



การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายเส้นทางแบบ หลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและ หลายจุดประสงค์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและ กากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Solving a multi-objective, source & stage location-allocation problem: a case study of a bagasse and cassava pulp ethanol plant in northeastern Thailand

ทองพูน ทองดี^{1*}, ระพีพันธ์ ปีตาคะโส²

Thongpoon Thongdee^{1*}, Rapeepan Pitakaso²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Correspondent author: thongpoonthongdee@gmail.com

Received September 19,2011

Accepted January 26,2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อคัดเลือกโรงงานเอทานอลที่ดำเนินการผลิตอยู่เดิมเพื่อมาพัฒนาต่อ ยอดให้สามารถผลิตเอทานอลโดยใช้วัตถุดิบจากชานอ้อยและกากมันที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำตาลและแป้งมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ภายใต้วัตถุประสงค์หลักด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย โดยรูปแบบการขนส่งจะเป็นแบบหลายลำดับขั้น คือการพิจารณาการขนส่งวัตถุดิบจากหลายต้นกำเนิดคือชานอ้อย และกากมันไปยังโรงงานผลิตเอทานอล และการขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมันที่จะนำเอทานอลไปผสมกับน้ำมันเบนซินเป็นแก๊สโซฮอล์ จากการประมวลผลพบว่าโรงงานเอทานอลที่สามารถพัฒนาต่อยอดได้คือ บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีศักยภาพที่จะเปิดรับกากมันอย่างเดียวมาผลิตเป็นเอทานอล และบริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์) จังหวัด กาฬสินธุ์ ซึ่งมีศักยภาพที่จะเปิดรับทั้งชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอล

Abstract

The objective of this research is to select the existing potential ethanol plants for developing to use raw material such as bagasse from sugar industries and cassava pulp from cassava flour industries scoped in northeastern Thailand under three objectives including economic, environmental and social risk objective. The transportation model is a multi-stage problem. Firstly, bagasse and cassava pulp is delivered from sugar mill and cassava flour plant to the ethanol plant. Secondly, ethanol is transported to a blending centre to make gasohol (E10, E20, E85) for vehicles. The computational results show that the existing potential ethanol plants are KI Ethanol Company Limited (Nakhon Ratchasima) for receiving cassava pulp and Petro Green Company Limited (Kalasin) for receiving bagasse and cassava pulp.

คำสำคัญ: ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง, ปัญหาการเลือกเส้นทาง, การตัดสินใจแบบหลายจุดประสงค์, โรงงานเอทานอล

Keywords: Location allocation problem, Location routing problem, multi-objective optimization, ethanol plant

1. บทนำ

จากปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนที่กำลังส่งผลกระทบอย่างชัดเจนในปัจจุบัน ทำให้หลายประเทศทั่วโลกออกมาตรการป้องกันการทำลายสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยได้มุ่งเน้นไปที่การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน อาทิเช่น พลังงานชีวภาพ พลังงานจากลม พลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดจนยุทธศาสตร์ส่งเสริมการใช้แก๊สโซฮอล์ทดแทนน้ำมันเบนซิน 95 ที่รัฐบาลให้การสนับสนุนทั้งด้านการผลิตและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ และจากสภาวการณ์ปัจจุบันราคาน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปขยับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าเป็นหลัก ทำให้ประเทศสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก และในอนาคตราคาน้ำมันในตลาดโลกมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นทำให้ต้องคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆ ซึ่งที่ได้รับความนิยมในขณะนี้ คือ “เอทานอล”

จากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน มกราคม ปี 2553 พบว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้เปิดดำเนินการถึง 16 โรงงานจากทั้งหมด 24 โรงงานที่ได้รับอนุญาตทั้งหมดในประเทศไทย แต่ถ้าหากพิจารณาวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลในปัจจุบันก็จะพบว่าทุกๆ โรงงานก็จะเลือกใช้สองชนิดคือ กากน้ำตาลกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งวัตถุดิบทั้งสอง

ต่างก็มีความสำคัญและมีความต้องการสูงในอุตสาหกรรมอื่นๆ ด้วยเช่นกัน ดังนั้นผลกระทบที่จะตามมาคือการขาดแคลนวัตถุดิบที่จะนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นตามมา งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบมาจากวัตถุดิบต่อเนื่องจากการผลิตน้ำตาลและแป้งมัน นั่นคือชานอ้อยและกากมัน โดยงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นภายใต้วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความเสี่ยงความปลอดภัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเลือกที่ตั้งแบบสองระดับ โดยกำหนดแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอลมาจากสองแห่ง รวมถึงการเลือกเส้นทางรถขนส่งแบบสองระดับ นอกจากนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ยังได้กำหนดกรอบปัญหาให้เป็นแบบหลายจุดประสงค์ เพื่อให้สะท้อนและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการตัดสินใจ เพื่อกำหนดเป็นนโยบายและแผนการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนต่อไป ถึงแม้ว่าพลังงานทดแทนหรือเอทานอลมีความสำคัญอย่างยิ่ง แต่การสร้างโรงงานเพื่อผลิตเอทานอลก็จะต้องศึกษาและให้ความสำคัญกับทุกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิต โดยที่ Minnesota Pollution Control Agency (4) ได้ทำการศึกษาและระบุปัจจัยที่สำคัญในการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลซึ่งประกอบด้วย แหล่งน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ความพร้อมของวัตถุดิบ ระบบขนส่ง

