บทที่ 3
การใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหาการเลือกแผนกระบวนการผลิต

ปัญหาพื้นฐานของการออกแบบระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์คือการกำหนดครอบครัวชิ้นงาน และกลุ่มของเครื่องจักร ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้กล่าวถึงเกี่ยวกับการออกแบบเซล ยกตัวอย่างเช่น Wemmerlov and Hyer (1986,1987), Meenakshisundaram and Shong (1987), King and Nakornchai (1982) โดยที่แบบจำลองทั้งหมดถูกออกแบบภายใต้พื้นฐานของคุณสมบัติของชิ้นงาน เช่นลักษณะทางเรขาคณิต คุณสมบัติทางเคมี เป็นต้น เป็นตัวสร้างครอบครัวชิ้นงานขึ้นมา (Hyer and Wemmerlov (1985), Kusiak (1983, 1985), Kumart et al.(1986)) แผนกระบวนการผลิตจะถูกสร้างสำหรับแต่ละชิ้นงานโดยดูจากครอบครัวชิ้นงาน และเครื่องจักรที่นำมาสร้างเซล แบบจำลองต่าง ๆ ได้ถูกสร้างขึ้นโดยแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ 3 ประเภท คือ

- **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง**

  กำหนดกลุ่มของเครื่องจักร และหาชิ้นงานที่จะใช้ผลิตในแต่ละเครื่องจักรนั้น ๆ (Burbidge (1977), DeBeer et al. (1976, 1978), De Witte (1980), McAuley (1972), Rajagopalan and Batra (1975))

- **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง**

  กำหนดครอบครัวชิ้นงาน และหาเครื่องจักรที่จะไปใช้ผลิตในครอบครัวชิ้นงาน (Carrie(1973), Choobineh (1988))

- **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม**

  กำหนดทั้งครอบครัวชิ้นงาน และกลุ่มของเครื่องจักรพร้อม ๆ กัน (Burbidge (1971, 1983), King (1980), King and Nakornchai (1982), Chan and Milner (1982), Chandrasekaran and Rajagopalan (1986, 1987), Waghodekar and Sahu (1984))

โดยที่แบบจำลองทั้งหมด กำหนดแผนกระบวนการผลิตสำหรับแต่ละชิ้นงาน ชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตของแผนกระบวนการผลิตที่ถูกเลือก โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขของความต้องการชิ้นงาน, เวลา และการลงทุนที่ต่ำที่สุด

ในการออกแบบแบบจำลองนั้น ได้พัฒนาเป็นแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็ม (0,1) โดยในการทดลองได้ใช้โปรแกรม LINDO (PC Version) (*Divakar Rajamani, N. Singh and Y. P. Aneja*) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบเชิงเส้นตรง ในตัวโปรแกรม LINDO ที่นำมาใช้นั้นสามารถแก้ปัญหาสำหรับ 32000 เงื่อนไข, 100000 ตัวแปร และหน่วยความจำ 16 เมกกะไบท์

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง**

ภายใต้สมมติฐานที่ว่า มีความต้องการชิ้นงานส่วนหนึ่ง แต่ละชิ้นงานจะมีทางเลือกของแผนกระบวนการผลิต และแต่ละขั้นตอนการทำงานในแผนกระบวนการผลิตหนึ่ง ๆ จะมีเครื่องจักรที่สามารถถูกเลือกได้

ข้อมูลที่กำหนดให้ประกอบด้วย เวลาในการผลิต และต้นทุนการผลิตของขั้นตอนการทำงานบนแต่ละเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิตทั้งหมด

ในแบบจำลองนี้ จะเลือกเครื่องจักรและแผนกระบวนการผลิตสำหรับแต่ละชิ้นงาน โดยที่ต้นทุนการลงทุนบนเครื่องจักรต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขของความต้องการชิ้นงาน เวลา และต้นทุน

