



ภาคผนวก ก
ตารางเวลาเดินรถประจำทาง ปอ.12

ตารางที่ ก.2 เก็บรวบรวมปริมาณผู้ใช้รถประจำทางของจังหวัดพิษณุโลก (รถบัสสีเทา ปอ.12) ในช่วงเวลาการเดินรถประจำทางของจังหวัดพิษณุโลก (รถบัสสีเทา ปอ.12) ของสายรอบใน

[illegible]



ภาคผนวก ข
การใช้โปรแกรม Lindo

การใช้โปรแกรมLINDO

การโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) เป็นวิธีการหรือขั้นตอนการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาหรือหาคำตอบของกลุ่มหรือสมการที่กำหนดให้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ เป็นในลักษณะของสัดส่วนหรือการแปรผันตรง (Direct Proportion) หรืออาจกล่าวในทางคณิตศาสตร์ได้ว่า เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์แสดงกำลังของทุกตัวแปรเป็นหนึ่ง เช่น $Y = X_1 - 2X_2$ หรือ $Z \geq 2X_1 + 3X_2 + 4X_3$ เป็นต้น การโปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจแก้ปัญหาในเรื่องสูตรอาหาร จัดเป็นวิธีการเชิงปริมาณที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้ "Optimization Theory" ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ 1) ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ (Decision Variables) ได้แก่ ตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องการทราบค่าและกำหนดขึ้นมาได้หรือไม่ 2) เงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraints) ได้แก่ ข้อจำกัดใด ๆ ในการสร้างสูตร อาจเป็นข้อจำกัดของโรงงาน เทคโนโลยี กฎหมายหรือทางโภชนาการ เป็นต้น ทางเลือกที่อยู่ในขอบเขตของข้อจำกัดถือเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) เงื่อนไขเหล่านี้ จะกำหนดขึ้นในลักษณะของสมการหรืออสมการ 3) ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) เป็นเป้าหมายหลักของโปรแกรม ซึ่งกำหนดในรูปของฟังก์ชันเชิงเส้นตรง (Linear Function) และจำกัดโดยชุดของเงื่อนไข เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ โดยปกติทางเลือกจะกำหนดในเชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น ต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize) กำไรและผลตอบแทนสูงสุด (Maximize) (ศิริลักษณ์, 2533)

การโปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่ง ดังนี้

$$\text{Optimize : } Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$$

Subjective to Constraints :

$$A_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$A_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

.

$$A_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

โดยที่

$X_1, X_2, \dots, X_n$ เป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ (ที่ใช้ในการตัดสินใจ)

$c_1, c_2, \dots, c_n$ เป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของสมการเป้าหมาย

a_{ij} เป็นค่าคงที่ สัมประสิทธิ์ของขอบเขตจำกัด ควบคุมได้

แต่มีขอบเขตจำกัด จึงอยู่ใน Inequality ในสมการ
 b_i เป็นค่าคงที่ ซึ่งเรียกว่า Right Hand Side (RHS)
 มีขอบเขตจำกัด

ในการคำนวณ จำเป็นต้องกำหนดเป้าหมาย ซึ่งมีความเป็นไปได้ 2 ทาง คือ 1) หาค่าสูงสุด (Maximize) เช่น กำไรสูงสุด ปริมาณโปรตีนสูงสุดหรือไวตามินสูงสุด เป็นต้น และ 2) หาค่าต่ำสุด (Minimize) เช่น หารต้นทุนต่ำสุด หรือให้พลังงานต่ำสุด เป็นต้น

ในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งปัจจุบันมีมากมายหลายโปรแกรม ส่วนใหญ่มีวิธีการใช้งาน คล้ายคลึงกัน โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น LINDO เป็นอีกโปรแกรมหนึ่ง ซึ่งมีการใช้งานยืดหยุ่น พหุتمควร จัดเป็นโปรแกรมที่มีรูปแบบคำสั่งเป็นลักษณะโครงสร้าง จึงอาจทำให้ดูเหมือนยากต่อการทำความเข้าใจในตอนเริ่มต้น แต่ไม่ยากหากได้เริ่มใช้งานจริงโปรแกรม LINDO จะ run ภายใต้อินเตอร์เฟซ Windows 3.xx เป็นต้นไป เวอร์ชันที่ใช้ คือ 6.1 เป็นเวอร์ชันสำหรับ Windows 3.xx (แต่สามารถใช้ได้กับ Windows 95/98) ดังนั้น ยังคงมีข้อจำกัดในการบันทึก (Save) เป็นชื่อไฟล์ซึ่งมีความยาวไม่เกิน 8 ตัวอักษร ส่วนการใช้โปรแกรมจะได้กล่าวถึงเป็นเบื้องต้นต่อไป