วัตถุดิบและเอทานอล ประเภทเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต พืชสนับสนุนและนโยบายจากภาครัฐ ผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อผู้คนในพื้นที่

Buddadee et al. (1,2) ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อย โดยศึกษาถึงผลของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ รวมทั้ง Nanthasamroeng et al. (5) ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยแบบหลายจุดประสงค์ (multi-objectives) โดยที่การระบุปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะ 4 ประการ คือ 1. ที่ตั้งของลูกค้าที่มีที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้ว 2. ที่ตั้งโรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้งเอง 3. ที่ตั้งของลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ 4. ระยะทางในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า Jozefowicz et al. (3) นอกจากนี้การศึกษายังเป็นการเลือกสถานที่ตั้งแบบสองระดับ ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location routing problem)

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาในปัญหาเดียวกันกับนันทพงศ์แต่ขยายรูปแบบของปัญหาเป็นการเพิ่มแหล่งของวัตถุดิบเป็นหลายแหล่ง (Multi-Source) มีการพิจารณาถึงแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ผลิตเอทานอลเป็นกากอ้อยและกากมัน และเพิ่มวัตถุประสงค์ด้านความพึงพอใจของสังคมชุมชนรอบข้าง ที่มีต่อชุมชนบริเวณที่มีโรงงานผลิตเอทานอลและการขนส่งเอทานอล หากมีการรั่วไหลของเอทานอลซึ่งถือเป็นวัตถุดิบอันตรายเนื่องจากมีความสามารถในการติดไฟได้ โดยที่ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 11.0 อย่างไรก็ตามการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 11 นั้นเมื่อทำการเพิ่มจำนวนขนาดของแหล่งวัตถุดิบและจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลให้มีจำนวนมากขึ้น พบว่าไม่

สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 11 ในการแก้ปัญหาได้เนื่องจากหน่วยความจำสำรองของโปรแกรมไม่เพียงพอกับความซับซ้อนของปัญหาที่เพิ่มมากขึ้น

2. วิธีวิจัย

งานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเตรียมการ ระยะดำเนินการออกแบบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และระยะหลังดำเนินการ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการวิจัยดำเนินงาน ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้ง (location routing problem) แบบหลายลำดับขั้น (multi-stage) หลายต้นกำเนิด (multi-source) และหลายจุดประสงค์ (multi-objective)
2. กำหนดสถานะของปัญหา โดยกำหนดเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปของกำหนดการเชิงเส้นที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่มีจุดประสงค์เพื่อหาทำเลที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล
 - มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด
 - ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
 - มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด
 - มีความพึงพอใจของสังคม ชุมชนรอบข้างสูงสุด
3. รวบรวมข้อมูลที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย ศึกษารองานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
4. ทำการทดลอง ประมวลผลเบื้องต้นจากข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมดด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป LINGO V.11.0
5. สรุป อภิปรายผลการทดลอง

2.1 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกทำเลที่ตั้ง

2.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ

- O_i^y = ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทางกากอ้อยไปโรงเอทานอล (i, j) : หน่วยตัน
 O_t^s = ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทางกากมันไปโรงเอทานอล (t, j) : หน่วยตัน
 e_{jk} = ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งระหว่างเส้นทางโรงเอทานอลไปคลังน้ำมัน (j, k) : หน่วยลิตร
 H_i^y = ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบกากอ้อย i : หน่วยตัน
 H_t^s = ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบกากมัน t : หน่วยตัน
 d_{ij}^s = ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบกากอ้อยถึงโรงงานเอทานอล (i, j) : หน่วยกิโลเมตร
 d_{tj}^s = ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบกากมันถึงโรงงานเอทานอล (t, j) : หน่วยกิโลเมตร
 r_{jk} = ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังน้ำมัน (j, k) : หน่วยกิโลเมตร
 $POTR_{jk}$ = จำนวนประชากรที่มีความเสี่ยงที่เกิดจากการขนส่งเอทานอล (j, k) : หน่วยคน
 $POFR_j$ = จำนวนประชากรที่มีความเสี่ยงที่เกิดจากโรงงานเอทานอล (j) : หน่วยคน

2.1.2 พารามิเตอร์

- i = จำนวนโรงงานน้ำตาล (โรง)
 j = จำนวนโรงงานเอทานอล (โรง)
 k = จำนวนคลังน้ำมัน (โรง)
 t = จำนวนโรงงานแป้งมัน (โรง)
 m = ราคาวัตถุดิบต่อหน่วย (บาท)
 θ = ต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วย (บาท)
 a = ต้นทุนการขนส่งเอทานอลต่อหน่วย (บาท)
 FBC_j = ต้นทุนการสร้างโรงงานเพิ่มเติมจากโรงงานเอทานอลเดิม กรณีเป็นรับวัตถุดิบทั้งกากอ้อยและกากมัน (ล้านบาท)
 FB_j = ต้นทุนการสร้างโรงงานเพิ่มเติมจากโรงงานเอทานอลเดิม กรณีเป็นรับวัตถุดิบเฉพาะกากอ้อย (ล้านบาท)
 FC_j = ต้นทุนการสร้างโรงงานเพิ่มเติมจากโรงงานเอทานอลเดิม กรณีเป็นรับวัตถุดิบเฉพาะกากมัน (ล้านบาท)
 KBC_j = จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีเป็นรับวัตถุดิบทั้งกากอ้อยและกากมัน (ตัน)
 KB_j = จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีเป็นรับวัตถุดิบเฉพาะกากอ้อย (ตัน)
 KC_j = จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีเป็นรับวัตถุดิบเฉพาะกากมัน (ตัน)
 γ = emission factor สำหรับการขนส่งทั้งจาก (i, j), (t, j) และ (j, k)
 b = emission factor สำหรับการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง ทั้งจาก (i, j), (t, j) และ (j, k)
 f = emission factor สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล
 g = emission factor ของ CO₂ จากการผลิตเอทานอล
 h = emission factor ของ CH₄ จากการผลิตเอทานอล
 δ = emission factor การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล

- V = offset emission factor ของ E10 ที่เกิดจากการผลิตเอทานอล เพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์
- w = offset emission factor ของ gasoline ที่เกิดจากการผลิตเอทานอล เพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์
- λ = production efficiency factor สำหรับการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นเอทานอล
- u = ต้นทุนความเสี่ยงต่อหน่วย (บาท)
- N = จำนวนเอทานอลสูงสุดที่ส่งไปคลังน้ำมันแต่ละแห่ง (ลิตร)

2.1.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

2.1.3.1 สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic objectives)

$$\text{Minimize } m1 \times \left(\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I O_i^y y_{ij} \right) + m2 \times \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T O_t^s s_{tj} \right) + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \theta O_i^y d_{ij}^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \theta O_t^s d_{tj}^s s_{tj} +$$

$$\sum_{j=1}^J FBC_j Q_j^{bc} + \sum_{j=1}^J FB_j Q_j^b + \sum_{j=1}^J FC_j Q_j^c + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J ae_{jk} r_{jk} x_{jk} \text{ and}$$

2.1.3.2 สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (Environment objectives)

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \gamma d_{ij}^y O_i^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I b d_{ij}^y O_i^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I f O_i^y y_{ij} +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I g O_i^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I h O_i^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \delta O_i^y y_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J r_{jk} e_{jk} x_{jk} +$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J b r_{jk} e_{jk} x_{jk} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I v O_i^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I w O_i^y y_{ij} +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \gamma d_{tj}^s O_t^s s_{tj} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T b d_{tj}^s O_t^s s_{tj} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T f O_t^s s_{tj} +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T g O_t^s s_{tj} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T h O_t^s s_{tj} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \delta O_t^s s_{tj} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T v O_t^s s_{tj} + v \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T w O_t^s s_{tj}$$

or

$$\text{Minimize } (\gamma + b) \left[\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I d_{ij}^y O_i^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I d_{tj}^s O_t^s s_{tj} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J r_{jk} e_{jk} x_{jk} \right] +$$

$$(f + g + h + \delta + v + w) \left[\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I O_i^y y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T O_t^s s_{tj} \right]$$

2.1.3.3 สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัย (Social risk objective)

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \mu POTR_{jk} x_{jk} + \sum_{j=1}^J \mu POFR_j Q_j^{bc} + \sum_{j=1}^J \mu POFR_j Q_j^b + \sum_{j=1}^J \mu POFR_j Q_j^c$$

2.1.3.4 สมการข้อบ่งชี้ (Constraints)

$$\text{Subject to; } \sum_{i=1}^I H_i^y + \sum_{t=1}^T H_t^s \leq Q_j^{bc} KBC_j + Q_j^b KB_j + Q_j^c KC_j \quad \forall j \quad (1)$$

$$\lambda 1 \sum_{i=1}^I H_i^y + \lambda 2 \sum_{t=1}^T H_t^s \leq \sum_{k=1}^K e_{jk} \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K e_{jk} \leq Nx_{jk} \quad \forall j, k \quad (3)$$

$$Q_j^{bc} + Q_j^b + Q_j^c \leq 1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$Q_j^{bc} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ is opened for two sources} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \quad (5)$$

$$Q_j^b = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ is opened for bagasse} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \quad (6)$$

$$Q_j^c = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ is opened for cassava pulp} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^I O_i^y y_{ij} = H_i^y \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I y_{ij} \geq 1 \quad \forall i, j \quad (9)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if bagasse from } i \text{ send material to plant } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$\sum_{t=1}^T O_t^s s_{tj} = H_t^s \quad \forall t \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^T s_{tj} \geq 1 \quad \forall t, j \quad (12)$$

$$s_{tj} = \begin{cases} 1 & \text{if cassava pulp from } t \text{ send material to plant } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall t, j \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} \geq 1 \quad \forall j, k \quad (14)$$

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if plant } j \text{ send ethanol to blending centre } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j, k \quad (15)$$

$$y_{ij} \leq Q_j^{bc} + Q_j^b \quad \forall i, j \quad (16)$$

$$s_{tj} \leq Q_j^{bc} + Q_j^c \quad \forall t, j \quad (17)$$

สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย 4 พจน์หลัก คือ 1. สมการต้นทุนวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและราคาวัตถุดิบ 2. สมการต้นทุนด้านการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบ ระยะทาง และราคาต่อหน่วยของการขนส่งวัตถุดิบ โดยพจน์ที่ 1. และ 2. มี 2 ส่วนคือวัตถุดิบจากขานอ้อยและกากมัน 3. ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอลซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตต่อวัน โดยในพจน์นี้มี 3 ส่วนซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการสร้างโรงงานที่รับวัตถุดิบเป็นขานอ้อยอย่างเดียวกากมันอย่างเดียว และจากทั้งสองส่วน 4. สมการต้นทุนการขนส่งเอทานอลซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณเอทานอล ระยะทาง และราคาต่อหน่วยของการขนส่งเอทานอล

สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมอ้างอิงจากการศึกษาของ Nanthasamroeng et al. (5) ซึ่งเป็นการอ้างอิงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย 2 พจน์หลักใหญ่ๆ คือ 1. ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง ซึ่งในพจน์นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณขานอ้อยกากมันเอทานอลที่ทำการขนส่ง และระยะทางในการขนส่ง 2. ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้สารเคมีในการผลิตเอทานอล, ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตเอทานอล, ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากมีเทนจากการผลิตเอทานอล, ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล, ค่าชดเชยของการนำเอาขานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อนำมาไปใช้เป็นแก๊สโซฮอล์ และค่าชดเชยของการนำเอาขานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์แทนที่จะใช้น้ำมันเบนซินปกติ ซึ่งในพจน์นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของขานอ้อยและกากมันเป็นหลัก

สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัยนั้นจะอ้างอิงและปรับปรุงจาก Nanthasamroeng et al. (5) กล่าวคือจะใช้จำนวนประชากรที่จะได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลระหว่างเส้นทางการขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมัน และจะใช้ความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่รอบโรงงานผลิตเอทานอลที่ได้รับผลกระทบหากเกิดการรั่วไหลหรือระเบิดของเอทานอลบริเวณ

โรงงานผลิต

สมการข้อบ่งชี้ประกอบด้วย 1) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบขานอ้อยและกากมันไม่ให้ส่งไปเกินในโรงงานทั้งสามประเภท 2) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลเอทานอลที่เกิดจากขานอ้อยและกากมันไม่ให้เกินจำนวนเอทานอลที่ส่งไปทั้งหมด 3) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลเอทานอลที่ผลิตได้ทั้งหมดไม่ให้เกินจำนวนเอทานอลสูงสุดที่ส่งไปคลังน้ำมันแต่ละแห่ง สมการข้อบ่งชี้ 4), 5), 6) และ 7) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าจะเปิดโรงงานแบบใดซึ่งประกอบด้วย การใช้ขานอ้อยหรือกากมันเป็นวัตถุดิบอย่างเดียวหรือการใช้ทั้งสองส่วนเป็นวัตถุดิบในการผลิต 8) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบขานอ้อยเพื่อให้มั่นใจว่ามีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิต สมการข้อบ่งชี้ 9) และ 10) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบขานอ้อยจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดหรือไม่ 11) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบกากมันเพื่อให้มั่นใจว่ามีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิต สมการข้อบ่งชี้ 12) และ 13) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบกากมันจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดหรือไม่ สมการข้อบ่งชี้ 14) และ 15) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าโรงงานเอทานอลที่เปิดจะส่งเอทานอลไปคลังน้ำมันใดบ้าง 16) สมการข้อบ่งชี้ที่กำหนดให้การส่งขานอ้อยไปยังโรงงานที่รับขานอ้อยอย่างเดียวและที่รับจากทั้งสองส่วน 17) สมการข้อบ่งชี้ที่กำหนดให้การส่งกากมันไปยังโรงงานที่รับกากมันอย่างเดียวและที่รับจากทั้งสองส่วน

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากขานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงงานน้ำตาลจำนวน 16 โรง และโรงงานแป้งมัน 46 โรง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งวัตถุดิบซึ่งกระจายตัวอยู่ในจังหวัดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 แต่สำหรับงานวิจัยนี้เพื่อเป็นการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ว่าถูกต้อง และให้เกิดความรวดเร็วในการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลและแป้งมันมาอย่างละ 5 โรงงาน โดยคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือก

ทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) และเลือกโรงงานที่ได้คะแนนมากสุดใน 5 อันดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2

การให้คะแนน (Rating Plan) การคัดเลือกที่ตั้งโรงงานในเบื้องต้นนั้น จะมีการชั่งน้ำหนักปัจจัยต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการผลิต ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดก็จะได้รับคะแนนมากที่สุด เช่น สมมติว่า ปัจจัยที่ตั้งท่าเลใกล้แหล่งวัตถุดิบสำคัญที่สุด ก็จะกำหนดให้คะแนน 400 คะแนน ส่วนสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญน้อยก็จะให้คะแนนเต็ม 50 คะแนน

สำหรับงานวิจัยนี้ ให้ความสำคัญเท่าเทียมกันในทุกๆ ปัจจัย โดยทุกๆ ปัจจัยจะถูกให้คะแนนเต็ม 400 คะแนน สำหรับการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันอย่างละ 5 โรงงานได้ถูกออกแบบและกำหนดให้มีปัจจัยต่างๆ สำหรับการให้คะแนน ดังนี้

1. แหล่งวัตถุดิบ/ ปริมาณวัตถุดิบมีมาก น้ำหนัก 40% คะแนน 400
2. ใกล้แหล่งตลาด/ การขนส่งสะดวก น้ำหนัก 15% คะแนน 400
3. แรงงานหาง่าย/ ประชากรในพื้นที่ น้ำหนัก 15% คะแนน 400
4. ไฟฟ้า น้ำประปาสะดวก/ เพียงพอ น้ำหนัก 10% คะแนน 400
5. ความต้องการ/ ความพอใจของชุมชน น้ำหนัก 20% คะแนน 400