<u>รูปแบบของแบบจำลองแบบที่หนึ่ง</u>

$$\text{Minimize } f_1 = \sum_m C_m Z_m \qquad (3.1.1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_p Y_{kp} = 1 \qquad \forall\ k \qquad (3.1.2)$$

$$\sum_m \alpha_{ms} X_{ms}(kp) = a_s(kp) Y_{kp} \qquad \forall\ s,k,p \qquad (3.1.3)$$

$$\sum_{kps} d_k X_{ms}(kp) t_{ms}(kp) \le b_m Z_m \qquad \forall\ m \qquad (3.1.4)$$

$$\sum_{kpms} d_k X_{ms}(kp) c_{ms}(kp) \le OC \qquad (3.1.5)$$

$X_{ms}(kp)$ $-(0,1)$ $\forall\ m,s,k,p$ (3.1.6)

Y_{kp} $-(0,1)$ $\forall\ k,p$ (3.1.7)

$Z_m \geq 0$ และเป็นค่า Integer $\forall\ m$ (3.1.8)

สมการที่ 3.1.1 แสดงค่า Objective Function สำหรับการลงทุนต่ำสุด

สมการที่ 3.1.2 กำหนดให้มีเพียง 1 แผนกระบวนการผลิต สำหรับแต่ละชิ้นงาน

สมการที่ 3.1.3 กำหนดให้ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดในกระบวนการผลิตที่ถูกเลือก จะใช้เพียง 1 เครื่องจักรของเครื่องจักรทั้งหมดที่เป็นไปได้

สมการที่ 3.1.4 กำหนดให้ความสามารถของแต่ละเครื่องจักร ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนดให้, กำหนดความต้องการชิ้นงาน, ขั้นตอนการผลิตในแผนกระบวนการผลิตสามารถทำได้มากกว่า 1 ชนิดเครื่องจักร, เวลาในการทำงานและต้นทุนของเครื่องจักรจะแปรผันตามเครื่องจักร และขั้นตอนการทำงาน

สมการที่ 3.1.5 กำหนดให้ต้นทุนการทำงานของการผลิตชิ้นงานทั้งหมด โดยแผนกระบวนการผลิต และเครื่องจักรที่ถูกเลือกอยู่ภายใต้งบประมาณที่กำหนด

สมการที่ 3.1.6-3.1.8 กำหนดให้อยู่ในช่วง 0,1 และเป็นตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็ม โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขของสมการต่อไปนี้

$$\left(\sum_{k} P_k + \sum_{kpms} a_s(kp)\alpha_{ms}\right)$$

$$\left(K + \sum_{kp} S(kp) + M + 1\right)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง

ในแบบจำลองนี้จะกำหนดครอบครัวชิ้นงานเอาไว้ และผลลัพธ์ของการออกแบบเซลคือ การเลือกแผนกระบวนการผลิตของแต่ละชิ้นงาน, ประเภทของเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต และจำนวนของแต่ละเครื่องจักรในเซลต่าง ๆ รูปแบบของแบบจำลองแสดงดังสมการด้านล่าง

<u>รูปแบบของแบบจำลองแบบที่สอง</u>

$$\text{Minimize } f_2 = \sum_{mf} C_m N_{mf} \qquad (3.2.1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{p} Y_{kp} = 1 \qquad \forall\ k \qquad (3.2.2)$$

$$\sum_{m} \alpha_{ms} X_{ms}(kp) = a_s(kp) Y_{kp} \qquad \forall\ s,k,p \qquad (3.2.3)$$

$$\sum_{kps} (\beta_{kf} d_k) X_{ms}(kp) t_{ms}(kp) \le b_m N_{mf} \qquad \forall\ m,f \qquad (3.2.4)$$

$$\sum_{kpms} d_k X_{ms}(kp) c_{ms}(kp) \le OC \qquad (3.2.5)$$

$$X_{ms}(kp) \quad -(0,1) \qquad \forall\ m,s,k,p \qquad (3.2.6)$$

$$Y_{kp} \quad -(0,1) \qquad \forall\ k,p \qquad (3.2.7)$$

$$N_{mf} \ge 0 \text{ และเป็น integer} \qquad \forall\ m,f \qquad (3.2.8)$$

ค่า Objective Function ของแบบจำลองนี้ กำหนดให้หาการลงทุนต่ำสุดบนเครื่องจักรของประเภทต่าง ๆ ที่กำหนดในเซลทั้งหมด

