บทที่ 4
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและมอบหมายเส้นทาง แบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์

4.1 การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย Lingo

จากรูปที่ 3.2 รูปแบบของโซ่อุปทานการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ลักษณะของการขนส่ง แบบหลายระดับ จะสามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและมอบหมายเส้นทาง แบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์ โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย จากกรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ดังแสดงข้างล่าง ซึ่งปรับปรุงจาก: Buddadee และคณะ (2008) และ Nanthasamroeng และคณะ (2008)

4.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ

O_{ij}^{ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง ชานอ้อยไปโรงงานเอทานอล (i, j): หน่วยตัน

O_{tj}^{Ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง กากมันไปโรงงานเอทานอล (t, j): หน่วยตัน

e_{jk} = ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งระหว่างโรงงานเอทานอลไปคลังน้ำมัน (j, k): หน่วยลิตร

H_{i}^{ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบชานอ้อย i: หน่วยตัน

H_{t}^{Ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบกากมัน t: หน่วยตัน

4.1.2 พารามิเตอร์

i = จำนวนโรงงานน้ำตาล (โรง)

j = จำนวนโรงงานเอทานอล (โรง)

k = จำนวนคลังน้ำมัน (โรง)

t = จำนวนโรงงานแป้งมัน (โรง)

$m1$ = ราคาวัตถุดิบต่อหน่วยของชานอ้อย (บาท/ตัน)

$m2$ = ราคาวัตถุดิบต่อหน่วยของกากมัน (บาท/ตัน)

θ	=	ต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วย (บาท/กิโลเมตร/ตัน)
a	=	ต้นทุนการขนส่งเอทานอลต่อหน่วย (บาท/กิโลเมตร/ลิตร)
d_{ij}^{ω}	=	ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบชานอ้อยถึงโรงงานเอทานอล (i, j): หน่วยกิโลเมตร
d_{tj}^{Ω}	=	ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบกากมันถึงโรงงานเอทานอล (t, j): หน่วยกิโลเมตร
r_{jk}	=	ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังน้ำมัน (j, k): หน่วยกิโลเมตร
$POTR_{jk}$	=	โอกาสความเสี่ยงที่เกิดจากการขนส่งเอทานอล (j, k): หน่วยคนต่อพื้นที่
$POFR_j$	=	โอกาสความเสี่ยงที่เกิดจากโรงงานเอทานอล (j): หน่วยคนต่อพื้นที่
FBC_j	=	ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอล กรณีรับวัตถุดิบทั้งชานอ้อยและกากมัน (บาท)
FB_j	=	ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอล กรณีรับวัตถุดิบเฉพาะชานอ้อย (บาท)
FC_j	=	ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอล กรณีรับวัตถุดิบเฉพาะกากมัน (บาท)
KBC_j	=	จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีรับวัตถุดิบ ทั้งชานอ้อยและกากมัน (ตัน)
KB_j	=	จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีรับวัตถุดิบเฉพาะชานอ้อย (ตัน)
KC_j	=	จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีรับวัตถุดิบเฉพาะกากมัน (ตัน)
γ	=	emission factor สำหรับการขนส่งทั้งจาก (i, j), (t, j) และ (j, k) (บาท/กิโลเมตร/ตัน)
b	=	emission factor สำหรับการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง ทั้งจาก (i, j), (t, j) และ (j, k) (บาท/กิโลเมตร/ตัน)
f	=	emission factor สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)
g	=	emission factor ของ CO2 จากการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)
h	=	emission factor ของ CH4 จากการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)
δ	=	emission factor การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)
v	=	offset emission factor ของ E10 ที่เกิดจากการผลิตเอทานอล เพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอลล์ (บาท/ตัน)
w	=	offset emission factor ของ gasoline ที่เกิดจากการผลิตเอทานอล เพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอลล์ (บาท/ตัน)
u	=	ต้นทุนความเสี่ยงต่อหน่วย (บาท/หน่วยคนต่อพื้นที่)
λ_1	=	production efficiency factor สำหรับการเปลี่ยนชานอ้อยให้เป็นเอทานอล (ลิตร/ตัน)
λ_2	=	production efficiency factor สำหรับการเปลี่ยนกากมันให้เป็นเอทานอล (ลิตร/ตัน)

4.1.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

4.1.3.1 สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic objectives)

