

การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์ และหลายลำดับขั้น: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Solving a multi-stage multi-objective location problem (MMLP): a case study in a bagasse ethanol plant in northeastern Thailand

นัทพงศ์ นันทสำเริง (Natthapong Nanthasamroeng)^{1*}

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (Rapeepan Pitakaso)²

บรรชา บุคดาดี (Bancha Buddadee)³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบจากชานอ้อยเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยภายใต้วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย ซึ่งรูปแบบการขนส่งจะเป็นแบบหลายลำดับขั้น คือพิจารณาการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเอทานอล และการขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมันย่อยเพื่อทำการผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์และจำหน่ายต่อไป จากการประมวลผลพบว่า การให้น้ำหนักในสมการเป้าหมายมีผลต่อจำนวนและสถานที่ตั้งของโรงงานที่จะเปิด รวมทั้งมีผลต่อค่าของสมการเป้าหมายอีกด้วย ซึ่งพบว่าโรงงานน้ำตาลกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานีมีศักยภาพที่จะเปิดเป็นโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยมากที่สุด โดยโรงงานดังกล่าวมีอัตราการเปิดเป็นโรงงานเอทานอลถึงร้อยละ 93.33 เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองเปลี่ยนน้ำหนักของสมการเป้าหมาย 15 กรณี

Abstract

The aim of this study was to find out locations for ethanol plants which utilize bagasse from the sugar industries in northeastern Thailand as raw material. Three objectives were determined in this study including economic, environmental and social objectives. This study was delineated as a multi-stage location problem. Firstly, bagasse was delivered from a sugar mill to the ethanol plant, then ethanol was transported to a blending centre and mixed to be gasohol (E10) for vehicles. From the computational results, the weighting factor in each objective function significantly affects both the number of opened ethanol plants and objective value. Moreover, the study results show that Kumpawapee sugar mill at Udonthani was a potential ethanol plant due to its 93.33% opening rate, while changing weight factors in 15 cases.

คำสำคัญ: ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง, โรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อย, การตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์

Keywords: Location allocation problem, bagasse ethanol plant, multiobjective optimization

¹ อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

* corresponding author, e-mail: nnanthas@yahoo.com

บทนำ

วิกฤตด้านพลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ นับแต่ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้นโดยไม่มีทีท่าว่าจะลดลงซึ่งมาตรการหนึ่งที่หลายประเทศใช้กันคือการหาพลังงานทดแทนมาใช้ และรูปแบบหนึ่งของพลังงานทดแทนที่นิยมใช้คือการใช้อีทานอลผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนหรือเบนซินหรือที่เรียกว่าน้ำมันแก๊สโซลอลล์นั่นเอง

จากข้อมูลการใช้ น้ำมันแก๊สโซลอลล์ภายในประเทศซึ่งเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา แสดงให้เห็นแนวโน้มการขาดแคลนของเอทานอลที่ผลิตได้ภายในประเทศ ดังนั้นรัฐบาลโดยคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (Board of investment; BOI) จึงได้ส่งเสริมให้มีการสร้างโรงงานเอทานอลเพิ่มขึ้นในทุกภูมิภาคในประเทศไทยซึ่งพบว่ามีโรงงานเอทานอลที่ได้รับอนุญาตให้เปิดดำเนินการทั้งในระยะที่หนึ่ง และระยะที่สองอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือถึง 13 โรงงานจากทั้งหมด 24 โรงงาน และจะมีกำลังการผลิตรวมกันกว่า 2.4 ล้านลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 62% ของกำลังการผลิตทั้งประเทศ (กระทรวงพลังงาน, 2550)

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นเอทานอลแล้วจะพบว่าโดยมากจะเป็นกากน้ำตาล, อ้อยสด และมันสำปะหลัง ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวต่างก็มีความต้องการในการใช้จากอุตสาหกรรมอื่นๆ ในปริมาณที่มากอยู่แล้ว ดังนั้นโรงงานเอทานอลที่จะดำเนินการผลิตในอนาคตอาจประสบปัญหาอุปทานส่วนขาดของวัตถุดิบได้

งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อหาสถานที่ตั้งของโรงงานเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบเป็นชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลภายใต้วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย

ReVelle and Eiselt (2005) ได้ระบุว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะอยู่ 4 ประการด้วยกันคือ (1) ลูกค้าซึ่งมีที่ตำแหน่งที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้ว ที่ใดที่หนึ่ง หรืออยู่บนเส้นทางของการขนส่ง, (2) โรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้ง, (3) ที่ตั้งซึ่งลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ และ (4) ค่าระยะทางหรือเวลาในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า

Minnesota Pollution Control Agency (2007) ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดทำคู่มือในการประเมินความเหมาะสมของการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล (Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota) โดยในคู่มือดังกล่าวระบุถึงปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอลซึ่งประกอบด้วย (1) แหล่งน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต (Water supply) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 4.0 - 4.8 แกลลอนต่อการผลิตเอทานอล 1 แกลลอน, (2) การบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน (Wastewater disposal), (3) ความอุดมสมบูรณ์ของวัตถุดิบทางเกษตรที่ใช้ในการผลิตเอทานอล (Feedstock availability), (4) ระบบขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Transportation) เช่น สภาพถนน สถานีรถไฟ เป็นต้น, (5) ประเภทของเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานในการผลิตเอทานอล (Type of fuel), (6) ทุนสนับสนุนหรือสิทธิประโยชน์จากภาครัฐ (Funding and economics) เนื่องจากการจัดตั้งโรงงานในบางพื้นที่อาจมีสิทธิประโยชน์ตามนโยบายส่งเสริมการลงทุนของรัฐบาล, (7) ประเด็นด้านผลกระทบต่อคนที่ในพื้นที่ (Local site issues) เช่น ฝุ่นจากการขนส่งวัตถุดิบ, เสียงจากโรงงาน, กลิ่นจากโรงงาน ฯลฯ, และ (8) ความสัมพันธ์กับชุมชน (Community relations)

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการเลือกสถานที่ตั้งแบบสองระดับ ซึ่งคล้ายคลึงกับปัญหาที่ Jacobsen and Madsen (1980) ได้นำเสนอไว้ คือ ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางของการขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location-routing problem) โดยในปัญหาดังกล่าวหนังสือพิมพ์จะถูกส่งจากโรงพิมพ์ไปยังจุดกระจายสินค้าก่อนที่จะถูกส่งไปยังลูกค้าในที่สุด ซึ่งปัญหาการส่งหนังสือพิมพ์นี้จะประกอบไปด้วย (1) การหาสถานที่ตั้งของจุดกระจายสินค้า, (2) การออกแบบเส้นทางของการขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้า, (3) การจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละจุดกระจายสินค้า และ (4) การออกแบบเส้นทางของการขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายต่างๆ

นอกจากนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ยังได้กำหนดกรอบของปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์จะมีวัตถุประสงค์เพียงอย่างเดียวเช่น เพื่อลดระยะทางในการขนส่ง, ลดเวลาในการขนส่ง, ลดขนาดของยานพาหนะ หรือ, เพิ่มผลกำไรจากการดำเนินการ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หากเป็นการตัดสินใจในวัตถุประสงค์ที่มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ สิ่งที่มีเกิดขึ้นก็คือวัตถุประสงค์บางอย่างจะเกิดความขัดแย้งกันเองภายใน ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนมุมมองของปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective) (Jozefowicz, 2008) ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย

Buddadee et al. (2007) ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อยซึ่งเหลือจากการผลิตน้ำตาลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลสำหรับนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Green house gases; GHGs) ที่ปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน (Global warming)

ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีในการการดำเนินการวิจัย เริ่มจากกำหนดสถานะของปัญหา โดยกำหนดตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปของกำหนดการเชิงเส้นที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer linear programming) ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาทำเลที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการที่ต่ำที่สุด, ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และ มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด โดยรูปแบบในการขนส่งจะเป็นแบบหลายลำดับชั้น ดังแสดงในรูปที่ 1

1. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกทำเลที่ตั้ง

ก. ตัวแปรตัดสินใจ

n_{ij}	ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง (i,j)
e_{jk}	ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง (j,k)
o_i	ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบ i
λ_j	ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ ณ โรงงาน j
d_{ij}	ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบถึงโรงงานเอทานอล
r_{jk}	ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังน้ำมัน
POP_{jk}	จำนวนประชากรในแถบเสี่ยงที่เกิดจากเอทานอลระหว่าง (j,k)