ในเงื่อนไขสมการที่ 3.2.2, 3.2.3, 3.2.5, 3.2.6, 3.2.7, 3.2.8 จะเหมือนกับเงื่อนไขของแบบจำลองที่หนึ่งในสมการที่ 3.1.2, 3.1.3, 3.1.5, 3.1.6, 3.1.7, 3.1.8 ยกเว้นเงื่อนไขสมการที่ 3.2.4 ที่กำหนดให้ความสามารถของแต่ละประเภทเครื่องจักรในแต่ละเซลไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนดให้

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม

ในแบบจำลองนี้ จะกำหนดให้ทั้งส่วนของครอบครัวชิ้นงาน และกลุ่มเครื่องจักร ดังนั้น β_{kf} ซึ่งเป็นตัวกำหนดชิ้นงาน k ในครอบครัว f ในแบบจำลองที่สองนั้น ถูกทำให้เป็นตัวแปรในการตัดสินใจ และกำหนดใหม่เป็น r_{kc} ซึ่งเท่ากับ 1, 0 โดยจะเท่ากับ 1 เมื่อชิ้นงาน k อยู่ในเซล c และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

จากการที่ตัวแปร β_{kf} ในเงื่อนไขสมการที่ 3.2.4 ของแบบจำลองที่ 2 ถูกแทนด้วย r_{kc} ซึ่งผลลัพธ์ 0,1 ที่ได้นั้นทำให้เงื่อนไขสมการที่ 3.2.4 กลายเป็น Nonlinear ดังนั้น Glover and Woolsey (1973) จึงได้พัฒนาแก้ไขให้เงื่อนไขนี้เป็น Linearize โดย Product Term $r_{kc}.X_{ms}$ (kp) จะถูกแทนด้วยตัวแปร Linearization L_{cms}(kp) และเพิ่มเงื่อนไขที่ 3.3.6 และ 3.3.7 ขึ้น

รูปแบบของ Model และเงื่อนไขต่าง ๆ ถูกกำหนดดังสมการด้านล่าง

<u>รูปแบบของแบบจำลองแบบที่สาม</u>

$$\text{Minimize } f_3 = \sum_{mc} C_m N_{mc} \qquad (3.3.1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{p} Y_{kp} = 1 \qquad \forall\ k \qquad (3.3.2)$$

$$\sum_{m} \alpha_{ms} X_{ms}(kp) = a_s(kp) Y_{kp} \qquad \forall\ s,k,p \qquad (3.3.3)$$

$$\sum_{kps} d_k L_{cms}(kp) t_{ms}(kp) \le b_m N_{mc} \qquad \forall\ m,c \qquad (3.3.4)$$

$$\sum_{kpms} d_k X_{ms}(kp) c_{ms}(kp) \le OC \qquad (3.3.5)$$

$$r_{kc} \sum_{msp} \alpha_{ms} a_s(kp) + \sum_{msp} \alpha_{ms} a_s(kp) X_{ms}(kp) - \sum_{msp} L_{cms}(kp) \le \sum_{msp} \alpha_{ms} a_s(kp) \qquad \forall\ k,c \qquad (3.3.6)$$