1.1 การใช้งานโปรแกรม LINDO

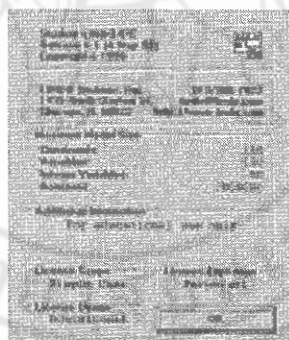
เมื่อเข้าสู่โปรแกรม จะแนะนำเกี่ยวกับตัวโปรแกรมและแสดงรายละเอียดถึงความสามารถของเวอร์ชันที่ใช้งาน (รูปที่ 1.1) ซึ่งเป็น Student Version เช่น มีข้อจำกัด (Constraints) ได้ไม่เกิน

250 ข้อจำกัดและมีตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจไม่เกิน 500 ตัวแปร เป็นต้น หลังจากนั้น โปรแกรมจะเข้าสู่ส่วนใช้งานที่เรียกว่า กรอบสำหรับป้อนโมเดล(Model Window) ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งใช้สำหรับป้อนสมการเป้าหมายและข้อจำกัดต่าง ๆ

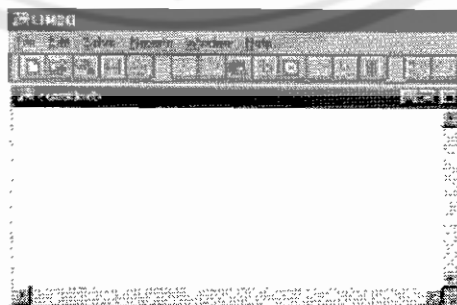
1.1.1 รูปแบบของโมเดล

ประกอบด้วยคำสั่งของโปรแกรม ชื่อตัวแปร สมการ และอสมการต่าง ๆ โดยเรียงกันไปเป็นบรรทัดต่อบรรทัด หากไม่พอในบรรทัดเดียวสามารถต่อบรรทัดใหม่ได้ เพื่อให้สะดวกต่อการตรวจทาน ควรป้อนข้อมูลเป็นบรรทัด ๆ ไป ในลักษณะต่อไปนี้

```
Min 0.10 Var1 + 0.15 Var2 + 0.20 Var3 ! Minimize cost
Subject to
Protein) 0.20 Var1 + 0.05 Var2 + 0.12 Var3 >= 13
Fat)      0.01 Var1          + 0.08 Var3 <= 2
Fiber)    0.04 Var1 + 0.11 Var2          >= 4
Total)    Var1 +          Var2 +          Var3 = 100
End
SLB Var1 15
SUB Var1 30
```



รูปที่ 1.1 : โปรแกรม LINDO



รูปที่ 1.2 : กรอบสำหรับป้อนโมเดล (Model Window)

รูปแบบดังกล่าว ประกอบด้วยส่วนแรก คือ กำหนดสมการเป้าหมาย ซึ่งเป็น Max (Maximize) หรือ Min (Minimize) เท่านั้น ให้สังเกตว่า ไม่มีเครื่องหมาย = หลัง Min หรือ Max) ถัดมาจะเป็นส่วนของข้อจำกัด โดยขึ้นต้นคำสั่งเป็น Subject to หรือ ST หรือ S.T. และจบด้วย End เมื่อสิ้นสุดข้อจำกัดสุดท้าย ในแต่ละข้อจำกัดนั้น เริ่มด้วยชื่อของข้อจำกัดและมีเครื่องหมายวงเล็บปิด ") " เพื่อแสดงว่าชื่อข้อจำกัดหมดเพียงเท่านั้น (ต้องไม่ลืมใส่วงเล็บปิดต่อท้ายแต่ละชื่อของข้อจำกัด) หลังจากส่วนข้อจำกัด จะเป็นคำสั่งที่กำหนดข้อจำกัดย่อยของตัวแปร ตามตัวอย่าง SLB (Simple lower bound) หรือขอบเขตจำกัดล่าง เป็นการกำหนด ตัวแปร Var1 ให้มีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 15 ส่วน SUB (Simple upper bound) หรือขอบเขตจำกัดบน เป็นการกำหนดให้ตัวแปร Var1 มีค่าไม่เกิน 30