ข. พารามิเตอร์

m	ราคาวัตถุดิบต่อหน่วย
θ	ต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วย
a	ต้นทุนการขนส่งเอทานอลต่อหน่วย
c	ต้นทุนในการสร้างโรงงานเอทานอล
s	ขนาดของโรงงานเอทานอลที่จะสร้าง
t	emission factor สำหรับการขนส่งทั้งจาก (i,j) และ (j,k)
b	emission factor สำหรับการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งทั้งจาก (i,j) และ (j,k)
f	emission factor สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล
γ	emission factor จากกระบวนการผลิตดีเซลที่ใช้ในการผลิตเอทานอล
g	emission factor ของ CO_2 จากการผลิตเอทานอล
h	emission factor ของ CH_4 จากการผลิตเอทานอล
δ	emission factor การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล
v	offset emission factor ของ E10 ที่เกิดจากการผลิตเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์
w	offset emission factor ของ gasoline ที่เกิดจากการผลิตเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์

p	offset emission factor ของการผลิตน้ำมัน เบนซินแบบดั้งเดิมที่เกิดจากการผลิตเอทานอล เพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์	N	จำนวนสูงสุดของโรงงานเอทานอลที่จะสร้าง
ϕ	production efficiency factor สำหรับการ เปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นเอทานอล	M	จำนวนสูงสุดของคลังน้ำมันที่โรงงานเอทานอล จะส่งผลิตภัณฑ์ให้

ค. สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic objectives)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I mn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \theta d_{ij} n_{ij} y_{ij} + c \left[\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I n_{ij} y_{ij}}{s} \right]^{\exp} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J ar_{jk} e_{jk} x_{jk}$$

และ

ง. สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (Environment objectives)

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I td_{ij} n_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I bd_{ij} n_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I fn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I m_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I gn_{ij} y_{ij} \\ & + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I hn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \delta n_{ij} y_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J tr_{jk} e_{jk} x_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J br_{jk} e_{jk} x_{jk} + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I vn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I wn_{ij} y_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J pr_{jk} e_{jk} x_{jk} \end{aligned}$$

และ

จ. สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัย (Population objective)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J POP_{jk} e_{jk}$$

จ. สมการข้อจำกัด (Constraints)

Subject to;

$$\sum_{j=1}^J n_{ij} y_{ij} = o_i \quad \forall i \quad (1)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า node } i \text{ ส่งวัตถุดิบไปยังโรงงาน } j \\ 0 & \text{หากเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall i \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} \geq 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าโรงงาน } j \text{ เปิด} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall j \quad (4)$$

$$z_j = y_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J z_j \leq N \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K e_{jk} x_{jk} = \lambda_j \quad \forall j \quad (7)$$

$$\lambda_j \leq \phi_{n_{ij}} \quad \forall i \forall j \quad (8)$$

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าโรงงาน } j \text{ ส่งเอทานอลให้คลังน้ำมัน } k \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall j \forall k \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} \geq 1 \quad \forall j \quad (10)$$

$$z_j = x_{jk} \quad \forall j \forall k \quad (11)$$

$$\omega_k = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าคลังน้ำมัน } k \text{ เปิดรับเอทานอล} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall k \quad (12)$$

$$x_{jk} = \omega_k \quad \forall j \forall k \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K \omega_k \leq M \quad (14)$$

สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย 4 พจน์ คือ (1) สมการต้นทุนด้านวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบและราคาวัตถุดิบ, (2) สมการต้นทุนด้านการขนส่งวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่ง ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งและค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วย (3) สมการต้นทุนในการผลิตเอทานอลซึ่งในที่นี้ให้ความสำคัญกับขนาดของโรงงานตามหลักของความประหยัดเนื่องจากขนาด (Economy of scale) โดยใช้สมการในรูปของฟังก์ชันปัจจัยด้านขนาด (Scaling factor) (Buddadee, 2008)

สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมจะอ้างอิงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยสมการ 12 พจน์ คือ (1) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบปริมาณ n ผ่านเส้นทาง (i,j) (2) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งวัตถุดิบปริมาณ n ผ่านเส้นทาง (i,j) (3) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้สารเคมีในการผลิตเอทานอล (4) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในการกระบวนการผลิตเอทานอล (5) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตเอทานอล (6) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดมีเทนในการผลิตเอทานอล (7) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล (8) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งเอทานอลปริมาณ e ผ่านเส้นทาง (j,k) (9) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งเอทานอลปริมาณ e ผ่านเส้นทาง (j,k) (10) ค่าชดเชยของการนำเอาชานอ้อยมาผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์แทนที่จะนำไปเผาเพื่อผลิตไฟฟ้าซึ่งจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า (11) ค่าชดเชยของการนำเอาชานอ้อยมาผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์แทนที่จะใช้น้ำมันเบนซินปกติ

สำหรับสมการเป้าหมายด้านความปลอดภัยนั้นจะอ้างอิงจาก Alumar and Kara (2007) กล่าวคือจะใช้จำนวนประชากรที่จะได้รับผลกระทบจากการที่เอทานอลเกิดการรั่วไหลระหว่างเส้นทางการขนส่ง

เป็นตัวบ่งชี้ความเสี่ยง ดังนั้นสมการเป้าหมายด้านความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่และระยะทางจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังน้ำมันที่ทำการผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์

สมการข้อบ่งชี้ (1) เป็นสมการข้อจำกัดด้านสมมูลมวลเพื่อให้มั่นใจว่าวัตถุดิบจะมีเพียงพอต่อการผลิตเอทานอล สมการข้อบ่งชี้ (2) และ (3) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดขึ้นหรือไม่ สมการข้อบ่งชี้ (4) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าจะเปิดโรงงานเอทานอล j หรือไม่ สมการข้อบ่งชี้ (5) จำกัดให้มีการรับวัตถุดิบจากแหล่งเดียวสำหรับโรงงานเอทานอล 1 โรงงาน

สมการข้อบ่งชี้ (6) จำกัดจำนวนของโรงงานเอทานอลที่จะเปิด สมการข้อบ่งชี้ (7) เป็นสมการข้อจำกัดด้านสมมูลมวลสำหรับเอทานอลที่ผลิตได้ สมการข้อบ่งชี้ (8) กำหนดประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอล สมการข้อบ่งชี้ (9) และ (10) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าโรงงานเอทานอลที่เปิดจะส่งผลิตภัณฑ์ไปให้คลังน้ำมันใด สมการข้อบ่งชี้ (11) กำหนดให้โรงงานเอทานอล 1 โรงส่งผลิตภัณฑ์ไปให้คลังน้ำมันได้เพียง 1 คลังเท่านั้น สมการข้อบ่งชี้ (12) กำหนดตัวแปรตัดสินใจว่าคลังน้ำมันใดที่เปิดรับผลิตภัณฑ์บ้าง สมการข้อบ่งชี้ (13) จำกัดว่าโรงงานเอทานอลต้องส่งผลิตภัณฑ์ให้คลังน้ำมันในลักษณะหนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้น และสมการข้อบ่งชี้ (14) จำกัดจำนวนของคลังน้ำมันที่เปิดรับเอทานอล

2. กรณีศึกษาโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงงานน้ำตาลจำนวน 13 โรงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งวัตถุดิบและเป็นทั้งจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลด้วย โดยโรงงานทั้งหมดกระจายตัวอยู่ใน 7 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วย บุรีรัมย์, มุกดาหาร, อุดรธานี, กาฬสินธุ์, ขอนแก่น, ชัยภูมิ และ นครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 2

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้วัตถุดิบสำหรับโรงงานผลิตเอทานอลเป็นชานอ้อยหรือกากอ้อยที่เป็นวัสดุ

เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำตาล ซึ่งแต่เดิมจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในโรงงาน โดยปริมาณของชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมีปริมาณดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากศึกษาของ Buddadee et al. (2007) พบว่ากิจกรรมดังกล่าวก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงกว่า 582,177 ตันเทียบเท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

ข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลแบ่งออกสามส่วนได้แก่ (1) ข้อมูลด้านต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์, (2) ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม, และ (3) ข้อมูลด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัย โดยข้อมูลด้านต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์และข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้มาจากงานวิจัยของ Buddadee et al. (2007) ดังแสดงในตารางที่ 2