Minimize

$$m1\times(\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}O_{ij}^{\omega}y_{ij})+m2\times(\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}O_{tj}^{\Omega}s_{tj})+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\theta O_{ij}^{\omega}d_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\theta O_{tj}^{\Omega}d_{tj}^{\Omega}s_{tj}+$$
$$\sum_{j=1}^{J}FBC_{j}Q_{j}^{bc}+\sum_{j=1}^{J}FB_{j}Q_{j}^{b}+\sum_{j=1}^{J}FC_{j}Q_{j}^{c}+\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}ae_{jk}r_{jk}x_{jk} \quad (4.1)$$

4.1.3.2 สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (Environment objectives)

Minimize

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\gamma d_{ij}^{\omega}O_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}bd_{ij}^{\omega}O_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}fO_{ij}^{\omega}y_{ij}+$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}gO_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}hO_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\delta O_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\gamma r_{jk}e_{jk}x_{jk}+$$
$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}br_{jk}e_{jk}x_{jk}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}vO_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}wO_{ij}^{\omega}y_{ij}+$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\gamma d_{tj}^{\Omega}O_{tj}^{\Omega}s_{tj}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}bd_{tj}^{\Omega}O_{tj}^{\Omega}s_{tj}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}fO_{tj}^{\Omega}s_{tj}+$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}gO_{tj}^{\Omega}s_{tj}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}hO_{tj}^{\Omega}s_{tj}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\delta O_{tj}^{\Omega}s_{tj}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}vO_{tj}^{\Omega}s_{tj}+v\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}wO_{tj}^{\Omega}s_{tj} \quad (4.2)$$

or

Minimize

$$(\gamma+b)\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}d_{ij}^{\omega}O_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}d_{tj}^{\Omega}O_{tj}^{\Omega}s_{tj}+\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}r_{jk}e_{jk}x_{jk}\right]+$$
$$(f+g+h+\delta+v+w)\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}O_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}O_{tj}^{\Omega}s_{tj}\right]$$

4.1.3.3 สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัย (Social risk objective)

Minimize

$$\sum_{k=1}^{K} \mu POTR_{jk} x_{jk} + \sum_{j=1}^{J} \mu POFR_j Q_j^{bc} + \sum_{j=1}^{J} \mu POFR_j Q_j^{b} + \sum_{j=1}^{J} \mu POFR_j Q_j^{c} \qquad (4.3)$$

4.1.3.4 สมการขอบข่าย (Constraints)

Subject to;

$$\sum_{i=1}^{I} H_i^{\omega} + \sum_{t=1}^{T} H_t^{\Omega} \le Q_j^{bc} KBC_j + Q_j^{b} KB_j + Q_j^{c} KC_j \qquad \forall j \qquad (4.4)$$

$$\lambda 1 \sum_{i=1}^{I} H_i^{\omega} + \lambda 2 \sum_{t=1}^{T} H_t^{\Omega} \le \sum_{k=1}^{K} e_{jk} \qquad \forall j \qquad (4.5)$$

$$Q_j^{bc} + Q_j^{b} + Q_j^{c} \le 1 \qquad \forall j \qquad (4.6)$$

$$Q_j^{bc} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j is open for twosources} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.7)$$

$$Q_j^{b} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j is open for bagasse} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.8)$$

$$Q_j^{c} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j is open for cassava pulp} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.9)$$

$$\sum_{i=1}^{I} O_{ij}^{\omega} y_{ij} = H_i^{\omega} \qquad \forall i \qquad (4.10)$$

$$\sum_{i=1}^{I} y_{ij} \ge 1 \qquad \forall j \qquad (4.11)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if bagasse from node i send material to ethanol plant j} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.12)$$

$$\sum_{t=1}^{T} O_{tj}^{\Omega} s_{tj} = H_t^{\Omega} \qquad \forall t \qquad (4.13)$$

$$\sum_{t=1}^{T} s_{tj} \geq 1 \qquad \forall j \qquad (4.14)$$

$$s_{tj} = \begin{cases} 1 & \text{if cassava pulp from node t send material to ethanol plant j} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.15)$$

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \geq 1 \qquad \forall k \qquad (4.16)$$