1.1.2 ข้อกำหนดของโปรแกรม

- **ชื่อตัวแปรและข้อจำกัด** : ขึ้นต้นด้วยพยัญชนะเสมอ มีตัวเลขผสมได้ รวมทั้งเครื่องหมายและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ยกเว้น !) + - = < > และมีความยาวไม่เกิน 8 ตัวอักษร ใช้เฉพาะพยัญชนะภาษาอังกฤษ ตัวพิมพ์เล็กมีค่าเช่นเดียวกับตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น Var1 = VAR1 = var1 = vAR1 เป็นต้น
- **หมายเหตุ** : ข้อความหรือคำสั่งใด ๆ ที่ตามหลังเครื่องหมาย ! จะไม่สามารถใช้ในการประมวลใด ๆ ดังนั้น จึงอาจใช้เครื่องหมาย ! เพื่อต้องการหมายเหตุในช่วงใด ๆ เช่น อาจใช้ในการหมายเหตุที่มาหรือชื่อข้อจำกัดหรือตัวแปรซึ่งจำกัดเพียง 8 ตัวอักษร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หากหมายเหตุมีความยาวกว่า 1 บรรทัด เมื่อขึ้นบรรทัดใหม่ ต้องใส่เครื่องหมาย ! ก่อนเสมอ
- **คำสั่ง FREE** : โดยปกติโปรแกรมจะกำหนดขอบเขต(Bound)เป็นค่าดั้งเดิม (Default) คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 0 เสมอ หากตัวแปรสามารถมีค่าเป็นลบได้ ให้กำหนดตัวแปรนั้นตัวหลังคำสั่ง Free เช่น Free Var1 เป็นต้น
- **คำสั่ง GIN** : เป็นกำหนดตัวแปรให้เป็นเลขจำนวนเต็มบวก ซึ่งเหมาะสำหรับใช้กับตัวแปรที่ไม่ควรเป็นเศษ เช่น จำนวนคน จำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ เป็นต้น แต่ในบางกรณี การใช้คำสั่ง GIN ต้องพิจารณาให้รอบคอบ เพราะจะเป็นการปิดเศษขึ้นเสมอ ในกรณีที่คำนวณจำนวนเครื่องจักรเป็น 2.1 หากใช้ GIN จะได้เป็น 3 ซึ่งอาจส่งผลต่อการพิจารณาได้เพราะเครื่องจักร 2 และ 3 เครื่อง มูลค่า

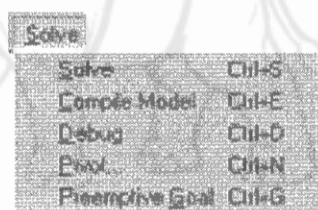
ของการลงทุนแตกต่างกันสูง หากไม่ต้องการให้ปัดเป็น 3 และให้จำนวนเครื่องจักรเป็น 2 เมื่อคำนวณตามปกติแล้วพบเหตุการณ์ในกรณีดังกล่าว อาจกำหนด SUB ของตัวแปรเครื่องจักรเป็น 2 สามารถทำให้จำนวนเครื่องจักรจาก 2.1 เหลือ 2.0 ได้

1.1.3 โอเปอเรเตอร์ (Operator)

โปรแกรมมีโอเปอเรเตอร์เพียง 5 ตัวเท่านั้น คือ บวก(+) ลบ(-) มากกว่า(>) น้อยกว่า (<) เท่ากับ (=) หากต้องการกำหนดข้อจำกัดเป็นมากกว่าหรือเท่ากับ ให้ใช้ >= หากเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับให้ใช้ <=

1.1.4 การแก้สมการ (Solve)

เมื่อทำการป้อนข้อมูลต่าง ๆ จนครบถ้วนแล้ว ในการแก้สมการหรือปัญหา ทำโดยเลือกที่เมนู Solve และเลือกเมนูย่อย Solve ดังรูปที่ 1.3 หรือหากไม่เลือกที่เมนู อาจเลือกปุ่ม  บน Tool bar หรืออาจใช้ปุ่มลัด โดยกดแป้น Ctrl ตามด้วย S (โดยที่ยังกดแป้น Ctrl ดังอยู่)



รูปที่ 1.3 : เมนู Solve

1.2 การแก้ปัญหา

ตัวอย่างที่ 1.1

บริษัท A ทำการผลิตอาหาร 2 ชนิด โดยที่ชนิดที่ 1 จะทำกำไร 2.25 บาท/ชิ้น ขณะที่ชนิดที่ 2 กำไร 1.75 บาทต่อชิ้น โดยที่อาหารแต่ละชนิดใช้วัตถุดิบ 100 กรัมและ 90 กรัมตามลำดับ บริษัทมีพนักงาน 80 คน สามารถหาวัตถุดิบเพื่อการผลิตได้เพียงวันละ 400 กิโลกรัม อาหารชนิดที่ 1 สามารถผลิตได้ 40 ชิ้นต่อคนต่อวัน ส่วนชนิดที่ 2 สามารถผลิตได้ 50 ชิ้นต่อคนต่อวัน อยากทราบว่าควรผลิตอาหารแต่ละชนิดเป็นปริมาณเท่าใดจึงให้กำไรสูงสุด (บริษัทไม่มีปัญหาด้านการจำหน่าย)