ในส่วนของข้อมูลด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัยนั้นคิดจากอันตรายของเอทานอลที่อาจเกิดขึ้นหากมีการรั่วไหล โดยอ้างอิง Emergency Response Guidebook for flammable liquid (2004) ซึ่งระบุแถบความเสี่ยงของเอทานอลไว้ที่ 800 เมตรในทุกทิศทาง นั่นคือจำนวนประชากรที่จะได้รับความเสี่ยงหากมีการรั่วไหลของเอทานอลจะมีค่าเท่ากับพื้นที่ของแถบความเสี่ยงคูณกับจำนวนความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ตลอดเส้นทางของการขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมัน โดยมีสมมติฐานว่าประชากรของแต่ละจังหวัดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในแต่ละพื้นที่ของจังหวัด

ข้อมูลทั้งหมดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้รับการประมวลผลโดยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป LINGO 4.0 บนคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลแบบ Pentium M 1400MHz และมีขนาดหน่วยความจำ (RAM) เท่ากับ 496 MB

อย่างไรก็ตาม เพื่อปรับให้ค่าสมการเป้าหมายเป็นหน่วยเดียวกัน ผู้วิจัยจึงใช้ค่าประมาณของราคาคาร์บอนเครดิต (Carbon credit) ในตลาด EUA ที่ราคา 27.51 ยูโรต่อตัน หรือคิดเป็นประมาณ 1,440 บาทต่อตันคาร์บอนเทียบเท่า ณ วันที่ 7 กรกฎาคม 2551 (<http://www.emit-markets.com>, 2008) และค่าชดเชยอันเกิด

จากการรั่วไหลของเอทานอล (Spill compensation) ประมาณจากค่าแรงขั้นต่ำต่อวันของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ 170 บาทต่อวันต่อคน ณ วันที่ 1 มิถุนายน 2551 (กระทรวงแรงงาน, 2551)

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองประมวลผลโดยกำหนดน้ำหนักของแต่ละสมการเป้าหมายต่างๆ กัน โดยแบ่งเป็น 15 กรณี พบว่าจำนวนของโรงงานเอทานอลที่จะเปิด และค่าของสมการวัตถุประสงค์มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3

จากนั้น ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้ไปสร้างแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการวัตถุประสงค์และน้ำหนักของแต่ละวัตถุประสงค์โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Minitab 15 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3

สรุปและอภิปรายผล

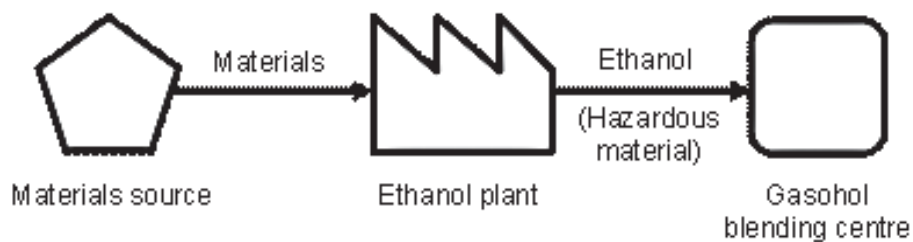
จากการทดลองพบว่า การให้น้ำหนักกับสมการเป้าหมายที่ต่างกันจะส่งผลให้มีการเปิดโรงงานเอทานอลในพื้นที่และจำนวนที่ต่างกัน โดยหากให้น้ำหนักในด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าปัจจัยด้านอื่นจะพบว่าจำนวนโรงงานเอทานอลที่จะเปิดจะมีจำนวนมากและกระจายตามจังหวัดต่างๆ รวมทั้งค่าของสมการเป้าหมายจะมีค่าเป็นลบ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เป็นปริมาณมากซึ่งตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean development mechanism; CDM) แล้วสามารถนำคาร์บอนเครดิตที่ได้ไปจำหน่ายให้ประเทศในกลุ่มที่พัฒนาแล้วได้ ดังนั้นค่าของสมการเป้าหมายจึงมีค่าเป็นลบ ในทางกลับกันหากให้น้ำหนักกับสมการเป้าหมายด้านความเสี่ยง จะพบว่าโรงงานน้ำตาลที่จะเปิดก็จะอยู่ในบริเวณจังหวัดเดียวกันกับคลังน้ำมันหรือใกล้เคียงเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดการรั่วไหลซึ่งจะทำให้ต้องจ่ายค่าชดเชยนั่นเอง