$$r_{kc} \ge L_{cms}(kp) \qquad (3.3.7)$$

$$\sum_{c} r_{kc} = 1 \qquad \forall\ k \qquad (3.3.8)$$

$$\sum_{m} N_{mc} = MAX_c \qquad \forall\ c \qquad (3.3.9)$$

$$L_{cmskp} \geq 0 \qquad \forall\ c,m,s,k,p \qquad (3.3.10)$$

$$X_{ms}(kp) \quad -(0,1) \qquad \forall\ m,s,k,p \qquad (3.3.11)$$

$$Y_{kp} \quad -(0,1) \qquad \forall\ k,p \qquad (3.3.12)$$

$$N_{mc} \geq 0 \text{ และเป็นค่า Integer} \qquad \forall\ m,c \qquad (3.3.13)$$

3.2 การออกแบบการทดลอง

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 แบบดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น ได้ดำเนินการทดลองโดยใช้กรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 3.1-3.8 โดยเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรม LINDO ซึ่งใช้เป็นโปรแกรมในการแก้ปัญหาของทั้ง 3 แบบจำลองนี้ หลังจากนั้นจะทำการทดลอง และทำการสรุปผลต่อไป

- <u>กรณีศึกษาที่ 1</u> สำหรับการผลิตชิ้นงาน 4 แบบ เครื่องจักร 3 เครื่อง และการทำงาน 3 ขั้นตอน

	j=1		*j*=2		*j*=3			*j*=4	
k	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=3	*p*=1	*p*=2
1	1		1		1		1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3		1	1	1		1	1	1	

รูปที่ 3.1 A Potential Data Set For Case 1 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

	Machine on which each operation can be performed		
k	*i=1*	*i=2*	*i=3*
1	1		1
2		1	1
3	1	1	

รูปที่ 3.2 A Potential Data Set For Case 1 : Operation *k*; Machine *i*

- **<u>กรณีศึกษาที่ 2</u>** สำหรับการผลิตชิ้นงาน 14 แบบ เครื่องจักร 7 เครื่อง และการทำงาน 7 ขั้นตอน

	j=1		*j=2*			*j=3*		*j=4*		*j=5*		
k	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=3*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=3*
1		1	1						1	1		
2	1			1			1	1		1		
3				1							1	
4		1			1	1			1			1
5			1								1	
6	1			1			1		1			
7	1				1			1		1		1

รูปที่ 3.3 A Potential Data Set For Case 2 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

	j=6		*j=7*		*j=8*		*j=9*			*j=10*	
k	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=3*	*p=1*	*p=2*
1		1	1		1			1			
2		1	1						1		
3	1			1		1		1		1	
4			1			1	1	1			1
5		1		1	1				1		
6	1				1				1		1
7				1		1	1			1	

รูปที่ 3.3 (ต่อ) A Potential Data Set For Case 2 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

	j=11			j=12			j=13	j=14	
k	p=1	p=2	p=3	p=1	p=2	p=3	p=1	p=1	p=2
1			1			1		1	
2		1	1		1	1			
3	1			1			1		1
4	1			1					
5		1			1			1	1
6			1			1			
7		1			1				

รูปที่ 3.3 (ต่อ) A Potential Data Set For Case 2 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

	Machine on which each operation can be performed						
k	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7
1	1	1					
2			1	1			
3					1	1	
4	1		1				
5			1			1	
6					1		1
7		1		1			

รูปที่ 3.4 A Potential Data Set For Case 2 : Operation *k*; Machine *I*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- <u>กรณีศึกษาที่ 3</u> สำหรับการผลิตชิ้นงาน 6 แบบ เครื่องจักร 13 เครื่อง และการทำงาน 13 ขั้นตอน

	j=1			*j=2*		*j=3*		*j=4*		*j=5*	
k	*p=1*	*p=2*	*p=3*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*
1	1		1	1				1		1	
2	1	1			1	1	1	1			1
3			1				1		1		
4		1		1	1	1			1	1	
5	1					1		1		1	
6		1	1		1	1		1	1		1
7			1		1		1		1		
8	1			1				1		1	
9	1		1		1		1				1
10	1			1				1			
11		1			1		1		1	1	
12			1			1					
13		1		1				1			1

รูปที่ 3.5 A Potential Data Set For Case 3 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	j=6		
k	*p*=1	*p*=2	*p*=3
1	1		1
2	1		
3		1	
4			1
5		1	
6		1	1
7	1	1	
8	1		1
9		1	
10			1
11	1	1	
12			1
13		1	