ให้ป้อนสมการเป้าหมาย และข้อจำกัดต่าง ๆ ลงใน Model Window ดังนี้

```

Max    2.25 A + 1.75 B
ST
RM)      0.1    A + 0.09 B    <= 400
WORKER)  0.025 A + 0.02 B    = 80
END

```

บรรทัดแรก เป็นการกำหนดสมการเป้าหมาย คือ กำไรสูงสุด (Max) A และ B คือ จำนวนชิ้นของผลิตภัณฑ์ A และ B ที่ต้องผลิตเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด ดังนั้น กำไรสูงสุด จึงมาจาก ผลกำไรต่อชิ้น คูณด้วยจำนวนชิ้นที่ผลิตได้ คือ กำไร 2.25 บาทต่อชิ้น คูณด้วย A + กำไร 1.75 บาทต่อชิ้น คูณด้วย B (ให้สังเกตว่า ไม่ต้องมีเครื่องหมายคูณ (*) ระหว่าง 2.25 A หรือ 1.75 B)

ถัดมา ST เป็นการกำหนดให้ทราบว่าเป็นข้อจำกัด โดยมี 2 ข้อจำกัด คือ วัตถุดิบ และคนงาน ซึ่งกำหนดข้อจำกัดเป็น RM (Raw material) และ Worker ตามลำดับ โดยข้อจำกัด RM คือ จำนวนวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตอาหารแต่ละชนิด คูณด้วยจำนวนชิ้น จะได้เป็นน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด เนื่องจากวัตถุดิบหาได้เพียง 400 กิโลกรัม ดังนั้น หน่วยของ น้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารแต่ละชนิด จึงต้องมีหน่วยเช่นเดียวกัน คือ 0.1 กิโลกรัม และ 0.09 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนคนงาน ก็เช่นเดียวกัน คือ มีคนงาน 80 คน 0.025 A หมายถึง แต่ละชิ้นใช้คนงาน 0.025 คน มาจากคนงานผลิตอาหาร A ได้ คนละ 40 ชิ้นวัน ดังนั้น 1 ชิ้นใช้คน $1/40 = 0.025$ คน ชิ้น คูณด้วยจำนวนชิ้น A รวมกับ 0.02 คน ชิ้น คูณกับจำนวนชิ้น B เท่ากับจำนวนคนงานทั้งหมด การกำหนดเป็นเท่ากับ (=) จึงเป็นการกำหนดให้ใช้คนงาน 80 คน

เมื่อให้โปรแกรมทำการ Solve หากมีความเป็นไปได้ (feasible) โปรแกรมจะถามว่าให้วิเคราะห์ Sensitivity Analysis หรือไม่ หากต้องการวิเคราะห์หรือไม่ ให้ตอบ Yes หรือ No ตามลำดับ (ในตอนนี้อย่าตอบ No) หากเป็นไปได้ (feasible) โปรแกรมจะแจ้งให้ทราบสาเหตุที่ทำให้เป็นไปได้ ซึ่งอาจเกิดจากการป้อนข้อมูลผิดพลาดหรือเป็นไปได้จริง ๆ (ก่อนที่จะดำเนินขั้นตอนเหมือนกรณีที่เป็นไปได้) สำหรับตัวอย่างที่ 1 จะให้ผลลัพธ์ดังนี้

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 7200.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
A	3200.000000	0.000000
B	0.000000	0.050000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
RM)	80.000008	0.000000
WORKER)	0.000000	90.000000

จากผลลัพธ์ทำให้ทราบว่า จากข้อจำกัดข้างต้น ควรผลิตอาหารชนิด A จำนวน 3,200 ขึ้น โดยไม่ต้องผลิตอาหารชนิด B เลย และจากการผลิตดังกล่าวจะมีกำไรทั้งสิ้น 7,200 บาท (สังเกตที่ Objective Function Value) อย่างไรก็ตาม จากการผลิตดังกล่าว ยังคงเหลือวัตถุดิบอีก 80 กิโลกรัม ที่ผลิตไม่หมด (สังเกตที่ Slack or Surplus ของ RM) ขณะที่คนงานทุกคนมีงานทำเต็มที่ (สังเกตที่ Slack or Surplus ของ worker ที่เท่ากับ 0)

ดังนั้น หากให้ความสำคัญของวัตถุดิบที่ต้องผลิตให้หมดเป็นสำคัญ ในการกำหนดข้อจำกัด สามารถกำหนดดังนี้

```
Max 2.25 A + 1.75 B
ST
RM) 0.1 A + 0.09 B = 400
WORKER) 0.025 A + 0.02 B >= 80
END
```