จะเห็นได้ว่าโรงงานเอทานอลมีแนวโน้มที่จะเปิดในตำแหน่งของโรงงานน้ำตาลกุ่มกวาปี จังหวัดอุดรธานีมากที่สุด กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำหนักของสมการเป้าหมายใน 15 กรณี พบว่าโรงงานน้ำตาลกุ่มกวาปีมีศักยภาพที่จะเปิดเป็นโรงงานเอทานอลมากถึง 14 กรณีหรือมีโอกาสถึงร้อยละ 93.33 ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลดังกล่าวอยู่ในทำเลที่ใกล้กับโรงงานน้ำตาลอื่นๆ ซึ่งทำให้การขนส่งชานอ้อยซึ่งเป็นวัตถุดิบของการผลิตเอทานอลมีต้นทุนที่ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับการตั้งโรงงานในตำแหน่งอื่นๆ และยังส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการขนส่งในระยะทางไกลๆ อีกด้วย

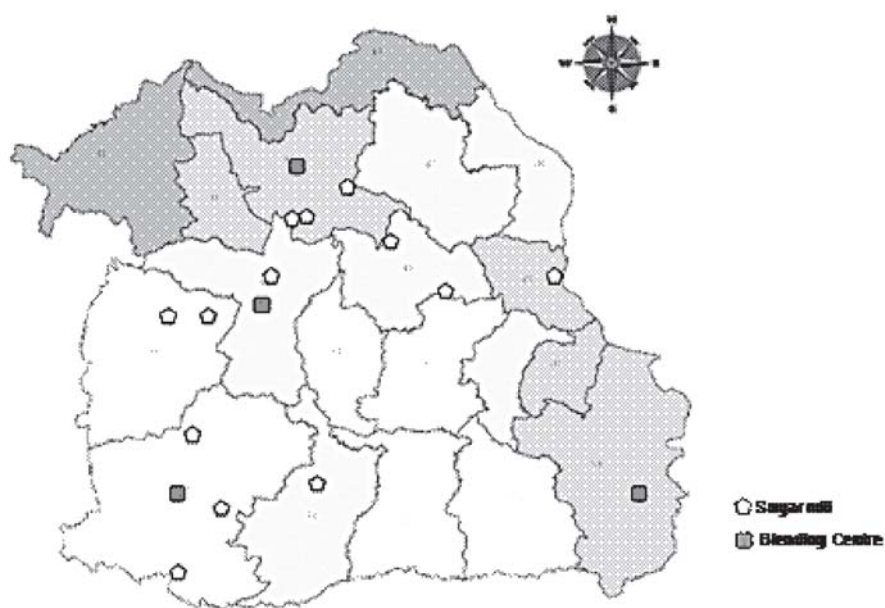
นอกจากนี้ด้วยระยะทางที่ไม่ไกลจากคลังน้ำมัน 2 แห่ง คือคลังน้ำมันอุดรธานี และคลังน้ำมันขอนแก่น จึงทำให้ความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการรั่วไหลของเอทานอลระหว่างขนส่งมีต่ำกว่าทางเลือกที่จะเปิดโรงงานเอทานอลในตำแหน่งอื่นๆ อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

