงความน่าจะเป็น 3) Economic Models เช่น ทฤษฎีเกม และ 4) Simulation Models ซึ่งเป็นตัวแบบการจำลองสถานการณ์ สำหรับการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบโซ่อุปทานนั้น มีทั้งตัวชี้วัดเชิงคุณภาพ เช่น ความพึงพอใจของลูกค้า ความยืดหยุ่นของระบบหรือกระบวนการ เป็นต้น และตัวชี้วัด

เชิงปริมาณ เช่น ต้นทุนต่ำที่สุด กำไรสูงที่สุด อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงสุด เวลานำต่ำที่สุด อัตราการเติมเต็มสูงที่สุด เป็นต้น (9)

อีกแนวคิดหนึ่งในการออกแบบและการจัดการโซ่อุปทาน ได้กำหนดแนวทางในการออกแบบเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ การพิจารณาตามระดับการตัดสินใจ 3 ระดับ คือ 1) ระดับกลยุทธ์ในการแข่งขัน (Competitive Strategy) เช่น การกำหนดตำแหน่งที่ตั้ง การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นต้น 2) ระดับการวางแผนยุทธวิธี (Tactical Plan) เช่น การควบคุมสินค้าคงคลัง การวางแผนขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น 3) ระดับปฏิบัติการ (Operation Routines) เช่น การจัดตารางการผลิต การจัดตารางการขนส่ง เป็นต้น และการพิจารณาตามโครงสร้างของโซ่อุปทาน ซึ่งประกอบด้วย 1) ชนิดขององค์กรหรือพันธมิตรที่อยู่ภายในโซ่อุปทาน เช่น ผู้ส่งมอบวัตถุดิบ (Suppliers) ผู้ผลิตสินค้า (Manufacturers) ซึ่งถือเป็นองค์กรหลักในโซ่อุปทาน นอกจากนี้ยังมีองค์กรระดับรอง เช่น บริษัทจัดการทางการเงิน ด้านข้อมูลข่าวสาร บริษัทขนส่ง บริษัทที่ปรึกษา เป็นต้น ซึ่งองค์กรประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเป็นผู้จ้างจากภายนอก (Outsource) 2) มิติในเชิงโครงสร้างของเครือข่ายโซ่อุปทาน ได้แก่ โครงสร้างในแนวนอน (Horizontal Structure) หมายความว่าโซ่อุปทานประกอบด้วยองค์กรหรือบริษัทประเภทใดบ้าง เช่น ผู้ผลิตหรือส่งมอบวัตถุดิบ ผู้ผลิตสินค้า ผู้กระจายสินค้าและลูกค้า เป็นต้น และโครงสร้างในแนวตั้ง (Vertical Structure) หมายความว่าองค์กรแต่ละประเภทนั้นมีอยู่กับบริษัท เช่น มีผู้ผลิตวัตถุดิบที่รายมีผู้กระจายสินค้าที่ราย เป็นต้น 3) ลักษณะของความเชื่อมโยงกันขององค์กรภายในโซ่อุปทาน เช่น เชื่อมโยงแบบเข้าไปจัดการได้ (Managed) หรือเชื่อมโยงแบบตรวจติดตาม (Monitored) เป็นต้น สำหรับองค์ประกอบสำคัญของการกำหนดตัวแบบโซ่อุปทาน ได้แก่ ตัวขับเคลื่อนโซ่อุปทาน (Supply Chain Driver) เงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraints) และตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

เนื่องจากการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งเป็นการวางแผนเชิงกลยุทธ์ (Strategic planning) จึงมีความเกี่ยวข้องกับการจัดการโซ่อุปทาน ดังนั้น การตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility Location) จึงมีบทบาทสำคัญในการออกแบบเชิงกลยุทธ์ของเครือข่ายโซ่อุปทาน (Strategic Design of Supply Chain

Networks) มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับตัวแบบการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกในบริบทของการจัดการโซ่อุปทาน ซึ่งระบุลักษณะเบื้องต้นของตัวแบบที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนโซ่อุปทานเชิงกลยุทธ์ (Strategic Supply Chain Planning) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบูรณาการการตัดสินใจกำหนดตำแหน่งที่ตั้งกับการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน ผลงานที่สำคัญและโดดเด่นได้ถูกสำรวจและรวบรวมมาจากการพิจารณาด้วยปัจจัยต่างๆ มากมาย รวมทั้งการทบทวนเกี่ยวกับตัวชี้วัดสมรรถนะโซ่อุปทาน (Supply Chain Performance Measures) และเทคนิควิธีที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Techniques) รวมทั้งการประยุกต์ใช้ตัวแบบการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมต่างๆ (10)

Klose and Drexl (11) ได้จำแนกตัวแบบกำหนดตำแหน่งที่ตั้งสิ่งอำนวยความสะดวก โดยพิจารณาจากหลายลักษณะ เช่น 1) ตัวแบบจากรูปร่างหรือโครงสร้างทางภูมิประเทศ ซึ่งเป็นการทำแผนที่ของกลุ่มโรงงานที่เป็นไปได้ในแนวระนาบ ตัวแบบตำแหน่งที่ตั้งของเครือข่าย (Network Location Models) และการหาตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่ต่อเนื่องหรือตัวแบบการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Discrete Location or Mixed Integer Programming Models) ตามลำดับ 2) ตัวแบบที่ไม่กำหนดข้อจำกัดหรือไม่พิจารณาทางด้านปริมาณสูงสุดที่รับได้ (Models without Capacity Constraints) จะไม่จำกัดปริมาณการจัดสรรตามความต้องการ แต่ถ้าพิจารณาปริมาณสูงสุดที่รับได้ (Models with Capacity Constraints) จะมีการจัดสรรอย่างระมัดระวังให้เป็นไปตามความต้องการ ต่อมาในระยะหลังได้มีการเพิ่มการพิจารณาว่าเป็นการหาแหล่งที่ตั้งแห่งเดียวหรือหลายแห่ง (Single-sourcing or Multiple-sourcing) 3) ตัวแบบแบบขั้นตอนเดียว (Single-stage Models) มุ่งหาคำตอบของระบบการกระจายที่ครอบคลุมเฉพาะตอนเดียว ส่วนตัวแบบแบบหลายขั้น (Multi-stage Models) การไหลของสินค้าจะมีหลายขั้น เป็นต้น

มีการประยุกต์ใช้การโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) ของตัวแบบแบบ Location-Allocation Model ซึ่งมีทั้งการตัดสินใจในการกำหนด