โดยตัวแปร RM ให้กำหนดเป็นเท่ากับ 400 นั่นคือ ต้องใช้วัตถุดิบให้หมด ในขณะที่ worker ให้กำหนดเป็นมากกว่าหรือเท่ากับ 80 เพราะจากการวิเคราะห์ในตอนต้น ทำให้ทราบว่า มีวัตถุดิบเหลือหรือคนงานไม่พอนั่นเอง ดังนั้น หากต้องการให้วัตถุดิบหมด ย่อมต้องใช้คนงานมากกว่า 80 อย่างแน่นอน เมื่อทำการ Solve จะได้ผลลัพธ์ คือ

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	9000.000	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
A	4000.000000	0.000000
B	0.000000	0.275000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
RM)	0.000000	22.500000
WORKER)	20.000002	0.000000

จะเห็นว่า วัตถุดิบใช้จนหมด (สังเกตจาก Slack or Surplus = 0.00) ส่วนคนงานต้องใช้เพิ่มอีก 20 คน (สังเกตจาก slack or surplus = 20.00) ซึ่งจากการที่ผลิตวัตถุดิบจนหมด ทำให้สามารถมีกำไรทั้งสิ้น 9,000 บาท อย่างไรก็ตาม ในบางกรณี เช่น บริษัทมีลูกค้าที่ต้องการผลิตภัณฑ์อาหารทั้ง 2 ชนิด โดยที่บริษัทต้องผลิตอย่างน้อยชนิดละ 2,000 ขึ้น บริษัทควรผลิต

อาหารแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด ซึ่งในกรณีนี้ ต้องเปลี่ยนข้อจำกัด โดยต้องเพิ่ม ขีดจำกัดล่าง (Simple Lower Bound; SLB) ของทั้ง 2 ตัวแปร ดังนี้

```

Max 2.25 A + 1.75 B
ST
RM) 0.1 A + 0.09 B = 400
WORKER) 0.025 A + 0.02 B >= 80
END

SLB A 2000
SLB B 2000

```

ซึ่งให้ผลลัพธ์ดังนี้

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 8450.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
A	2200.000000	0.000000
B	2000.000000	0.275000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
RM)	0.000000	22.500000
WORKER)	14.999997	0.000000

ผลลัพธ์ทำให้ทราบว่า ควรผลิตอาหาร A จำนวน 2,200 ขึ้น และอาหาร B 2,000 ขึ้น ซึ่งจะ
ได้กำไร 8,450 บาท โดยจะต้องใช้คนงานทั้งสิ้น 95 คน (80 + 15)

ตัวอย่างที่ 1.2

ในการผลิต Cereal Flake เป็นอาหารเช้า โดยต้องการให้มีต้นทุนต่ำที่สุด แต่มีคุณค่าทางโภชนาการขั้นต่ำ(บางชนิด)ตามที่กำหนด คือ 10 % RDA (Recommended Dietary Allowance) ต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม โดยกำหนดวัตถุดิบที่ใช้ คือ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด นมผงขาดมันเนย โกโก้ น้ำตาล เกลือ และกลูโคสซีรัป โดยมีสารอาหารและราคาวัตถุดิบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : ปริมาณสารอาหารและราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต cereal flake

สารอาหารต่อ วัตถุดิบ 100 กรัม	วัตถุดิบ(100 กรัม)							10 % RDA
	แป้งข้าว มะละแฉะ	แป้ง ข้าวโพด	นมผง	โกโก้	น้ำตาล	เกลือ	กลูโคส ซีรัป	
โปรตีน(g)	21.18	8.9	35.9	4.0	-	-	-	11.20
เหล็ก(mg)	7.33	0.77	0.6	2.1	-	5.1	-	3.60
วิตามินเอ (RE)	354.39	8401.05	83.25	-	-	-	-	200
ไรโบฟลาวิน (mg)	0.35	0.29	1.8	0.09	-	-	-	0.36
ราคา / ก.ก.	38	8	55	80	13	12.5	20	
ปริมาณที่ใช้								
ต่ำสุด (กรัม)	40	40	5	1	6	1	2	-
สูงสุด (กรัม)	100	100	15	2	10	2	6	-

ที่มา : คัดแปลงจาก นิรมล(2536)