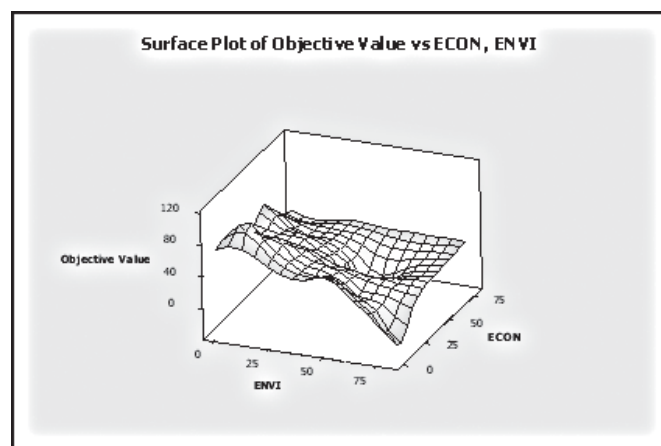
-อัตราค่าจ้างขั้นต่ำตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2551
http://www.mol.go.th/statistic_01.html
- กระทรวงพลังงาน. 2550. การส่งเสริมพลังงานทดแทนในภาวะราคาน้ำมันแพง. วารสารทิศทางการพลังงาน. 1:65-73.
-Carbon market overview. Available on line at <http://www.emit-markets.com/content/view/24/103/>
- Alumur, S., Kara, B.Y.. 2007. A new model for the hazardous waste location-routing problem. **Computers & Operations Research.** 34:1406-1423.
- 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.
- Brown, D.F., Policastro, A.J., Dunn W.E., Carhard, R.A., and Krumpolc, M. 2005. **Development of the Table of Initial Isolation and Protective Action Distances for the 2004 Emergency Response Guidebook**, Chicago: Argonne National Laboratory.
- Jacobsen, S.K. and Madsen, O.B.G, L. 1980. A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. **European Journal of Operational Research**, 6: 378-387.
- Jozefowicz, N., Semet, F. and Talbi, E..2008. Multi-objective vehicle routing problems. **European Journal of Operational Research.** 189: 293-309.
- Minnesota Pollution Control Agency. 2007. **Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota: A Guidance Document.** Minnesota. U.S.A.
- ReVelle, C.S. and Eiselt, H.A.. 2005. Location analysis: A synthesis and survey. **European Journal of Operational Research.** 165: 1-19.



รูปที่ 1. รูปแบบการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E10)



รูปที่ 2. ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลและคลังน้ำมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการวัตถุประสงค์กับน้ำหนักที่ให้กับแต่ละวัตถุประสงค์

ตารางที่ 1. ปริมาณชานอ้อยที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	จังหวัด	ปริมาณกากอ้อย (ตันต่อปี)
1	โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์	บุรีรัมย์	36,408
2	โรงงานน้ำตาลสหเรือง	มุกดาหาร	34,150
3	โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	อุดรธานี	68,129
4	โรงงานน้ำตาลเกษตรผล	อุดรธานี	52,631
5	โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี	อุดรธานี	52,303
6	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	ขอนแก่น	87,092
7	โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	ขอนแก่น	90,239
8	โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม	ชัยภูมิ	104,983
9	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	นครราชสีมา	89,330
10	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเหิน	นครราชสีมา	89,592
11	โรงงานน้ำตาลเอ็นวาย (ครบุรี)	นครราชสีมา	61,628
12	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน	กาฬสินธุ์	36,663
13	โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์	กาฬสินธุ์	61,259
รวม			864,406

(ที่มา: Buddadee และคณะ, 2007)

ตารางที่ 2. ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัยที่ใช้การตัดสินใจ

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

(ที่มา: ปรับปรุงจาก Buddadee และคณะ, 2007)

ตารางที่ 3. ผลการทดลองเปลี่ยนน้ำหนักของสมการวัตถุประสงค์ในด้านต่างๆ

กรณีที่	เศรษฐศาสตร์	สิ่งแวดล้อม	ความเสี่ยงด้านความปลอดภัย	โรงงานน้ำตาลที่ควรเปิดเป็นโรงงานเอทานอล ^{1/}	จำนวนโรงงานเอทานอล	ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์	หน่วย
1	10	10	80	5,8	2	100.8	ล้านบาท
2	20	20	60	2,3,5,8	4	74.1	ล้านบาท
3	30	30	40	5,6,7,8	4	50.1	ล้านบาท
4	40	40	20	5,6,7,9	4	16.6	ล้านบาท
5	50	50	0	1,2,3,6,8,9,12,13	8	-29.8	ล้านบาท
6	80	10	10	1,2,5	3	20.4	ล้านบาท
7	60	20	20	2,5,9	3	26.8	ล้านบาท
8	40	30	30	5	1	36	ล้านบาท
9	20	40	40	5	1	43.8	ล้านบาท
10	0	50	50	5,6,7,8,9	5	59.5	ล้านบาท
11	10	80	10	4,5,7,8,9,10,12	7	-25.2	ล้านบาท
12	20	60	20	3,5,9	3	13.5	ล้านบาท
13	30	40	30	5,6,7,9	4	30.9	ล้านบาท
14	40	20	40	4,5	2	51.2	ล้านบาท
15	50	0	50	1,5,6,7,11	5	70	ล้านบาท

^{1/} ตัวเลขแสดงโรงงานน้ำตาลอ้างอิงจากตารางที่ 1