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j send ethanol to blending centre k} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall k \qquad (4.17)$$

$$y_{ij} \leq Q_j^{bc} + Q_j^{b} \qquad \forall i, j \qquad (4.18)$$

$$s_{tj} \leq Q_j^{bc} + Q_j^{c} \qquad \forall t, j \qquad (4.19)$$

สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ (4.1) ประกอบด้วย 4 พจน์หลัก คือ (1) สมการต้นทุนวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและราคาวัตถุดิบ (2) สมการต้นทุนด้านการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบ ระยะทาง และราคาต่อหน่วยของการขนส่งวัตถุดิบ โดยพจน์ที่ (1) และ (2) มี 2 ส่วนคือวัตถุดิบจากชานอ้อยและกากมัน (3) ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอลซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตต่อวัน โดยในพจน์นี้มี 3 ส่วนซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการสร้างโรงงานที่รับวัตถุดิบเป็นชานอ้อยอย่างเดียว กากมันอย่างเดียว และจากทั้งสองส่วน (4) สมการต้นทุนการขนส่งเอทานอลซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณเอทานอล ระยะทาง และราคาต่อหน่วยของการขนส่งเอทานอล

สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (4.2) อ้างอิงจากการศึกษาของ นัทธพงศ์ (2552) ซึ่งเป็นการอ้างอิงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย 2 พจน์หลักใหญ่ๆ คือ (1) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง ซึ่งในพจน์นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณชานอ้อย กากมัน เอทานอลที่ทำการขนส่ง และระยะทางในการขนส่ง (2) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้สารเคมีในการผลิตเอทานอล, ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตเอทานอล, ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากมีเทนจากการผลิตเอทานอล, ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการ

ผลิตเอทานอล, ค่าชดเชยของการนำเอาชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อนำมาไปใช้เป็นแก๊สโซฮอลล์ และค่าชดเชยของการนำเอาชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอลล์แทนที่จะใช้น้ำมันเบนซินปกติ ซึ่งในพจน์นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของชานอ้อยและกากมันเป็นหลัก

สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัย (4.3) นั้นจะอ้างอิงและปรับปรุงจาก นัทธพงศ์ (2552) กล่าวคือ จะใช้จำนวนประชากรที่จะได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลระหว่างเส้นทางการขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมัน และจะใช้ความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่รอบโรงงานผลิตเอทานอลที่จะได้รับผลกระทบหากเกิดการรั่วไหลหรือระเบิดของเอทานอลบริเวณโรงงานผลิต

สมการขอบข่ายประกอบด้วย (4.4) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบชานอ้อยและกากมันไม่ให้ส่งไปเกินในโรงงานทั้งสามประเภท (4.5) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลเอทานอลที่เกิดจากชานอ้อยและกากมันไม่ให้เกินจำนวนเอทานอลที่ส่งไปทั้งหมด สมการขอบข่าย (4.6), (4.7), (4.8) และ (4.9) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าจะเปิดโรงงานแบบใดซึ่งประกอบด้วย การใช้ชานอ้อยหรือกากมันเป็นวัตถุดิบอย่างเดียวหรือการใช้ทั้งสองส่วนเป็นวัตถุดิบในการผลิต (4.10) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบชานอ้อยเพื่อให้มั่นใจว่ามีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิต สมการขอบข่าย (4.11) และ (4.12) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบชานอ้อยจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดหรือไม่ (4.13) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบกากมันเพื่อให้มั่นใจว่ามีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิต สมการขอบข่าย (4.14) และ (4.15) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบกากมันจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดหรือไม่ สมการขอบข่าย (4.16) และ (4.17) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าโรงงานเอทานอลที่เปิดจะส่งเอทานอลไปคลังน้ำมันใดบ้าง (4.18) สมการขอบข่ายที่กำหนดให้การส่งชานอ้อยไปยังโรงงานที่รับชานอ้อยอย่างเดียวและที่รับจากทั้งสองส่วน (4.19) สมการขอบข่ายที่กำหนดให้การส่งกากมันไปยังโรงงานที่รับกากมันอย่างเดียวและที่รับจากทั้งสองส่วน