ตำแหน่งที่ตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกและการจัดสรรทรัพยากร ในการออกแบบโซ่อุปทานและการจัดการโลจิสติกส์เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น การออกแบบโซ่อุปทานและการจัดการโลจิสติกส์ที่เหมาะสมของโรงกลั่นชีวภาพ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์จากขอบเขตชีวมวลถึงโรงกลั่นชีวภาพ (Biomass-to-Biorefinery) ด้วยการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เกิดต้นทุนโดยรวมต่ำสุด โดยมีคำตอบใน 2 ลักษณะคือ 1) รูปแบบโซ่อุปทานที่เหมาะสมสำหรับการตัดสินใจในระยะยาว ซึ่งได้แก่ จำนวน กำลังการผลิต และตำแหน่งของโรงกลั่นชีวภาพ จำนวนและตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกในการรวบรวมชีวมวล ขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวชีวมวลที่ส่งให้แก่จตุรบรรณ เป็นต้น และ 2) การจัดการโลจิสติกส์ที่เหมาะสมสำหรับการตัดสินใจในระยะกลางและระยะสั้นได้แก่ ปริมาณชีวมวลที่รวบรวมขนส่ง จัดเก็บ และนำเข้าผลิต ปริมาณเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้ ปริมาณที่จัดเก็บ และปริมาณที่ขนส่ง เป็นต้น (12) มีผลงานวิจัยหนึ่ง ได้ทำการศึกษาเพื่อวางแผนระบบโซ่อุปทานเชื้อเพลิงชีวภาพในอนาคตให้ตอบสนองต่อความต้องการ โดยพิจารณาทรัพยากรและเทคโนโลยีต่างๆ ไปพร้อมกัน งานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบ Multistage MILP ซึ่งเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีการบูรณาการระหว่างการกระจายตัวทางภูมิศาสตร์ของที่ตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระบบโซ่อุปทาน กับการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของความต้องการ โดยมีมิติด้านภูมิศาสตร์เป็นการพิจารณาการกระจายตัวของแหล่งวัตถุดิบ แหล่งความต้องการ และโครงสร้างพื้นฐานในการผลิตและขนส่ง ส่วนมิติด้านเวลาเป็นการพิจารณาการขยายตัวของโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ในระยะยาว ในการวางแผนโซ่อุปทานได้กำหนดให้ตัวแบบทำการหาค่าเหมาะสมและตัดสินใจในทุกๆ 1 ปี ผลลัพธ์ที่ได้เป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับการเปิดโรงกลั่นเอทานอล โดยขยายตามลำดับเวลาที่กำหนด และได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับปริมาณวัตถุดิบที่จัดหาและขนส่งจากไร่มายังโรงกลั่น รวมทั้งปริมาณการผลิตและกระจายเอทานอล (13)

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับหลักการการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน รวมทั้งการประยุกต์ใช้วิธีการต่างๆ ในการออกแบบหรือกำหนดตัวแบบโซ่อุปทาน โดยเฉพาะการใช้การโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยจึงได้

นำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและการจัดการโซ่อุปทานเอทานอลของไทยจากโรงงานผลิตไปถึงลูกค้า (Plants-to-Customers) โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางรวบรวมเอทานอลและการกระจายเอทานอลที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทย จากโรงงานผลิตไปยังลูกค้า โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางเอทานอลและการกระจายเอทานอลที่เหมาะสม ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบ Location-Allocation Model โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด

ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้มีการศึกษาบริบทโซ่อุปทานเอทานอลของไทย โดยการทบทวนวรรณกรรม การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยหน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กรมธุรกิจพลังงาน กรมสรรพสามิต กรมศุลกากร และสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย หน่วยงานเอกชนประกอบด้วย สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย โรงงานผลิตเอทานอลจำนวน 8 แห่ง จากจำนวนทั้งสิ้น 19 แห่งในปี 2555 ซึ่งแบ่งเป็นโรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 5 แห่ง โรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง 2 แห่ง และโรงงานผลิตเอทานอลจากน้ำอ้อย 1 แห่ง ซึ่งเป็นไปตามสัดส่วนจำนวนโรงงานแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังได้สัมภาษณ์ข้อมูลจากผู้ประกอบการขนส่งเอทานอล 3 บริษัทจากจำนวน 5 บริษัทที่เป็นรายใหญ่ ผู้ให้บริการรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก 1 บริษัทจากจำนวน 2 บริษัท และผู้ค้าน้ำมันเชื้อเพลิงรายใหญ่จำนวน 4 บริษัท

ผลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลและการสัมภาษณ์นำมาวิเคราะห์โครงสร้างและการไหลภายในโซ่อุปทาน รวมทั้ง ตัวขับเคลื่อนโซ่อุปทานต่างๆ เช่น ชนิดและราคา

วัตถุดิบ ต้นทุนการดำเนินงานของโรงงาน ราคาเอทานอลในประเทศและราคาส่งออก รวมทั้งปริมาณการใช้เอทานอลในประเทศและปริมาณการส่งออก เป็นต้น ทั้งนี้ต้นทุนการดำเนินงานของโรงงานผลิตเอทานอล ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-based Costing) ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการจัดซื้อจัดหาและการจัดเก็บวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิตและการจัดเก็บเอทานอล และต้นทุนการบริหารจัดการ โดยวิเคราะห์ร่วมกับตัวแทนจากแผนกต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของทางโรงงาน สำหรับต้นทุนการขนส่งเอทานอล วิเคราะห์โดยพิจารณาแบบต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร จากข้อมูลประกอบด้วยสินทรัพย์รถบรรทุกและแท้งค์บรรจุเอทานอลพร้อมอุปกรณ์ประกอบต่างๆ เงินเดือนและเบี้ยเลี้ยงพนักงานขับรถ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและบริหารจัดการ ระยะทาง ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง และปริมาณเอทานอลที่ขนส่งของผู้ประกอบการขนส่ง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาต้นทุนการดำเนินงานของคลังกลางรวบรวมเอทานอลโดยเทียบเคียงกับต้นทุนการบริหารจัดการคลังน้ำมันของผู้ค้าน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากมีสิ่งอำนวยความสะดวกและรูปแบบการดำเนินงานคล้ายกัน ซึ่งค่าของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ได้ถูกนำมาเป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้

สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทยนั้น ได้กำหนดให้มีคลังกลางรวบรวมเอทานอล โดยตำแหน่งทางเลือกของคลังกลางรวบรวมเอทานอลได้จากการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) ด้วยวิธี K-means Clustering และ Hierarchical Clustering โดยพิจารณาจากพิกัดของโรงงานผลิตเอทานอล คลังผสมแก๊สโซฮอล์ และคลังให้เข้าเพื่อรวบรวมเอทานอลสำหรับการส่งออก และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS statistics 17.0 นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งทางเลือกที่เป็นไปได้ของคลังกลาง รวบรวมเอทานอล ตามโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งของประเทศ ทั้งทางถนนและทางรถไฟ จากนั้นนำตำแหน่ง ทางเลือกทั้งหมดไปเป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับการกำหนดตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอลของแบบจำลอง และใช้โปรแกรม LINGO 11.0 ในการหาผลเฉลยของแบบจำลอง รวมทั้งวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยผันแปรค่าพารามิเตอร์ทั้งต้นทุนการดำเนินงานของคลังกลางเอทานอล ต้นทุนการขนส่ง

เอทานอลทางถนนและทางราง รวมทั้งความต้องการเอทานอลทั้งภายในประเทศและการส่งออก

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 เครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทย

จากการทบทวนวรรณกรรม การรวบรวมข้อมูล ทุติยภูมิและการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในภาครัฐและเอกชน แล้ววิเคราะห์โครงสร้างโซ่อุปทานเอทานอลของไทยในปัจจุบัน พบว่า โซ่อุปทานเอทานอลของไทยมีความซับซ้อน มีโครงสร้างในแนวนอน (Horizontal Structure) ประกอบด้วยองค์กรหรือบริษัทประเภทต่างๆ ทั้งผู้ผลิตวัตถุดิบจำพวกมันสำปะหลังและอ้อย ผู้รวบรวมวัตถุดิบ โรงงานน้ำตาลซึ่งเป็นผู้ผลิตกากน้ำตาลที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ผู้ขนส่งวัตถุดิบ โรงงานผลิตเอทานอล ผู้ประกอบการขนส่งเอทานอล ไปจนถึงบริษัทผู้ค้าน้ำมันที่เป็นผู้ผลิตแก๊สโซฮอล์จากเอทานอลซึ่งถือเป็นลูกค้า รวมทั้งผู้ให้บริการสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการส่งออก เป็นต้น นอกจากนี้ตามโครงสร้างในแนวตั้ง (Vertical Structure) องค์กรแต่ละประเภทก็มีจำนวนมากด้วย

เมื่อพิจารณาเฉพาะเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทยจากโรงงานผลิตเอทานอลไปยังลูกค้า พบว่า โรงงานส่วนใหญ่ตั้งกระจายอยู่ในภาคกลางและตะวันตก จำนวน 10 โรงงาน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 6 โรงงาน และภาคตะวันออก 5 โรงงาน ส่วนลูกค้าคือผู้ค้าน้ำมันซึ่ง

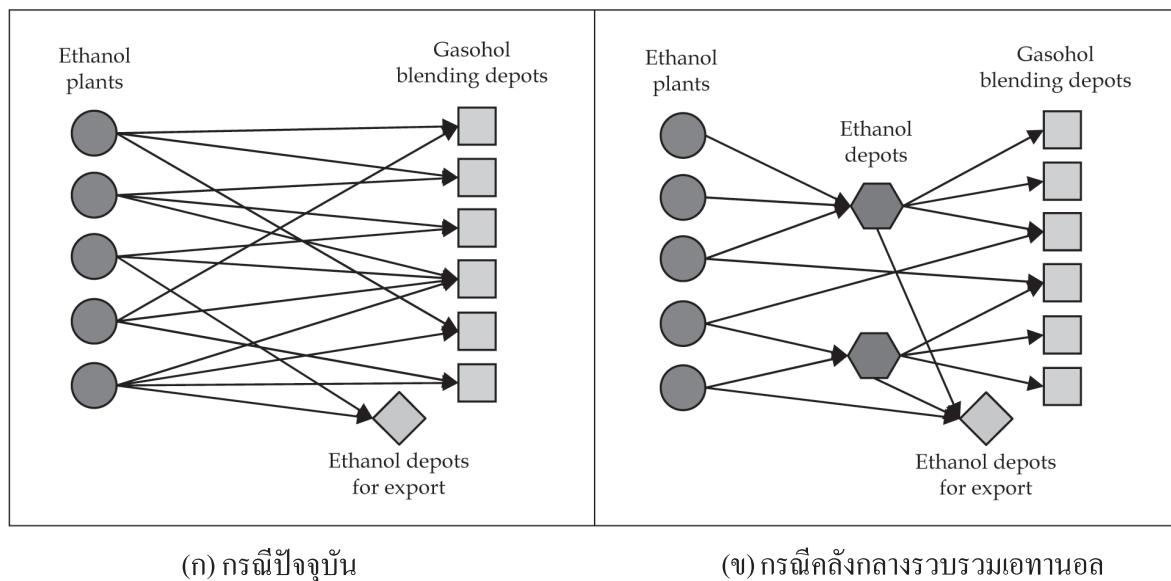
รับเอทานอลจากโรงงานมายังคลังน้ำมันและโรงกลั่นน้ำมันที่มีระบบผสมแก๊สโซฮอล์ ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ที่กรุงเทพฯและปริมณฑล จำนวน 16 คลัง และรองลงมาคือภาคตะวันออกจำนวน 9 คลัง รวมทั้งคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก ต้นทุนรวมของโซ่อุปทานในปัจจุบันจากโรงงานผลิตเอทานอลไปยังลูกค้า ประกอบไปด้วย ต้นทุนการดำเนินงานของโรงงาน และต้นทุนการขนส่งและกระจายเอทานอลจากโรงงานไปยังลูกค้า ในส่วนของต้นทุนการดำเนินงานของโรงงานนั้นแตกต่างกันสำหรับโรงงานแต่ละประเภท ได้แก่ โรงงานที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ โรงงานที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ และโรงงานที่ใช้น้ำอ้อยเป็นวัตถุดิบ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 ส่วนการขนส่งเอทานอลนั้นเป็นการขนส่งทางถนนด้วยรถบรรทุกเป็นหลัก ต้นทุนการขนส่งจึงมาจากต้นทุนคงที่ของสินทรัพย์ที่เป็นรถบรรทุกเทรลเลอร์ขนาด 22 ล้อ และแท่งบรรทุกเอทานอลขนาด 42,000 ลิตร รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ต้นทุนค่าจ้างหรือค่าตอบแทนพนักงานขับรถ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและบริหารจัดการ และต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการเดินรถ เป็นต้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 0.00086 บาทต่อลิตรต่อกิโลเมตร

3.2 การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทย

เครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทยในปัจจุบันจากโรงงานผลิตไปยังลูกค้าเป็นการขนส่งเอทานอลโดยตรงจากโรงงานไปยังลูกค้า โดยไม่มีคลังกลางในการรวบรวม

ตารางที่ 1. ต้นทุนการดำเนินงานโดยเฉลี่ยของโรงงานผลิตเอทานอลของไทย

ชนิดต้นทุน	โรงงานที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ		โรงงานที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ		โรงงานที่ใช้น้ำอ้อยเป็นวัตถุดิบ	
	ต้นทุน	สัดส่วน	ต้นทุน	สัดส่วน	ต้นทุน	สัดส่วน
	(บาท/ลิตร)		(บาท/ลิตร)		(บาท/ลิตร)	
ต้นทุนวัตถุดิบ	15.397	70.3%	15.451	66.2%	11.875	56.5%
ต้นทุนการจัดซื้อจัดหาวัตถุดิบ	0.038	0.2%	0.033	0.1%	3.041	14.5%
ต้นทุนการจัดเก็บวัตถุดิบ	0.130	0.6%	0.191	0.8%	0.084	0.4%
ต้นทุนการผลิตเอทานอล	4.782	21.8%	5.783	24.8%	2.000	9.5%
ต้นทุนการจัดเก็บเอทานอล	0.059	0.3%	0.158	0.7%	0.240	1.1%
ต้นทุนการบริหารจัดการ	1.495	6.8%	1.725	7.4%	3.760	17.9%
รวม	21.900	100.0%	23.340	100.0%	21.000	100.0%



รูปที่ 1. แผนภาพจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทยภายในขอบเขตจากโรงงานผลิตไปถึงลูกค้า