งานวิจัยนี้เป็นการคัดเลือกโรงงานเอทานอลที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ทำการผลิตอยู่จริง เพื่อมาทำการพัฒนาและต่อเติมเทคโนโลยีการผลิตให้สามารถใช้วัตถุดิบจากขานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลได้ โดยยังคงกำลังการผลิตไว้เท่าเดิม ซึ่งรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 – 10 สำหรับข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อคัดเลือสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลนั้น ประกอบด้วยข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ และข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้มาจากการวิจัยที่ทำการปรับปรุงจาก Buddadee (1,2), Nanthasamroeng et al. (5) และ National Statistical Office of Thailand (6) ดังตารางที่ 7 ส่วนข้อมูลด้านความปลอดภัยที่เกิดจากความเสี่ยงของ

การรั่วไหลเอทานอลนั้น อ้างอิงจาก Energy Response Guidebook for flammable liquid (4) ที่ระบุไว้ว่าการรั่วไหลจะเกิดแถบความเสี่ยงที่ 800 เมตรในทุกทิศทาง ดังนั้นความเสี่ยงนี้จะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ ในพื้นที่จังหวัดต่างๆ โดยมีข้อสมมุติฐานที่ว่าประชากรในพื้นที่แต่ละจังหวัดนั้นมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เมื่อรวบรวมข้อมูลจนครบสมบูรณ์แล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะนำไปใช้ในการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 ด้วยหน่วยประมวลผล Intel Pentium M (1400 MHz) และหน่วยความจำ (RAM) 512 MB

การพิจารณาเพื่อเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะสำหรับกรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้นจะเป็นการแก้ปัญหาเพื่อให้บรรลุ 3 วัตถุประสงค์ด้วยกัน กล่าวคือ 1) วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วยการลดต้นทุนด้านการขนส่งและการสร้างโรงงาน, 2) วัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการทั้งหมดทั้งการผลิตและการขนส่ง และ, 3) วัตถุประสงค์ด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัย ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับประชาชนที่อยู่ในบริเวณรอบ เส้นทางการขนส่งเอทานอลหากมีการรั่วไหลเกิดขึ้น ส่วนความพึงพอใจของชุมชนนั้นได้ทำการออกแบบและกำหนดให้เป็นปัจจัยการคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) ตั้งแต่แรก ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดของการคัดเลือคนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2

3.2 ผลการวิจัย

เมื่อทำการทดลองโดยที่กำหนดให้สมการเป้าหมายแต่ละตัวมีค่าน้ำหนักหรือให้ความสำคัญที่แตกต่างกันไปเป็น 6 กรณี คือ

กรณีที่หนึ่ง	$0.1(ECON) + 0.8(RISK) + 0.1(ENVI)$
กรณีที่สอง	$0.2(ECON) + 0.6(RISK) + 0.2(ENVI)$
กรณีที่สาม	$0.8(ECON) + 0.1(RISK) + 0.1(ENVI)$
กรณีที่สี่	$0.6(ECON) + 0.2(RISK) + 0.2(ENVI)$

กรณีที่ทำ $0.1(\text{ECON}) + 0.1(\text{RISK}) + 0.8(\text{ENVI})$
 กรณีที่หัก $0.2(\text{ECON}) + 0.2(\text{RISK}) + 0.6(\text{ENVI})$

ซึ่งผลการทดสอบทั้งหกกรณีพบว่าบริษัทเคไอเอทานอล จำกัด จังหวัดนครราชสีมา จะเปิดรับกากมันอย่างเดียวนำมาผลิตเป็นเอทานอล และบริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์) จังหวัด กาฬสินธุ์ จะเปิดรับทั้งขานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอล โดยที่รายละเอียดการส่งวัตถุดิบจากโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันไปยังโรงงานเอทานอลทั้งสอง และการแสดงผลการส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลทั้งสองไปยังคลังน้ำมันย่อย แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 12 และรูปที่ 3

4. สรุป

ผลการวิจัยที่ได้ เป็นการทดสอบเพื่อทำการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลการทดลองด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป สรุปได้ว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้งานได้ และงานวิจัยนี้เป็นการคัดเลือกหาสถานที่ตั้งที่หลายจุดประสงค์ต้องกำหนดความสำคัญหรือน้ำหนักให้แก่แต่ละเป้าหมาย ซึ่งผลการทดลองพบว่าไม่มีนัยสำคัญสำหรับการให้น้ำหนักแต่ละสมการเป้าหมาย เพราะการคัดเลือกให้เปิดโรงงานเอทานอลยังได้ผลเช่นเดิม แต่จากค่าวัตถุประสงค์ที่คำนวณได้จะพบว่าสมการเป้าหมายด้านความเสี่ยงความปลอดภัยมีผลกระทบต่อต้นทุนรวมน้อยที่สุด โดยที่สมการเป้าหมายที่มีผลกระทบสูงสุดในต้นทุนรวมคือ สมการเป้าหมายด้านเศรษฐกิจศาสตร์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาแล้วผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเอทานอล และจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังน้ำมัน ดังนั้นทำให้สรุปผลได้ว่าที่โปรแกรมได้เลือกโรงงานเอทานอลทั้งสองนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการการขนส่ง และขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่งทั้งระบบ

ทั้งนี้การทดลองเป็นเพียงแค่ข้อมูลบางส่วนมาใช้ทดสอบเท่านั้น แต่สำหรับแนวทางในการวิจัยต่อไปจะต้องนำข้อมูลโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันทั้งหมดมาใช้ในการวิจัย ซึ่งการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการทดลอง โดยที่แต่ละกรณีต้องใช้เวลามากน้อย 30 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย และยิ่งต้องเพิ่มจำนวนโรงงานน้ำตาลและ