สมการเป้าหมายเป็นแบบ Minimize เนื่องจากต้องการต้นทุนต่ำที่สุด โดยต้นทุนมาจาก ปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิดคูณกับราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบ เช่น แป้งข้าวมะละแฉะ ราคา 38 บาท ต่อ กิโลกรัม หากใช้แป้งข้าวมะละแฉะ X กรัม จะมีราคาเท่ากับ $38 * X / 1,000 = 0.038 X$ บาท กรณีนี้ แทนจำนวนถ้วยมะละแฉะที่ใช้ คือ Bean ดังนั้นต้นทุนจากถ้วยมะละแฉะจึง เป็น 0.038 Bean สำหรับ ตัวแปรอื่น ๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน ส่วนข้อจำกัด ได้แก่ ปริมาณสารอาหารที่ต้องการ อย่างน้อย 10 % RDA ในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ คือ โปรตีน 11.20 % เหล็ก 3.6 mg% วิตามินเอ 200 RE% และไรโบฟลาวิน 0.36 mg % (เนื่องจากวัตถุดิบเป็นของแห้ง และผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของแห้ง เช่นกัน จึงสมมุติว่า ไม่มีการสูญเสียน้ำหนักและคุณค่าทางอาหารใด ๆ หลังการผลิต) สำหรับการ คำนวณเป็นเช่นเดียวกับสมการเป้าหมาย เช่น ข้อจำกัดด้านโปรตีน ต้องการให้มีโปรตีนอย่างน้อย 11.20 กรัม ในผลิตภัณฑ์ 100 กรัม โปรตีนที่มาจากแป้งข้าวมะละแฉะเท่ากับ ปริมาณแป้งข้าวมะละแฉะ คูณด้วยปริมาณโปรตีนที่มีในแป้งข้าวมะละแฉะ ซึ่งก็คือ $21.18 \% * \text{Bean}$ เท่ากับ $21.18/100 \text{ Bean}$ หรือ 0.2118 Bean เป็นต้น ส่วนข้อจำกัดสุดท้าย Qtt หมายถึงปริมาณของวัตถุดิบทุกชนิดรวมกัน ซึ่งเมื่อรวมแล้วจะต้องเท่ากับ 100 กรัม (น้ำหนักผลิตภัณฑ์)

อย่างไรก็ตาม หากมีส่วนผสมเพียงบางชนิด อาจทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็น Flake หรือ แผ่นได้ อีกทั้งรสชาติอาจเค็มหรือหวานเกินไป ดังนั้น พบว่า ช่วงที่เป็นไปได้เบื้องต้นสำหรับการผลิต เป็น Cereal Flake ดังกล่าว มีดังส่วนท้ายของตารางที่ 1 จึงนำไปกำหนด SUB และ SLB (การที่กำหนดให้มีลักษณะเอียงกันในแต่ละตัวแปร เพื่อให้สะดวกในการตรวจทาน) สำหรับแบ่ง ทั้ง 2 ชนิดแม้ว่าจะสามารถใช้ได้ถึง 100 กรัม ก็ไม่จำเป็นต้องกำหนด SUB เพราะข้อจำกัดนี้ เมื่อรวม ทุกวัตถุดิบแล้วจะไม่เกิน 100 อย่างแน่นอน

การป้อนสมการเป้าหมาย ตัวแปรและข้อจำกัดต่าง ๆ เป็นดังนี้

เมื่อโปรแกรมทำการ Solve ได้ผลลัพธ์ดังนี้

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 2.489204

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
BEAN	44.123478	0.000000
CORN	40.876522	0.000000
MILK	5.000000	0.047777
COCOA	1.000000	0.065918
SUGAR	6.000000	0.008521
SALT	1.000000	0.008021
SYRUP	2.000000	0.015521
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
PROTEIN)	3.582363	0.000000
IRON)	0.000000	-0.457317
VIT_A)	3394.588623	0.000000
RIBOFLAV)	0.003874	0.000000
QTT)	0.000000	-0.004479

พบว่าต้นทุนต่ำสุดเป็น 2.489 บาทต่อ 100 กรัมหรือ 24.89 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนประกอบในการผลิต Cereal Flake ใช้แป้งถั่วมะแฮะ 44.12 กรัม แป้งข้าวโพด 40.88 กรัม นมผง 5 กรัม ผงโกโก้ 1 กรัม น้ำตาล 6 กรัม เกลือ 1 กรัมและกลโคสไซรัป 2 กรัม ในการผลิต จากส่วนผสม

Min 0.038 Bean + 0.008 Corn + 0.055 Milk + 0.08 Cocoa
+ 0.013 Sugar + 0.0125 Salt + 0.02 Syrup

Subject to

protein) 0.2118 Bean + 0.089 Corn + 0.359 Milk + 0.004 Cocoa >= 11.20
iron) 0.0733 Bean + 0.0077 Corn + 0.006 Milk + 0.021 Cocoa >= 3.60
Vit_A) 3.5439 Bean + 84.0105 Corn + 0.8325 Milk >= 200.00
Ribofla) 0.0035 Bean + 0.0029 Corn + 0.018 Milk + 0.0009 Cocoa >= 0.36
Qtt) Bean + Corn + Milk + Cocoa + Sugar + Salt + Syrup = 100

end

SLB Bean 40
SLB Corn 40
SLB Milk 5
SUB Milk 15
SLB Cocoa 1
SUB Cocoa 2
SLB Sugar 6
SUB Sugar 10
SLB Salt 1
SUB Salt 2
SLB Syrup 2
SUB Syrup 6