รูปที่ 3.5 (ต่อ) A Potential Data Set For Case 3 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Machine on which each operation can be performed												
k	*i*=1	*i*=2	*i*=3	*i*=4	*i*=5	*i*=6	*i*=7	*i*=8	*i*=9	*i*=10	*i*=11	*i*=12	*i*=13
1			1		1			1	1		1	1	1
2	1	1	1	1	1		1		1		1	1	1
3	1	1	1	1	1		1				1	1	1
4			1	1						1	1		1
5				1	1	1	1				1		1
6	1	1		1		1	1	1		1	1	1	1
7					1		1	1	1		1		
8		1		1					1	1			
9			1				1			1			1
10		1			1	1			1			1	
11			1			1				1	1		1
12				1							1		
13	1	1		1		1	1		1			1	

รูปที่ 3.6 A Potential Data Set For Case 3 : Operation *k*; Machine *i*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- <u>กรณีศึกษาที่ 4</u> สำหรับการผลิตชิ้นงาน 19 แบบ เครื่องจักร 12 เครื่อง และการทำงาน 12 ขั้นตอน

	j=1		*j*=2		*j*=3		*j*=4			*j*=5	
k	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=3	*p*=1	*p*=2
1		1	1						1		
2	1		1			1	1	1			1
3	1		1	1			1				
4			1			1		1	1	1	
5		1	1		1	1					
6	1			1			1			1	
7	1			1	1			1			1
8		1			1				1	1	
9			1			1	1	1			1
10		1	1	1		1	1	1	1	1	1
11			1		1	1		1	1	1	
12		1				1			1		1

รูปที่ 3.7 A Potential Data Set For Case 4 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	j=6			*j*=7		*j*=8		*j*=9		*j*=10	
k	*p*=1	*p*=2	*p*=3	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2
1		1	1						1	1	
2	1			1			1	1		1	
3				1							1
4	1					1		1	1		1
5		1			1		1		1	1	1
6		1	1	1	1	1		1		1	1
7			1	1	1		1	1		1	
8		1		1		1	1				
9	1			1			1			1	
10	1			1					1		
11		1			1			1			1
12	1				1			1		1	1

รูปที่ 3.7 (ต่อ) A Potential Data Set For Case 4 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

	j=11		*j*=12			*j*=13		*j*=14		*j*=15		
k	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=3	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=1	*p*=2	*p*=3
1	1				1			1		1		1
2	1			1			1		1			
3			1								1	
4				1							1	
5		1			1	1			1			1
6		1	1						1	1		
7	1			1			1	1		1		
8		1			1			1		1		1
9		1		1			1		1			
10				1							1	
11				1				1			1	
12		1			1			1	1		1	

รูปที่ 3.7 (ต่อ) A Potential Data Set For Case 4 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	j=16		*j=17*		*j=18*			*j=19*	
k	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=1*	*p=2*	*p=3*	*p=1*	*p=2*
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2			1		1			1	
3	1		1		1		1	1	1
4	1					1	1		
5				1	1		1		1
6		1	1	1		1	1	1	
7		1			1		1		
8		1	1	1			1		
9	1		1		1		1	1	1
10	1		1			1		1	
11				1			1		1
12		1		1	1			1	

รูปที่ 3.7 (ต่อ) A Potential Data Set For Case 4 : Operation *k*; Part *j*; Process Plan *p*

	Machine on which each operation can be performed											
k	*i=1*	*i=2*	*i=3*	*i=4*	*i=5*	*i=6*	*i=7*	*i=8*	*i=9*	*i=10*	*i=11*	*i=12*
1	1			1				1	1			1
2	1			1			1	1			1	
3	1	1		1			1	1	1			
4	1			1			1		1			
5	1					1	1		1	1		
6						1	1	1	1	1		
7				1		1		1	1			
8		1	1	1	1	1		1	1			
9			1	1	1	1		1	1			
10				1			1	1				
11							1				1	1
12	1						1			1	1	1