โรงงานแป้งมันเข้าไปอีกเป็นจำนวนมาก การทดลองก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นจำนวนมาก หรือไม่ก็ไม่สามารถทดลองด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 ได้เลย ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 11 และรูปที่ 4 และเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงขึ้นดังนั้นการทดลองจะต้องเลือกใช้วิธีการที่สูงขึ้น คือ กระบวนการฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นรูปแบบในการออกแบบอัลกอริทึมที่จะได้ทำการทดลองต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ความรู้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Bancha Buddadee, Wanpen Wirojanagud, Daniel J. Watts and Rapeepan Pitakaso. 2008. The development of multi-objective optimization model for excess bagasse utilization: A case study for Thailand, Environmental Impact Assessment Review. 28(6): 380-391.
- (2) Bancha Buddadee, Wanpen Wirojanagud, Pisit Techarungpaisan, Rapeepan Pitakaso. 2009. Environmental system optimization of excess bagasse utilization for sugar mills in the Northeastern of Thailand, Thai environmental engineering journal. 24(2): 1-13.
- (3) Jozefowicz, N., Semet, F. and Talbi, E.. "Multi-objective vehicle routing problems", European Journal of Operational Research. 189:293-309; 2008.
- (4) Minnesota Pollution Control Agency. 2007. Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota: A Guidance Document. Minnesota, U.S.A.

- (5) Nanthasamroeng, Natthapong, Pitakaso, Rapeepan and Buddadee, Bancha. "A multiobjective model for multi-echelon location problem: Application in ethanol plant location analysis in Thailand", Proceeding in International Conference on Intelligent Manufacturing and Logistics 2008, Waseda University; 2008.
- (6) National Statistical Office of Thailand, "Population and Housing Census 2000", Available: http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/service/serv_poph43.html, 2011.

ตารางที่ 1 ปริมาณกากอ้อยที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	โรงงาน	จังหวัด	ปริมาณกากอ้อย (ตันต่อปี)	คะแนน (Rating Plan)
1	โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรรม อุตสาหกรรม	ชัยภูมิ	104,983	32.78
2	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่าง เหียน	นครราชสีมา	89,952	29.11
3	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	นครราชสีมา	89,330	29.01
4	โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	ขอนแก่น	90,239	28.88
5	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	ขอนแก่น	87,092	28.39
รวม			461,596	

(ที่มา : ปรับปรุงจาก Buddadee และคณะ, 2007) (1)

ตารางที่ 2 ปริมาณกากมันที่เหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	จังหวัด	ปริมาณกากมัน (ตันต่อปี)	คะแนน (Rating Plan)
1	บริษัท วี พี สตาร์ช (2000) จำกัด	นครราชสีมา	21,600	18.91
2	บริษัท แก่นเจริญ จำกัด	ขอนแก่น	15,840	15.22
3	บริษัท พี.วี.ดี.อินเตอร์เนชั่น แนล จำกัด	นครราชสีมา	14,400	14.33
4	บริษัท สวงวนวงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด	นครราชสีมา	14,400	14.33
5	บริษัท ซี พี เอส สตาร์ช จำกัด	ศรีสะเกษ	11,520	12.47
รวม			77,760	

(ที่มา : ปรับปรุงจาก มุลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2553)

ตารางที่ 3 ปริมาณเอทานอลที่ทำการผลิตในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	จังหวัด	กำลังผลิต (ลิตร/วัน)
1	บริษัท ขอนแก่น แอลกอฮอล์ จำกัด	ขอนแก่น	150,000
2	บริษัท ไทยจ๊วน เอทานอล จำกัด (มหาชน)	ขอนแก่น	130,000
3	บริษัท เกลือ เอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	100,000
4	บริษัท เพโตรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์)	กาฬสินธุ์	200,000
5	บริษัท เพโตรกรีน จำกัด (ชัยภูมิ)	ชัยภูมิ	200,000
	รวม		780,000

(ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553)

ตารางที่ 4 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของคลังน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	ที่อยู่
1	คลังน้ำมันอุบลราชธานี	302 ถ.กองทาง ต.วารินชำราบ อ.วารินชำราบ
2	คลังน้ำมันอุดรธานี	15/1 ถ.หน้าสถานีรถไฟ ต.หมากแข้ง อ.เมือง
3	คลังน้ำมันนครราชสีมา	2/4 ถ.พิบูลสงคราม ต.ในเมือง อ.เมือง
4	คลังน้ำมันขอนแก่น	110/1 ถนนรถไฟ แขวงในเมือง อำเภอเมือง

(ที่มา : <http://www.pttplc.com>, March 2010)

ตารางที่ 5 แสดงต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอลจากกากอ้อยและกากมัน

ลำดับที่	วัตถุดิบ	มูลค่าที่สร้างโรงงานใหม่ (ล้านบาท: 150,000 ลิตร/วัน)	มูลค่าที่สร้างเพิ่มเติม จากโรงงานเดิม (ล้านบาท: 150,000 ลิตร/วัน)
1	กากอ้อย (Bagasse)	1,000	500
2	กากมัน (Cassava Pulp)	940	440

(ที่มา : หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ, 4 มิถุนายน 2552)

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนเอทานอลที่ผลิตได้จากกากอ้อยและกากมัน

ลำดับที่	วัตถุดิบ (1 ตัน)	Ethanol Yield (ลิตร)	ราคา (บาท/ตัน)
1	กากอ้อย (Bagasse)	70 ¹	300
2	กากมัน (Cassava Pulp)	85 ²	3,000