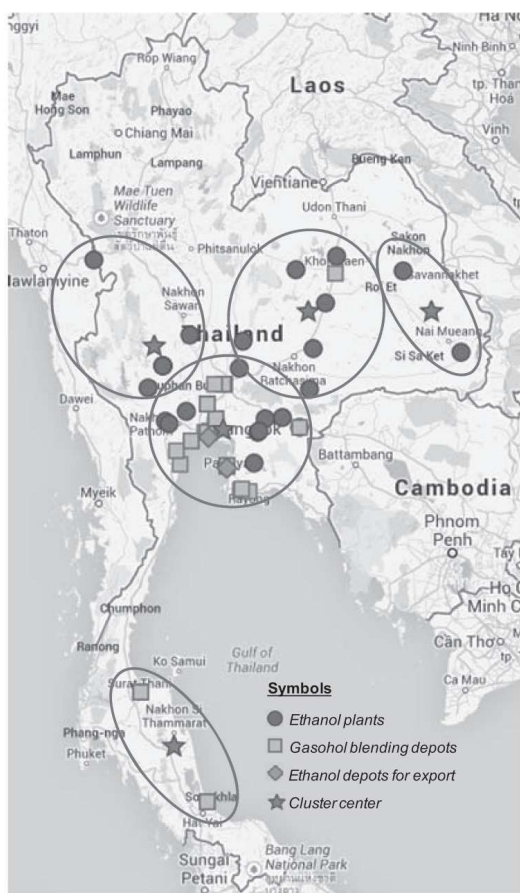
เอทานอล ดังแผนภาพจำลองในรูปที่ 1(ก) อีกทั้งเอทานอลยังถูกจัดสรรส่งไปยังลูกค้าทั้งที่อยู่ใกล้และไกลจากตำแหน่งที่ตั้งของโรงงาน ทำให้ต้นทุนโดยรวมในการขนส่งสูง ผู้วิจัยได้ออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานโดยกำหนดให้มีคลังกลางในการรวบรวมเอทานอล ดังแผนภาพจำลองในรูปที่ 1(ข)

และจากการใช้วิธี K-means Clustering และ Hierarchical Clustering ในการกำหนดตำแหน่งทางเลือกสำหรับคลังกลางรวบรวมเอทานอล จำนวน 3-5 กลุ่ม พบว่าวิธี K-means Clustering ให้ระยะทางรวมจากทุกสมาชิกภายในกลุ่มกับจุดศูนย์กลางกลุ่ม น้อยกว่าวิธี Hierarchical Clustering และการกำหนดจำนวนกลุ่ม 5 กลุ่ม ยังให้ระยะทางรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 7,949.48 กิโลเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดตำแหน่งทางเลือก 5 ตำแหน่ง จากวิธี K-means Clustering ดังรูปที่ 2(ก) แต่ทั้งนี้ กลุ่มที่อยู่ทางภาคใต้ซึ่งมีเฉพาะคลังผสมแก๊สโซฮอล์โดยไม่มีโรงงานผลิตเอทานอล จึงไม่จำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอล รวมทั้งกลุ่มที่มีคลังผสมแก๊สโซฮอล์อยู่ภายในกลุ่มมากซึ่งเป็นกลุ่มที่อยู่แถบกรุงเทพฯ และปริมณฑล ก็ไม่จำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอล เช่นเดียวกัน โดยโรงงานผลิตเอทานอลที่อยู่ภายในกลุ่มสามารถขนส่งเอทานอลมายังคลังผสมแก๊สโซฮอล์เหล่านี้ได้โดยตรง จึงกำหนดตำแหน่งทางเลือกสำหรับตั้ง

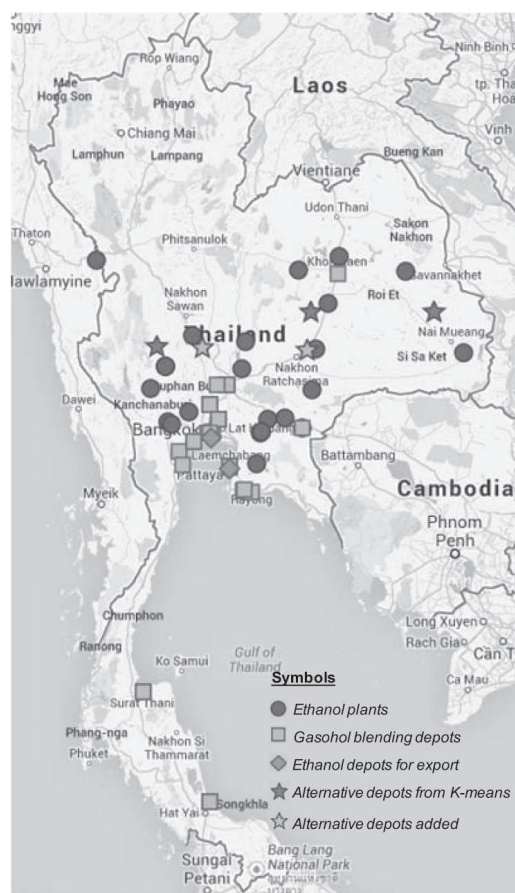
คลังกลางรวบรวมเอทานอลจากวิธีนี้เพียง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ 1) ต.เมืองการุ้ง อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี 2) ต.ท่าวัด อ.เวียงน้อย จ.ขอนแก่น และ 3) ต.เคิ่งใหญ่ อ.หัวตะพาน จ.อำนาจเจริญ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พิจารณาตามโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งทางถนนสายหลักของประเทศและทางรถไฟ ทำให้ได้ตำแหน่งทางเลือกสำหรับกำหนดคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพิ่มเติมอีก 2 ตำแหน่ง ได้แก่ 1) ต.คอนหวาย อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา และ 2) ต.ช่องแค อ.ตาดลิ จ.นครสวรรค์ รวมทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2(ข)

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทยกรณีมีคลังกลางรวบรวมเอทานอล

เครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทยที่ออกแบบประกอบด้วย โรงงานผลิตเอทานอลจำนวน 21 แห่งซึ่งเท่ากับจำนวนโรงงานที่เปิดดำเนินการแล้วในปัจจุบัน คลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก 2 แห่งซึ่งกำหนดตำแหน่งตามที่ตั้งคลังให้เข้าเพื่อรวบรวมเอทานอลสำหรับส่งออก ในปัจจุบัน คลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อกระจายภายในประเทศ 5 แห่ง ซึ่งเป็นคลังทางเลือกที่กำหนดที่ตั้งได้ดังกล่าวมาแล้ว และลูกค้าซึ่งเป็นคลังผสมแก๊สโซฮอล์จำนวน 37 แห่ง เพื่อกำหนดตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอลและการกระจายเอทานอลที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอล



(ก) ตำแหน่งทางเลือกของคลังกลางจากวิธี
K-means Clustering



(ข) ตำแหน่งทางเลือกทั้งหมดของคลังกลาง

รูปที่ 2. ตำแหน่งทางเลือกสำหรับคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศ

ของไทย ภายในขอบเขตจากโรงงานผลิตเอทานอลไปถึงลูกค้า ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบ Location-Allocation Model โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมทั้งปีต่ำที่สุด ดังสมการ (1) ทั้งนี้ต้นทุนรวมดังกล่าวประกอบไปด้วย ต้นทุนการดำเนินงานของโรงงานผลิตเอทานอลซึ่งไม่รวม ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนการดำเนินงานของคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อส่งออกและคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อกระจายภายในประเทศ และต้นทุนการขนส่งเอทานอล โดยแบบจำลองมีตัวแปรตัดสินใจและพารามิเตอร์ ดังนี้:

- I คือ จำนวนโรงงานผลิตเอทานอล
- J คือ จำนวนคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก
- K คือ จำนวนลูกค้าหรือคลังผสมแก๊สโซฮอล์
- L คือ จำนวนคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศ
- i คือ โรงงานผลิตเอทานอล โดยที่ $i = 1, \dots, I$

j คือ คลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก โดยที่ $j = 1, \dots, J$

k คือ ลูกค้าหรือคลังผสมแก๊สโซฮอล์ โดยที่ $k = 1, \dots, K$

l คือ คลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศ โดยที่ $l = 1, \dots, L$

ตัวแปรตัดสินใจ:

- E_j คือ ตัวแปรในการกำหนดตำแหน่ง โดย เท่ากับ 1 เมื่อคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก j ถูกจัดตั้งขึ้นและเท่ากับ 0 เมื่อไม่ถูกจัดตั้ง
- D_l คือ ตัวแปรในการกำหนดตำแหน่ง โดย เท่ากับ 1 เมื่อคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศ l ถูกจัดตั้งขึ้น และเท่ากับ 0 เมื่อไม่ถูกจัดตั้ง

Pr_i คือ ปริมาณเอทานอลทั้งหมดที่ผลิตโดยโรงงาน i

Se_i^P คือ ปริมาณเอทานอลที่จัดเก็บในโรงงาน i

Se_j^E คือ ปริมาณเอทานอลที่จัดเก็บในคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก j

Se_l^D คือ ปริมาณเอทานอลที่จัดเก็บในคลังกลางรวบรวมเอทานอล l

Tr_{il}^{PD} คือ ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งจากโรงงาน i ไปคลังกลางรวบรวมเอทานอล l

Tr_{ik}^{PC} คือ ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งจากโรงงาน i ไปยังลูกค้า k

Tr_{lk}^{DC} คือ ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งจากคลังกลางรวบรวมเอทานอล l ไปยังลูกค้า

Tr_{ij}^{PE} คือ ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งจากโรงงาน i ไปคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก j

Tr_{ij}^{DE} คือ ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งจากคลังกลางรวบรวมเอทานอล l ไปยังคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก

พารามิเตอร์:

Cp_i คือ ต้นทุนการดำเนินงานต่อหน่วยของโรงงานผลิตเอทานอลที่ i

Ce_j คือ ต้นทุนการดำเนินงานรายปีของคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก j

Cd_l คือ ต้นทุนการดำเนินงานรายปีของคลังกลางรวบรวมเอทานอล l

Ct_1 คือ ต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางถนน

Ct_2 คือ ต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางราง

d_{il}^{PD} คือ ระยะทางระหว่างโรงงานผลิตเอทานอล i กับคลังกลางรวบรวมเอทานอล l

d_{ik}^{PC} คือ ระยะทางระหว่างโรงงานผลิตเอทานอล กับลูกค้า k

d_{lk}^{DC} คือ ระยะทางระหว่างคลังกลางรวบรวมเอทานอล l กับลูกค้า k

d_{ij}^{PE} คือ ระยะทางระหว่างโรงงานผลิตเอทานอล i กับคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก j

d_{lj}^{DE} คือ ระยะทางระหว่างคลังกลางรวบรวมเอทานอล l กับคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก

$PrCap_i$ คือ กำลังการผลิตของโรงงานผลิตเอทานอล i

$EpCap_i$ คือ จีดีความสามารถในการจัดเก็บเอทานอลของโรงงานผลิตเอทานอล

$EeCap_j$ คือ จีดีความสามารถในการจัดเก็บเอทานอลของคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก j

$EdCap_l$ คือ จีดีความสามารถในการจัดเก็บเอทานอลของคลังกลางรวบรวมเอทานอล l

Dm_k^C คือ ความต้องการเอทานอลของลูกค้า k

DmE คือ ความต้องการเอทานอลจากต่างประเทศ

M คือ จำนวนจริงที่มีค่ามากพอ (Positive Large Number)

โดยที่ต้นทุนการดำเนินงานรายปีของคลังกลางรวบรวมเอทานอลและคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก กำหนดเท่ากับ 8 ล้านบาทต่อปี ซึ่งเทียบเท่าต้นทุนการดำเนินงานของคลังน้ำมันในปัจจุบัน โดยกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 10 ล้านลิตรเท่ากันทุกคลังทางเลือก สำหรับต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางถนน เท่ากับ 0.00086 ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์และการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้ประกอบการขนส่งเอทานอล ส่วนต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางราง เท่ากับ 0.00043 บาทต่อลิตรต่อกิโลเมตร ซึ่งปรับปรุงจากผลการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (14) และการศึกษาของมูลนิธิเพื่อสถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (6) สำหรับความต้องการใช้เอทานอลในประเทศและการส่งออก ผู้วิจัยใช้ข้อมูลของปี 2555 ซึ่งประมาณ 509 และ 320 ล้านลิตร ตามลำดับ

Objective function:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & \left\{ \left(\sum_{i=1}^I Cp_i Pr_i + \sum_{j=1}^J Ce_j E_j + \sum_{l=1}^L Cd_l D_l \right) \right. \\ & \left. + \left(Ct_1 \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I d_{il}^{PD} Tr_{il}^{PD} + Ct_1 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I d_{ik}^{PC} Tr_{ik}^{PC} + Ct_2 \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L d_{lk}^{DC} Tr_{lk}^{DC} \right. \right. \\ & \left. \left. + Ct_1 \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I d_{ij}^{PE} Tr_{ij}^{PE} + Ct_2 \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L d_{lj}^{DE} Tr_{lj}^{DE} \right) \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

Subject to:

$$Pr_i = 80\% PrCap_i \quad ; \forall i \quad (2)$$

$$Pr_i \geq \sum_{l=1}^L Tr_{il}^{PD} + \sum_{j=1}^J Tr_{ij}^{PE} + \sum_{k=1}^K Tr_{ik}^{PC} \quad ; \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I Pr_i \geq \sum_{k=1}^K Dm_k^C + DmE \quad (4)$$

$$Se_i^P \leq EpCap_i \quad ; \forall i \quad (5)$$

$$Se_j^E \leq EeCap_j \quad ; \forall j \quad (6)$$

$$Se_l^D \leq EdCap_l \quad ; \forall l \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^I Tr_{ik}^{PC} + \sum_{l=1}^L Tr_{lk}^{DC} = Dm_k^C \quad ; \forall k \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J Tr_{ij}^{PE} + \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J Tr_{lj}^{DE} = DmE \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I Tr_{il}^{PD} = \sum_{k=1}^K Tr_{lk}^{DC} + \sum_{j=1}^J Tr_{lj}^{DE} \quad ; \forall l \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^I Tr_{ij}^{PE} + \sum_{l=1}^L Tr_{lj}^{DE} \leq M \times E_j \quad ; \forall j \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^I Tr_{il}^{PD} \leq M \times D_l \quad ; \forall l \quad (12)$$

$$Pr_i \geq 0 \quad ; \forall i \quad (13)$$

$$Se_i^P, Se_j^E, Se_l^D \geq 0 \quad ; \forall i, \forall j, \forall l \quad (14)$$

$$Tr_{il}^{PD}, Tr_{ik}^{PC}, Tr_{lk}^{DC}, Tr_{ij}^{PE}, Tr_{lj}^{DE} \geq 0 \quad ; \forall i, \forall j, \forall k, \forall l \quad (15)$$