ดังกล่าว ให้พิจารณาส่วน Slack or Surplus พบว่า มีปริมาณเหลือเท่ากับที่กำหนดพอดี ขณะที่ มีปริมาณโปรตีนเกินกว่าที่กำหนด 3.58 กรัม หรือจะมีโปรตีนในผลิตภัณฑ์ $11.20 + 3.58 = 14.78$ กรัม และมีปริมาณวิตามินเอสูงมากคือ $200 + 3,394.58 = 3,594.58$ RE ซึ่งมากกว่าที่กำหนดกว่า 1700 % จึงอาจจัดเป็นแหล่ง (Good source) ของวิตามินเอได้

สังเกตได้ว่า ปริมาณของตัวแปรนมผง โกโก้ น้ำตาล เกลือและกลูโคสไซรัป ใช้ในระดับต่ำสุดหรือขอบเขตล่างเท่านั้น การที่จะทำให้ใช้ปริมาณของตัวแปรดังกล่าวเพิ่มขึ้น โดยไม่เพิ่ม SLB ต้องหาแหล่งที่มีราคาวัตถุดิบต่ำลง ส่วนมากหรือน้อยเพียงใดให้สังเกตคอลัมน์ Reduced Cost เช่น โกโก้ (Cocoa) เท่ากับ 0.065918 หมายความว่า การที่เพิ่มปริมาณโกโก้ในสูตร โดยยังคงข้อจำกัดอื่น ๆ ไว้คงที่ ต้องลดราคาโกโก้ต่อหน่วยลงไปอีกอย่างน้อย 0.065918 หน่วย (กรณีนี้คือ บาท) ดังนั้น ราคาโกโก้ต้องไม่เกินหรือน้อยกว่า 0.014082 หน่วยหรือ 14.08 บาทต่อกิโลกรัม จึงสามารถเพิ่มปริมาณโกโก้ในสูตรได้

ในการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการหาสูตรอาหารคงไม่สิ้นสุดเพียงเท่านี้ เมื่อได้ส่วนประกอบดังกล่าว ตรงตามข้อกำหนดแล้ว การพัฒนาด้านรสชาติหรือการยอมรับของผู้บริโภค เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นลำดับต่อไป หากผลิตเป็นอาหารสัตว์ซึ่งมักไม่คำนึงถึงด้านรสชาติแล้ว คงสามารถที่จะนำส่วนผสมที่ได้ไปผลิตได้ทันที แต่เนื่องจากเป็นอาหารสำหรับมนุษย์ ซึ่งมีความต้องการด้านรสชาติ ตลอดจนลักษณะอื่น ๆ ด้วย จึงต้องมีการประยุกต์ใช้ LINDO เพิ่มเติม กล่าวคือ แทนที่จะเน้นที่ต้นทุนต่ำที่สุด อาจเปลี่ยนค่า SUB หรือ SLB ที่เป็นไปได้ เพื่อให้เกิดเป็นส่วนประกอบหรือสูตรใหม่ โดยสูตรที่ได้นั้น ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการครบตามที่กำหนด เมื่อได้ส่วนประกอบใหม่ต่าง ๆ กันแล้ว อาจเป็น 3-7 สูตร จึงนำสูตรดังกล่าวไปผลิตและทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป อย่างไรก็ตาม สูตรต่าง ๆ ที่ได้ อาจมีต้นทุนที่แตกต่างกัน ผู้ใช้งานควรตั้งเป้าหมายไว้ว่า ต้นทุนของวัตถุดิบไม่ควรเกินที่บาทต่อกิโลกรัม เพื่อที่จะตัดสูตรที่มีต้นทุนสูงกว่าที่กำหนดไว้ออกไป เพราะสูตรที่มีต้นทุนสูงเกินไป แม้ได้รับการยอมรับที่ดีจากผู้บริโภค แต่ไม่สามารถผลิตในเชิงการค้าได้ ย่อมไม่เป็นที่ต้องการของผู้ผลิตสินค้า

1.3 Sensitivity Analysis

Range หรือ Sensitivity analysis เป็นการวิเคราะห์ช่วงของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ และค่า Right-Hand Side ที่ไม่ทำให้องค์ประกอบหรือสัดส่วนพื้นฐานเปลี่ยนแปลงไป (แต่ค่าสมการเป้าหมายจะเปลี่ยนไป) ในตัวอย่างที่ 1.2 หากวิเคราะห์ Sensitivity analysis หรือ Range (จากเมนู Solve) จะให้ผลดังนี้

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
BEAN	0.038000	0.325128	0.030000
CORN	0.008000	0.007179	INFINITY
MILK	0.055000	INFINITY	0.047777
COCOA	0.080000	INFINITY	0.065918
SUGAR	0.013000	INFINITY	0.008521
SALT	0.012500	INFINITY	0.008021
SYRUP	0.020000	INFINITY	0.015521