ที่มา : (¹หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ, 11 สิงหาคม 2551)

(²Jirasak and Kanlaya, 2010)

ตารางที่ 7 ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัยที่ใช้การตัดสินใจ

กระบวนการ	ข้อมูล	แหล่งข้อมูล
การขนส่ง	- ต้นทุนค่าขนส่ง - ต้นทุนค่าซ่อมบำรุงยานพาหนะ - ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง - ต้นทุนค่าจ้างพนักงานขับรถ - ขนาดความจุของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง - ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกจากยานพาหนะในการขนส่ง	- Truck and trailer supplier - Japan Transport Cooperation Association, 2004 - PTT, 2006 - SimaPro V5.1 (LCA software) - Emergency Response Guidebook, 2005 - สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2008
การสร้างโรงงานผลิตเอทานอล	- ต้นทุนในการสร้างโรงงาน - การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอล	- Kadam, 2002 - Wooley et al., 1999 - Aden et al., 2002 - SimaPro V5.1 (LCA software)

(ที่มา : ปรับปรุงจาก Buddadee และคณะ, 2007 และ นัทธพงศ์ และคณะ, 2552) (1-2,5-6)

ตารางที่ 8 แสดงระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมันและคลังน้ำมัน

ระยะทาง (กิโลเมตร)		โรงงานเอทานอล				
		1	2	3	4	5
โรงงานน้ำตาล	1. โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม	78	81	120	205	12
	2. โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	48	62	114	171	35
	3. โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเวียน	127	50	34	204	76
	4. โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	188	102	42	228	147
	5. โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	5	84	145	131	86
โรงงานแป้งมัน	1. บริษัท วี พี สตาร์ช (2000) จำกัด	651	638	646	518	706
	2. บริษัท แก่นเจริญ จำกัด	671	692	723	541	745
	3. บริษัท พี.วี.ดี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	638	628	639	504	695
	4. บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด	609	602	614	475	667
	5. บริษัท ซี พี เอส สตาร์ช จำกัด	867	865	879	732	929
คลังน้ำมัน	1. คลังน้ำมันอุบลราชธานี	877	880	898	741	942
	2. คลังน้ำมันอุดรธานี	603	596	608	468	661
	3. คลังน้ำมันนครราชสีมา	641	671	706	516	718
	4. คลังน้ำมันขอนแก่น	642	657	684	509	713

(ที่มา : GPS Coordinate Converter, Maps and Info; <http://boulter.com/gps>)

ตารางที่ 9 แสดงโอกาสความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบบริเวณโรงงานเอทานอล

โรงงานเอทานอล	จังหวัด	ประชากร ¹ (คน)	พื้นที่ ² (ตร.กม.)	ประชากรเฉลี่ย ต่อพื้นที่ ³	ความ เสี่ยง ⁴
1. บริษัท ขอนแก่น แอลกอฮอล์ จำกัด	ขอนแก่น	1,752,414	10,885	160.99	323.83
2. บริษัท ไทยจ๊วน เอทานอล จำกัด	ขอนแก่น	1,752,414	10,885	160.99	323.83
3. บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	2,552,894	20,494	124.57	250.56
4. บริษัท เพโทรกรีน จำกัด	กาฬสินธุ์	977,508	7,055	138.55	278.69
5. บริษัท เพโทรกรีน จำกัด	ชัยภูมิ	1,119,597	12,778	88.62	178.25

- ที่มา : 1. กรมการปกครอง. กระทรวงมหาดไทย. “ประกาศสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง เรื่องจำนวนราษฎรทั่วราชอาณาจักร ตามหลักฐานการทะเบียนราษฎร ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2552”
2. ศูนย์สารสนเทศเพื่อการบริหารและงานปกครอง. กรมการปกครอง. กระทรวงมหาดไทย. “ข้อมูลการปกครอง 18 เมษายน 2553”
3. ผลคำนวณจาก $(1 / 2)$
4. ผลคำนวณจาก $(3 \times \pi r^2)$ เมื่อ รัศมีความกว้างของการระเบิดเท่ากับ 80 เพอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10 แสดงโอกาสความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากการขนส่งจากโรงงานเอทานอลไปคลังน้ำมัน

โอกาส ความเสี่ยง ที่จะเกิดขึ้น		โรงงานเอทานอล									
		ความเสี่ยงเฉลี่ยระหว่าง โรงงานเอทานอลกับคลังน้ำมัน ¹					ความเสี่ยงจากการขนส่งจาก โรงงานเอทานอลไปคลังน้ำมัน ²				
		(คน)					(คน)				
คลังน้ำมัน	1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	2	276	276	239	253	203	241,924	176,649	184,074	207,868	241,924
	3	293	293	257	271	220	242,883	174,617	192,614	212,795	242,883
	4	287	287	251	265	214	214,845	156,056	176,929	196,398	214,845
คลังน้ำมัน	4	324	324	287	301	251	187,874	126,587	136,586	153,374	187,874

- ที่มา : 1. ผลคำนวณจากความเสี่ยงเฉลี่ยโรงงานเอทานอลกับคลังน้ำมัน
(ประชากรเฉลี่ยต่อพื้นที่ $\times \pi r^2$) เมื่อ รัศมีความกว้างของการระเบิดเท่ากับ 80 เพอร์เซ็นต์
2. ผลคำนวณจาก $(1 \times \text{ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับคลังน้ำมัน})$