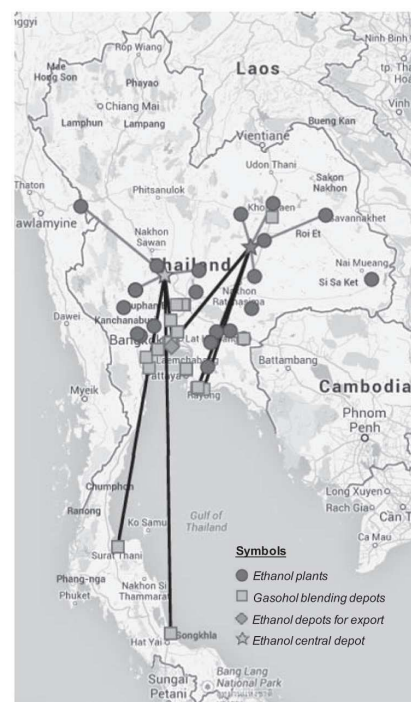
$$D_l, E_j \in \{0, 1\} \quad ; \forall j, \forall l \quad (16)$$

เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของแบบจำลองดังสมการ (2) แสดงให้เห็นว่าปริมาณการผลิตเอทานอลเท่ากับ 80% ของกำลังการผลิตของโรงงาน ซึ่งเทียบเคียงกับสถานการณ์จริงในปัจจุบัน ส่วนสมการ (3) แสดงถึงปริมาณเอทานอลที่ขนส่งออกจากแต่ละโรงงานต้องไม่มากไปกว่าที่ผลิตได้ และปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ทั้งหมดต้องสามารถตอบสนองความต้องการทั้งในประเทศและส่งออกได้ ดังสมการ (4) สำหรับสมการ (5)-(7) เป็นการประกันว่าโรงงานผลิตคลังรวบรวมเพื่อการส่งออกและคลังกลางรวบรวมเอทานอลมีขีดความสามารถในการจัดเก็บเอทานอล ทั้งนี้ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งให้แก่ลูกค้าต้องเท่ากับความต้องการของลูกค้าดังสมการ (8) และปริมาณเอทานอลที่ขนส่งให้แก่คลังรวบรวมเพื่อการส่งออกต้องเท่ากับความต้องการเอทานอลรวมจากลูกค้าต่างประเทศดังสมการ (9) ส่วนสมการ (10) แสดงถึงสมดุลปริมาณเอทานอลที่เข้าและออกคลังกลางรวบรวมเอทานอล สำหรับสมการ (11)-(12) เป็นการกำหนดให้ปริมาณเอทานอลทั้งหมดที่ขนส่งเข้าคลังรวบรวมเพื่อการส่งออกและคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อกระจายภายในประเทศเท่ากับจำนวนจริงที่มีค่ามากพอ (Positive Large Number)

3.4 ผลเฉลยของแบบจำลองและรูปแบบการจัดการที่เหมาะสมของเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทย

เมื่อออกแบบให้มีการกำหนดคลังกลางรวบรวมเอทานอลในระบบโซ่อุปทานเอทานอลของไทย ผลเฉลยของแบบจำลองให้ต้นทุนโดยรวมทั้งปีต่ำที่สุด 6,803.8 ล้านบาท โดยปริมาณการผลิตเอทานอลเท่ากับ 933.6 ล้านลิตร จากการกำหนดให้ผลิตเท่ากับ 80% ของกำลังการผลิต ผลการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งพบว่ากำหนดให้จัดตั้งคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออกบริเวณท่าเทียบเรือ จ.สมุทรปราการ ส่วนคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อกระจายภายในประเทศมี 2 แห่ง คือที่ ต.ท่าวัด อ.แวงน้อย จ.ขอนแก่น และที่ ต.ช่องแค อ.ตาคี จ.นครสวรรค์ สำหรับผลการจัดสรรเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังกลางรวบรวมเอทานอล คลังรวบรวมเพื่อการส่งออกและคลังผสมแก๊สโซฮอล์ และการจัดสรรจากคลังกลางรวบรวมเอทานอลไปยังคลังรวบรวมเพื่อการส่งออกและคลังผสมแก๊สโซฮอล์ พบว่า

เอทานอลที่ผลิตในโรงงานแถบภาคภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะถูกจัดสรรไปยังคลังกลางที่ จ.ขอนแก่น โดยมีเพียง 1 โรงงาน ที่ส่งเอทานอลโดยตรงให้แก่คลังผสมแก๊สโซฮอล์ที่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เอทานอลที่ผลิตในโรงงานในภาคตะวันออกถูกจัดสรรให้คลังผสมแก๊สโซฮอล์ที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกและคลังผสมแก๊สโซฮอล์ตั้งอยู่แถบกรุงเทพฯและจังหวัดใกล้เคียง สำหรับเอทานอลที่ผลิตในโรงงานแถบภาคตะวันตกและภาคกลาง จะถูกจัดสรรโดยตรงไปยังคลังผสมแก๊สโซฮอล์ที่ตั้งอยู่แถบกรุงเทพฯและจังหวัดใกล้เคียง และบางส่วนก็ถูกจัดสรรไปคลังกลางที่ จ.นครสวรรค์ โดยไม่มีการจัดสรรเอทานอลโดยตรงจากโรงงานไปยังคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก ทั้งนี้คลังกลางเอทานอลที่ จ.ขอนแก่น มีการส่งต่อเอทานอลไปยังคลังรวบรวมเพื่อการส่งออกและคลังผสมแก๊สโซฮอล์ในภาคตะวันออกและที่ตั้งอยู่แถบกรุงเทพฯและจังหวัดใกล้เคียงสำหรับคลังกลางเอทานอลที่ จ.นครสวรรค์ มีการส่งต่อเอทานอลไปยังคลังรวบรวมเพื่อการส่งออกและคลังผสมแก๊สโซฮอล์ในภาคใต้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2 และ 3 ทั้งนี้ รูปแบบการจัดสรรเอทานอลผ่านคลังกลางแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3.

ผลการกำหนดตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อกระจายภายในประเทศและคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อส่งออก และการจัดสรรเอทานอลผ่านคลังกลาง

ตารางที่ 2. ผลการจัดสรรเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังกลางรวบรวมเอทานอล คลังรวบรวมเพื่อการส่งออก และคลังผสมแก๊สโซฮอล์

หน่วย: ล้านลิตร

โรงงานผลิตเอทานอล	คลังรวบรวม เพื่อการส่งออก (สมุทรปราการ)	คลังกลางรวบรวมเอทานอล		คลังผสมแก๊สโซฮอล์				รวม
		ขอนแก่น	นครสวรรค์	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	กรุงเทพฯ และ จังหวัดใกล้เคียง	ภาคใต้	
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	-	180.8	-	12.2	-	-	-	193.0
ภาคตะวันออก	-	-	-	-	36.0	132.0	-	168.0
ภาคตะวันตกและภาคกลาง	-	-	252.6	-	-	215.3	-	467.9
รวม	-	180.8	252.6	12.2	36.0	347.3	-	828.9

ตารางที่ 3. ผลการจัดสรรเอทานอลจากคลังกลางรวบรวมเอทานอลไปยังคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก และคลังผสมแก๊สโซฮอล์

หน่วย: ล้านลิตร

คลังกลาง รวบรวมเอทานอล	คลังรวบรวม เพื่อการส่งออก (สมุทรปราการ)	คลังผสมแก๊สโซฮอล์				รวม
		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	กรุงเทพฯ และ จังหวัดใกล้เคียง	ภาคใต้	
ขอนแก่น	100.0	-	35.6	45.2	-	180.8
นครสวรรค์	220.0	-	-	-	32.5	252.5
รวม	320.0	-	35.6	45.2	32.5	433.3

3.5 ผลการวิเคราะห์ความไว

นอกจากหาผลเฉลยของแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยยังได้วิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของแบบจำลองโดยผันแปรค่าพารามิเตอร์ทั้งต้นทุนการดำเนินงานของคลังกลางเอทานอล ต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางถนนและทางราง รวมทั้งความต้องการเอทานอลภายในประเทศและการส่งออก ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าการผันแปรพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่ส่งผลให้ต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลงจากกรณีฐานมากนัก และผลเฉลยเกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้งคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออกก็ไม่เปลี่ยนแปลง คือ กำหนดให้ตั้งเพียง 1 แห่ง บริเวณท่าเทียบเรือ จ.สมุทรปราการ ส่วนผลเฉลยเกี่ยวกับที่ตั้งคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศนั้น ไม่เปลี่ยนแปลงจากกรณีฐานเมื่อเพิ่มต้นทุนการดำเนินงานของคลังกลางเอทานอล 20% และ 30% แต่จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มต้นทุนการดำเนินงานของคลังกลาง 50% โดยกำหนดให้ตั้งแห่งเดียวที่ ต.คอนหวาย อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา

ส่วนการผันแปรต้นทุนการขนส่งเอทานอลนั้น เมื่อเพิ่มต้นทุนการขนส่งทางถนน ผลยังคงกำหนดให้มีตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อกระจายภายในประเทศ 2 แห่ง โดยมีตำแหน่งเปลี่ยนไปกรณีฐาน 1 แห่งคือ จาก ต.ช่องแค อ.ตาคี จ.นครสวรรค์ เป็น ต.เมืองการุ้ง อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี เมื่อต้นทุนเพิ่ม 30% และ 50% แต่การผันแปรต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางราง ส่งผลต่อการตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางรวบรวมเอทานอลอย่างมาก คือ เมื่อต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางรางเพิ่มขึ้น 20% จะไม่มีการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางรวบรวมเอทานอลและถ้าต้นทุนการขนส่งเอทานอลทางรางลดลง 20% จะมีการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางเอทานอลเพียงแห่งเดียวคือที่ ต.คอนหวาย อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา กรณีการผันแปรความต้องการเอทานอลทั้งความต้องการภายในประเทศและการส่งออก ก็ส่งผลต่อการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางรวบรวมเอทานอลเช่นเดียวกัน โดยมีตำแหน่งเปลี่ยนไป 1 ตำแหน่งจากกรณีฐาน คือ จาก ต.ท่าวัด อ.เวียงน้อย จ.ขอนแก่น เป็น ต.คอนหวาย อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา

ตารางที่ 4. ผลการวิเคราะห์ความไวของแบบจำลอง

Scenario	สถานการณ์	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	คลังกลางรวบรวมเอทานอล					คลังส่งออก	
			D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	E_1	E_2
Scenario 0	กรณีฐาน	6,803.8	0	1	0	0	1	1	0
Scenario 1	เพิ่มต้นทุนการดำเนินงานคลังรวบรวมเอทานอล 20%	6,808.6	0	1	0	0	1	1	0
Scenario 2	เพิ่มต้นทุนการดำเนินงานคลังรวบรวมเอทานอล 30%	6,811.0	0	1	0	0	1	1	0
Scenario 3	เพิ่มต้นทุนการดำเนินงานคลังรวบรวมเอทานอล 50%	6,814.2	0	0	0	1	0	1	0
Scenario 4	เพิ่มต้นทุนการขนส่งทางถนน 20%	6,822.1	0	1	0	0	1	1	0
Scenario 5	เพิ่มต้นทุนการขนส่งทางถนน 30%	6,830.6	1	1	0	0	0	1	0
Scenario 6	เพิ่มต้นทุนการขนส่งทางถนน 50%	6,847.2	1	1	0	0	0	1	0
Scenario 7	เพิ่มต้นทุนการขนส่งทางราง 20%	6,832.1	0	0	0	0	0	1	0
Scenario 8	ลดต้นทุนการขนส่งทางราง 20%	6,829.4	0	0	0	1	0	1	0
Scenario 9	เพิ่มต้นทุนการขนส่งทางถนนและทางรางอย่างละ 20%	6,872.2	0	0	0	0	0	1	0
Scenario 10	เพิ่มต้นทุนการขนส่งทางถนน 20% และลดทางราง 20%	6,856.6	0	0	0	1	0	1	0
Scenario 11	เพิ่มความต้องการในประเทศ 10%	6,826.4	0	0	0	1	1	1	0
Scenario 12	เพิ่มความต้องการในประเทศ 20%	6,849.0	0	0	0	1	1	1	0
Scenario 13	เพิ่มความต้องการส่งออก 10%	6,818.7	0	0	0	1	1	1	0
Scenario 14	เพิ่มความต้องการส่งออก 20%	6,832.6	0	0	0	1	1	1	0
Scenario 15	เพิ่มความต้องการในประเทศและส่งออกอย่างละ 10%	6,840.8	0	0	0	1	1	1	0

หมายเหตุ	D_1	คือ	ต.เมืองการุ้ง อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี
	D_2	คือ	ต.ท่าหวัด อ.แวงน้อย จ.ขอนแก่น
	D_3	คือ	ต.เคิ่งใหญ่ อ.หัวตะพาน จ.อำนาจเจริญ
	D_4	คือ	ต.คอนหาวย อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา
	D_5	คือ	ต.ช่องแฉก อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์
	E_1	คือ	บริเวณท่าเทียบเรือ จ.สมุทรปราการ
	E_2	คือ	ท่าเรือแหลมฉบัง จ.ชลบุรี