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
PROTEIN	11.200000	3.582363	INFINITY
IRON	3.600000	0.057500	0.270500
VIT_A	200.000000	3394.588623	INFINITY
RIBOFLAV	0.360000	0.003874	INFINITY
QTT	100.000000	35.129887	0.784445

ในส่วน Obj Coefficient Ranges เช่น ตัวแปร Bean จะพบว่า หากต้นทุนเพิ่มไปอีกไม่เกิน 0.325128 บาทต่อกรัมหรือลดไปอีกไม่เกิน 0.03 บาทต่อกรัม หรืออยู่ในช่วง 8 ถึง 363.128 บาท (38-30, 38+ 325.125)ต่อกิโลกรัมแล้ว จะไม่ทำให้สัดส่วนของสูตรเปลี่ยนแปลงไป คือ ยังคงใช้แป้งถั่วและ 44.123478 กรัมเท่าเดิม ส่วน Right-Hand Side Ranges ก็เช่นเดียวกัน ในกรณีของโปรตีน พบว่า หากเพิ่มค่า RHS ไปอีกไม่เกิน 3.582363 หรือลดไปอีกไม่จำกัดจากเดิม จะไม่ทำให้สัดส่วนของสูตรเปลี่ยนไป เช่น หากเพิ่มค่า RHS อีก 3.582363 จาก 11.2 เป็น 14.782363 (11.2 + 3.582363) เมื่อวิเคราะห์จะให้ผลดังนี้

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 2.489204

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
BEAN	44.123478	0.000000
CORN	40.876522	0.000000
MILK	5.000000	0.047777
COCOA	1.000000	0.065918
SUGAR	6.000000	0.008521
SALT	1.000000	0.008021
SYRUP	2.000000	0.015521

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
PROTEIN)	0.000000	0.000000
IRON)	0.000000	-0.457317
VIT_A)	3394.588623	0.000000
RIBOFLAV)	0.003874	0.000000
QTT)	0.000000	-0.004479

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
BEAN	0.038000	0.325128	0.030000
CORN	0.008000	0.007179	INFINITY
MILK	0.055000	INFINITY	0.047777
COCOA	0.080000	INFINITY	0.065918
SUGAR	0.013000	INFINITY	0.008521
SALT	0.012500	INFINITY	0.008021
SYRUP	0.020000	INFINITY	0.015521

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
PROTEIN	14.782363	0.000000	INFINITY
IRON	3.600000	0.057500	0.000000
VIT_A	200.000000	3394.588623	INFINITY
RIBOFLAV	0.360000	0.003874	INFINITY
QTT	100.000000	35.129887	-0.000001

เห็นได้ว่า ค่า RHS Ranges ของโปรตีนเป็นค่าสูงสุดแล้ว ไม่สามารถเพิ่มได้อีกต่อไป โดย
ไม่มีการเปลี่ยนสูตรพื้นฐาน (ค่า allowable increase = 0)



ภาคผนวก ค
ต้นทุนรับค่าบริการโดยสารประจำทาง

บริษัท พิษณุโลกบริการ จำกัด
 ต้นทุนรับค่าบริการโดยสารถประจำทาง
 สำหรับปีสิ้นสุดเพียง วันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2550

		หน่วย : บาท	
		ปี 2549-50	ปี 2548-49
<u>ต้นทุนรับค่าบริการโดยสารถประจำทาง</u>			
	ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษารถเหลือ (ต้นงวด)	-	359,518.00
	ค่าของใช้สิ้นเปลืองเหลือ (ต้นงวด)	-	38,000.00
	อะไหล่รถเหลือ (ต้นงวด)	2,681,135.84	439,381.00
	น้ำมันรถเหลือ (ต้นงวด)	710,017.00	-
<u>บวก</u>	อะไหล่รถ (ระหว่างปี)	2,272,155.44	2,778,872.54
	น้ำมันรถ (ระหว่างปี)	15,215,330.08	16,104,950.00
	ค่าจ้างแรงงาน	9,651,390.00	10,524,449.00
	ค่าของใช้สิ้นเปลือง	-	69,059.00
	ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษารถ	-	937,818.00
		30,530,028.36	31,252,047.54
<u>หัก</u>	อะไหล่รถเหลือ (ปลายงวด)	2,754,000.00	2,681,135.84
		27,776,028.36	28,570,911.70
<u>หัก</u>	น้ำมันรถเหลือ (ปลายงวด)	456,240.92	710,017.00
	ต้นทุนรับค่าบริการโดยสารถประจำทาง	27,319,787.44	27,860,894.70

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าถูกต้องทุกประการ

(ลงชื่อ)


 (นางสุมาลี อุ่นเรือน)

กรรมการฯ