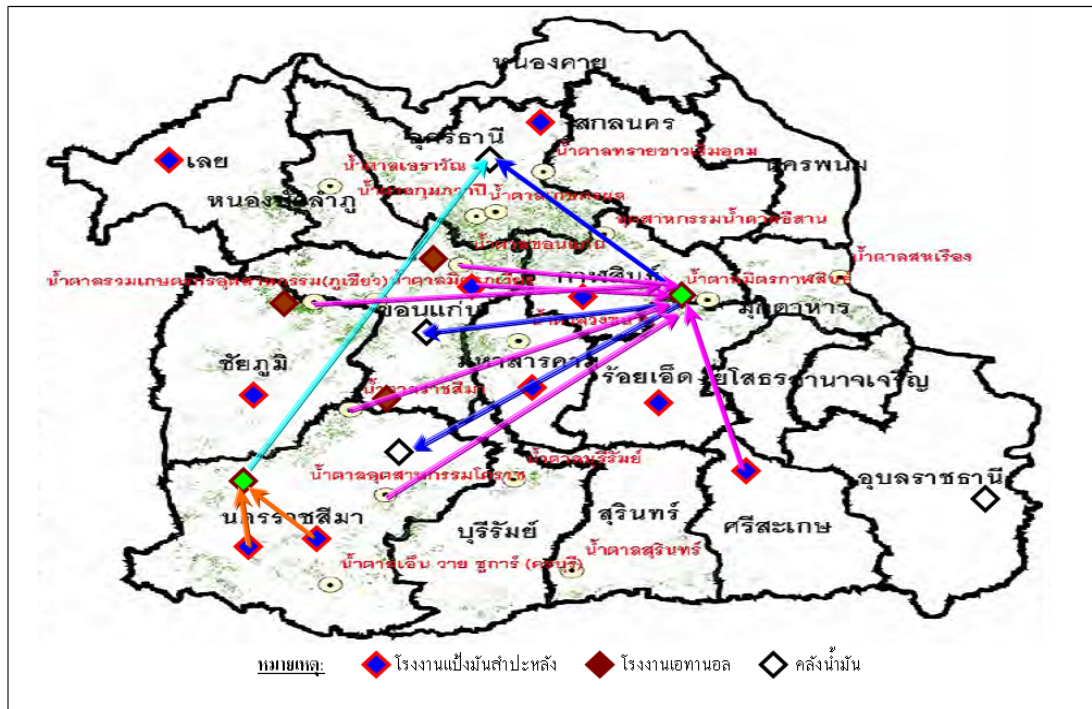
ตารางที่ 11 สรุปขนาดของปัญหาที่ทำทดสอบด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปLINGO 11.0

Variables	Nonlinear	40
	Integers	85
	Total	108
Constraints	Nonlinear	3
	Total	104
Elapsed Runtime	(hh:mm:ss)	27:29:40

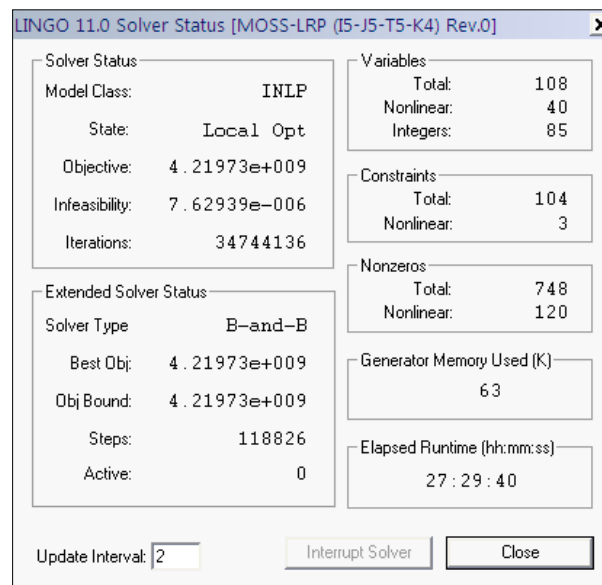
ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน

แหล่งวัตถุดิบ			แหล่งผลิตเอทานอล	แหล่งรับเอทานอล		ค่าฟังก์ชันของสมการเป้าหมาย
โรงงาน	ปริมาณส่ง (ตัน)	ประเภทวัตถุดิบ	โรงงาน	คลังน้ำมัน	ปริมาณรับเอทานอล (ลิตร)	
2(1)	21,600	กากมัน	3(3)	อุดรธานี	3,060,000	ECON = 24,336 ล้านบาท
2(4)	14,400	กากมัน				ENRO = 17,857 ล้านบาท
1(1)	104,983	ชานอ้อย	3(4)	อุดรธานี	12,000,000	SRISK = 0.6 ล้าน
1(2)	90,239	ชานอ้อย				บาท
1(3)	89,952	ชานอ้อย				TOTAL = 42,194 ล้านบาท
1(4)	89,330	ชานอ้อย		นครราชสีมา	11,861,320	
1(5)	87,092	ชานอ้อย				
2(2)	15,840	กากมัน				
2(3)	14,400	กากมัน		ขอนแก่น	12,000,000	
2(5)	11,520	กากมัน				

หมายเหตุ: ตัวเลขหน้าวงเล็บคือตารางที่, ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่



รูปที่ 3 แสดงเส้นทางการส่งมอบวัตถุดิบไปยังโรงงานเอทานอล
และจากโรงงานไปคลังน้ำมัน



รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0