หลังจากที่ได้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แล้ว สิ่งที่สำคัญคือการพิสูจน์ว่าตัวแบบนั้นถูกต้องหรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้มีการพิสูจน์ด้วย 2 แนวทางคือ 1) พิสูจน์ด้วยการทดลองในโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ซึ่งผลที่ได้นั้น โปรแกรมสามารถรันผลออกมาได้โดยไม่มีปัญหาข้อบกพร่องใดๆ เลย แต่ก็ไม่ใช่ว่าตัวแบบนั้นจะไม่มีข้อผิดพลาดเลย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจจึงต้องพิสูจน์ด้วยอีกวิธีคือ 2) การทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) โดยผลการทดลองทั้งหมดนั้นทดสอบด้วยการคำนวณด้วยมือโดยใช้โปรแกรม Excel เป็นตัวช่วย ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.1 โดยผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดนั้นพบว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้งานได้

4.2 ผลการวิจัย

เมื่อทำการทดลองโดยที่กำหนดให้สมการเป้าหมายแต่ละตัวมีค่าน้ำหนักเท่ากัน ผลการทดสอบพบว่า บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด จังหวัดนครราชสีมา จะเปิดรับกากมันอย่างเดียวมาผลิตเป็นเอทานอล และบริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์) จังหวัด กาฬสินธุ์ จะเปิดรับทั้งชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอล โดยที่รายละเอียดการส่งวัตถุดิบจากโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันไปยังโรงงานเอทานอลทั้งสอง รวมทั้งการแสดงผลการส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลทั้งสองไปยังคลังน้ำมันย่อยแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.2

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยอาจจะไม่สอดคล้องกับการดำเนินงานจริงในปัจจุบันของโรงงานเอทานอลที่ทำการผลิตในขณะนี้ เนื่องจากงานวิจัยที่จัดทำขึ้นอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ต้องการกำหนดแผนงานเชิงกลยุทธ์ (Strategic Planning) ของโรงงานเอทานอลที่มีอยู่แล้วเท่านั้น เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจหรือวางแผนในอนาคตหากต้องการที่จะขยายการลงทุนสำหรับโรงงานเอทานอลที่เปิดดำเนินการผลิตอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์

สมการ	สิ่งที่ควรจะเป็น	การทดสอบ	ผลการทดสอบ	บทสรุป
(4.1) (4.2) (4.3)	สมการเป้าหมายทั้งสาม หน่วยวัดต้องเป็นหน่วยเดียวกัน	แทนค่าทุกพารามิเตอร์เข้าไปในสมการเป้าหมายทั้งสาม	ได้หน่วยวัดเป็นบาทเหมือนกันทั้งสามสมการเป้าหมาย	ถูกต้อง
(4.1) (4.2)	ผลลัพธ์ของเป้าหมายแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณวัตถุดิบและระยะทาง	สลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งวัตถุดิบที่มีปริมาณมากๆ ให้ส่งในระยะทางที่ใกล้ๆ กับโรงงานเอทานอล	สมการเป้าหมายทั้งสองมีมูลค่าที่ลดลง	ถูกต้อง
(4.3)	ผลลัพธ์ของเป้าหมายแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณความหนาแน่นของประชากร	สลับสับเปลี่ยนเส้นทางการขนส่งเอทานอลในที่ที่มีประชากรน้อยๆ ไปยังคลังน้ำมัน	สมการเป้าหมายมีมูลค่าที่ลดลง	ถูกต้อง
(4.5)	ผลผลิตเอทานอลที่ได้ต้องไม่เกินปริมาณที่มีการขนส่งจากการตัดสินใจ	นำผลที่ได้จากตารางที่ 4.2 มาทวนสอบโดยนำวัตถุดิบมาแปลงเป็นเอทานอลแล้วเปรียบเทียบกับการขนส่งไปคลังน้ำมัน	ผลผลิตเอทานอลที่ได้ไม่เกินปริมาณที่มีการขนส่งไปคลังน้ำมัน	ถูกต้อง

(4.6) (4.7) (4.8) (4.9)	จะต้องไม่มีโรงงานเอทานอลที่ตัดสินใจมากกว่าหนึ่งทางเลือก	แทนค่าในสมการขอบข่าย หากสมการ (4.7) (4.8) (4.9) = 1 ทั้งหมดจะทำให้สมการ (4.6) เป็นเท็จทันที	โรงงานเอทานอลตัดสินใจทางเลือกเดียวคือ รับชานอ้อย, รับกากมันหรือทั้งสองอย่างอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น	ถูกต้อง