ดังนั้นเพื่อให้ระบบโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานเอทานอลของไทยมีประสิทธิภาพมากขึ้น ประเทศไทยควรมีคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออกเพียงแห่งเดียว และตั้งอยู่แถบท่าเทียบเรือ จ.สมุทรปราการ ซึ่งในปัจจุบันก็มีบริษัทผู้ผลิตเอทานอลบางแห่งไปเช่าคลังในแถบนี้เพื่อรวบรวมเอทานอลสำหรับการส่งออกเช่นกัน ส่วนการจัดตั้งคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศนั้น ควรจัดตั้งอย่างน้อย 1 แห่ง ซึ่งอาจเป็นที่ ต.ท่าหวัด อ.แวงน้อย จ.ขอนแก่น หรือ ต.คอนหาวย อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา หรือจัดตั้ง 2 แห่งโดยเพิ่มอีกตำแหน่ง คือ ต.ช่องแฉก อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์ ซึ่งจะจัดตั้ง 1 หรือ 2 แห่งก็ไม่ทำให้ต้นทุนรวมแตกต่างกันมากนัก แต่การลงทุน

จัดตั้งคลังกลาง 2 แห่งย่อมเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนมากกว่า ซึ่งบทความนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงต้นทุนในการลงทุน

4. สรุป

เพื่อรองรับการขยายตัวทั้งในด้านอุปทานและอุปสงค์สำหรับอุตสาหกรรมเอทานอลของไทย และเพื่อให้ระบบโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานเอทานอลของไทยมีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทย ภายในขอบเขตจากโรงงานผลิตเอทานอลไปยังลูกค้า

จากเครือข่ายโซ่อุปทานในปัจจุบันที่เอทานอลถูกขนส่งจากแต่ละโรงงานไปยังแต่ละคลังผสมแก๊สโซฮอล์ซึ่งเป็นลูกค้าทำให้เส้นทางการขนส่งซับซ้อนและมีต้นทุนโดยรวมสูง อีกทั้งการจัดสรรเอทานอลอาจจะไม่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานให้มีคลังกลางรวบรวมเอทานอล โดยในเบื้องต้นผู้วิจัยได้มีการศึกษาบริบทโซ่อุปทานเอทานอลของไทยโดยการทบทวนวรรณกรรม การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แล้ววิเคราะห์โครงสร้างและตัวขับเคลื่อนโซ่อุปทานในปัจจุบัน และนำบริบทที่ศึกษาได้มาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Location-Allocation Model ในการกำหนดตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอลและการกระจายเอทานอลที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด โดยกำหนดตำแหน่งทางเลือกของคลังกลางเอทานอล ด้วยวิธี K-means Clustering และ Hierarchical Clustering รวมทั้งตำแหน่งที่เป็นไปได้ตามโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งของประเทศและนำไปเป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับการกำหนดตำแหน่งคลังกลางรวบรวมเอทานอลของแบบจำลอง

ผลการวิจัยพบว่า ถ้าสถานการณ์เอทานอลของไทยไม่แตกต่างไปจากปัจจุบันมากนัก ไม่ว่าจะเป็นจำนวนโรงงานผลิตเอทานอลและคลังผสมแก๊สโซฮอล์ ต้นทุนในการดำเนินงานของโรงงาน ต้นทุนการขนส่งเอทานอล รวมทั้งความต้องการเอทานอลทั้งในประเทศและการส่งออก ประเทศไทยควรมีคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออกเพียงแห่งเดียว และตั้งอยู่แถบท่าเทียบเรือ จ.สมุทรปราการ ส่วนการจัดตั้งคลังกลางรวบรวมเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศ ควรมีการจัดตั้ง 1-2 แห่ง คือ ภาคตะวันออก เชียงเหนือ บริเวณ จ.ขอนแก่น หรือ จ.นครราชสีมา และภาคกลางตอนบน บริเวณ จ.นครสวรรค์ ทั้งนี้การมีคลังกลางในการรวบรวมเอทานอลจะลดต้นทุนสินค้าคลังของเอทานอลที่ต้องจัดเก็บไว้ที่โรงงาน และลดต้นทุนการขนส่งโดยรวม รวมทั้งต้นทุนในการรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออก ทำให้ระบบโลจิสติกส์เอทานอลของไทยมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการรองรับความต้องการใช้เอทานอลของประเทศที่จะมีมากขึ้น และถ้าในอนาคตประเทศไทยมีโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งดีขึ้น ทั้งการพัฒนาถนนสายหลักและระบบรถไฟรางคู่ ยังเป็นการ

เสริมประสิทธิภาพระบบโลจิสติกส์ของเครือข่ายโซ่อุปทานที่มีคลังกลางในการรวบรวมเอทานอล เนื่องจากการรวบรวมและขนส่งเอทานอลในคราวละมากๆ ทางระบบราง จะทำให้ต้นทุนการขนส่งลดลงได้อย่างมาก นอกจากนี้การรวบรวมเอทานอลไว้ที่คลังกลางยังจะช่วยให้การสำรองเอทานอลเพื่อความมั่นคงทางพลังงานของประเทศได้ด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สัญญาเลขที่ BiF-2553-Ph.D.-07 และ NRU543045

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Existing ethanol plants in Thailand. Ministry of Energy, Thailand; [25 May 2013]; Available from: <http://www.dede.go.th/dede/>.
- (2) Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Fuel ethanol (99.5%) production. Ministry of Energy, Thailand; [1 February 2013]; Available from: <http://www.dede.go.th/dede/>.
- (3) Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Ethanol plants are under construction in Thailand. [14 May 2013]; Available from: <http://www.dede.go.th/dede/>.
- (4) Department of Energy Business. Fuel consumption in Thailand Ministry of Energy, Thailand; [4 July 2013]; Available from: http://www.doeb.go.th/info/info_procure.php.
- (5) Export Statistics [database on the Internet]. The Customs Department, Ministry of Finance, Thailand. [cited 25 May 2013]. Available from: <http://internet1.customs.go.th/ext/Statistic/StatisticIndex2550.jsp>.

- (6) Petroleum Institute of Thailand Foundation. Efficiency Improvement for Ethanol Distribution, Gasohol Blending and Distribution. Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. 2009. Thai.
- (7) Keah Choon T. A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. 2001;7(1): 39-48.
- (8) Croom S, Romano P, Giannakis M. Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. 2000;6(1):67-83.
- (9) Benita M B. Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*. 1998;55(3):281-94.
- (10) Melo MT, Nickel S, Saldanha-da-Gama F. Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*. 2009;196(2):401-12.
- (11) Klose A, Drexel A. Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*. 2005;162(1):4-29.
- (12) Ekşioğlu SD, Acharya A, Leightley LE, Arora S. Analyzing the design and management of biomass-to-biorefinery supply chain. *Computers & Industrial Engineering*. 2009;57(4):1342-52.
- (13) Huang Y, Chen C-W, Fan Y. Multistage optimization of the supply chains of biofuels. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2010;46(6):820-30.
- (14) Office of Transport and Traffic Policy and Planning. Analysis of transportation cost structure and logistics system. Bangkok: Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Ministry of Transport. 2009. Thai.