4.3 สรุปและอภิปรายผล

ผลการวิจัยที่ได้ เป็นการทดสอบเพื่อทำการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลการทดลองด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป สรุปได้ว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้งานได้ และงานวิจัยนี้เป็นการคัดเลือกหาสถานที่ตั้งที่หลายจุดประสงค์ จากค่าวัตถุประสงค์ที่คำนวณได้จะพบว่าสมการเป้าหมายด้านความเสี่ยงความปลอดภัยมีผลกระทบต่อต้นทุนรวมน้อยที่สุด โดยที่สมการเป้าหมายที่มีผลกระทบสูงสุดในต้นทุนรวมคือ สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาแล้วผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเอทานอล และจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังน้ำมัน ดังนั้นทำให้สรุปผลได้ว่าที่โปรแกรมได้เลือกโรงงานเอทานอลทั้งสองนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่งทั้งระบบ ทั้งนี้การทดลองที่ได้เพียงแค่นำข้อมูลบางส่วนมาใช้ทดสอบเท่านั้น แต่สำหรับแนวทางในการวิจัยต่อไปจะต้องนำข้อมูลโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันทั้งหมดมาใช้ในการวิจัย

การทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการทดลอง ซึ่งในแต่ละกรณีต้องใช้เวลาอย่างน้อย 27 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย และยิ่งต้องเพิ่มจำนวนโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันเข้าไปอีกเป็นจำนวนมาก การทดลองก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นจำนวนมาก ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 และเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นดังนั้นการทดลองจะต้องเลือกใช้วิธีการที่สูงขึ้น คือ กระบวนการเมตาฮิวริสติก ซึ่งรูปแบบในการออกแบบอัลกอริทึมและผลการทดลองที่ได้นั้น ได้แสดงในบทที่ 5 ต่อไป

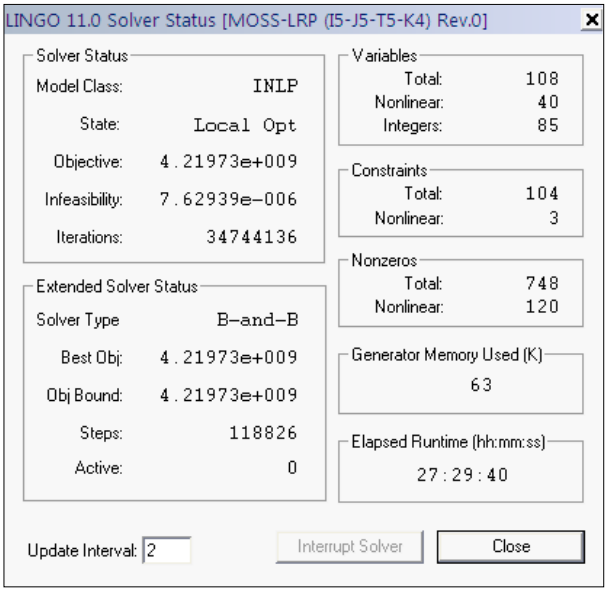
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน

แหล่งวัตถุดิบ			**แหล่งผลิตเอทานอล**	**แหล่งรับเอทานอล**		**ค่าฟังก์ชั่นของสมการเป้าหมาย**
โรงงาน	ปริมาณส่ง (ตัน)	ประเภทวัตถุดิบ	โรงงาน	คลังน้ำมัน	ปริมาณรับเอทานอล (ลิตร)	
3.4(1)	21,600	กากมัน	3.5(3)	อุดรธานี	3,060,000	ECON = 24,336 ล้านบาท ENRO = 17,860.4 ล้านบาท SRISK = 0.6 ล้านบาท TOTAL = 42,197 ล้านบาท
3.4(4)	14,400	กากมัน				
3.2(1)	104,983	ชานอ้อย	3.5(4)	อุดรธานี	12,000,000	
3.2(2)	90,239	ชานอ้อย				
3.2(3)	89,952	ชานอ้อย				
3.2(4)	89,330	ชานอ้อย		นครราชสีมา	11,861,320	
3.2(5)	87,092	ชานอ้อย				
3.4(2)	15,840	กากมัน				
3.4(3)	14,400	กากมัน		ขอนแก่น	12,000,000	
3.4(5)	11,520	กากมัน				

(หมาเหตุ: ตัวเลขหน้าวงเล็บคือตารางที่, ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่)

ตารางที่ 4.3 สรุปขนาดของปัญหาที่ทำทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0

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



รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0