รูปที่ 3.8 A Potential Data Set For Case 4 : Operation *k*; Machine *i*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 โครงสร้างโปรแกรม LINDO

โครงสร้างโปรแกรม LINDO ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเขียนแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง โดยมีรูปแบบของโปรแกรมดังนี้

```
MODEL:
    Objective Function ของโปรแกรม
        Min = 100*z1+250*z2+300*z3;
    เงื่อนไขต่าง ๆ ของโปรแกรม
        z1>=0;
        z2>=0;
          "
        x1111+x3111-y11=0;
          "
          "
        @bin(x1111);
          "
        @gin(z1);
          "
END
```

รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบโครงสร้างการเขียนโปรแกรม LINDO

จากโครงสร้างของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของ Objective Function ของโปรแกรม และ ส่วนของเงื่อนไขของโปรแกรม

ในส่วน Objective Function นั้นจะสามารถกำหนดได้ทั้งส่วนที่จะเป็น Minimum หรือ Maximum ของค่าที่เราจะหา ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้หาค่า Minimum ของการลงทุน

ในส่วนเงื่อนไขของโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับแต่ละแบบจำลอง โดยสามารถใช้รูปแบบสมการตัวแปรต่าง ๆ ในการเขียนโปรแกรมได้ ยกตัวอย่างเช่น x1111+x3111-y11=0; นอกเหนือจากนี้จะเห็นว่ามีคำสั่ง 2 คำสั่งที่เพิ่มขึ้นมาคือ คำสั่ง @bin(X) และ @gin(Y)

- คำสั่ง @bin(X) จะเป็นคำสั่งที่กำหนดให้ตัวแปร X มีค่าเป็น binary คือ 0,1 เท่านั้น

- คำสั่ง @gin(Y) จะเป็นคำสั่งที่กำหนดให้ตัวแปร Y มีค่าเป็น Integer เท่านั้น

การแสดงผลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

- ส่วนที่ 1 จะแสดงค่าคำตอบของตัวแปรต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ในโปรแกรมดังแสดงตามตัวอย่างรูปที่ 3.10

Rows= 33 Vars= 54 No. integer vars= 51 (all are linear)
Nonzeros= 170 Constraint nonz= 162(75 are +- 1) Density=0.094
Smallest and largest elements in absolute value= 1.00000 2000.00
No. < : 4 No. =: 25 No. > : 3, Obj=MIN, GUBs <= 20
Single cols= 0

Optimal solution found at step: 900
Objective value: 350.0000
Branch count: 23

Variable	Value	Reduced Cost
Z1	1.000000	100.0000
Z2	1.000000	250.0000
Z3	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X1111	1.000000	0.0000000E+00
X3111	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y11	1.000000	0.0000000E+00
X2211	1.000000	0.0000000E+00
X3211	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2212	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3212	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y12	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X1312	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2312	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X1121	0.0000000E+00	0.0000000E+00

X3121	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y21	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2221	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3221	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X1321	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2321	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2222	1.000000	-150.0000
X3222	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y22	1.000000	0.0000000E+00
X1322	1.000000	150.0000
X2322	0.0000000E+00	150.0000
X1131	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3131	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y31	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2231	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3231	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2232	1.000000	0.0000000E+00
X3232	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y32	1.000000	0.0000000E+00
X1332	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2332	1.000000	0.0000000E+00
X1133	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3133	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y33	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2233	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3233	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X1333	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2333	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X1141	1.000000	0.0000000E+00
X3141	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y41	1.000000	0.0000000E+00
X2241	1.000000	0.0000000E+00
X3241	0.0000000E+00	150.0000

X1341	1.000000	0.0000000E+00
X2341	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X1142	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3142	0.0000000E+00	0.0000000E+00
Y42	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X2242	0.0000000E+00	0.0000000E+00
X3242	0.0000000E+00	0.0000000E+00

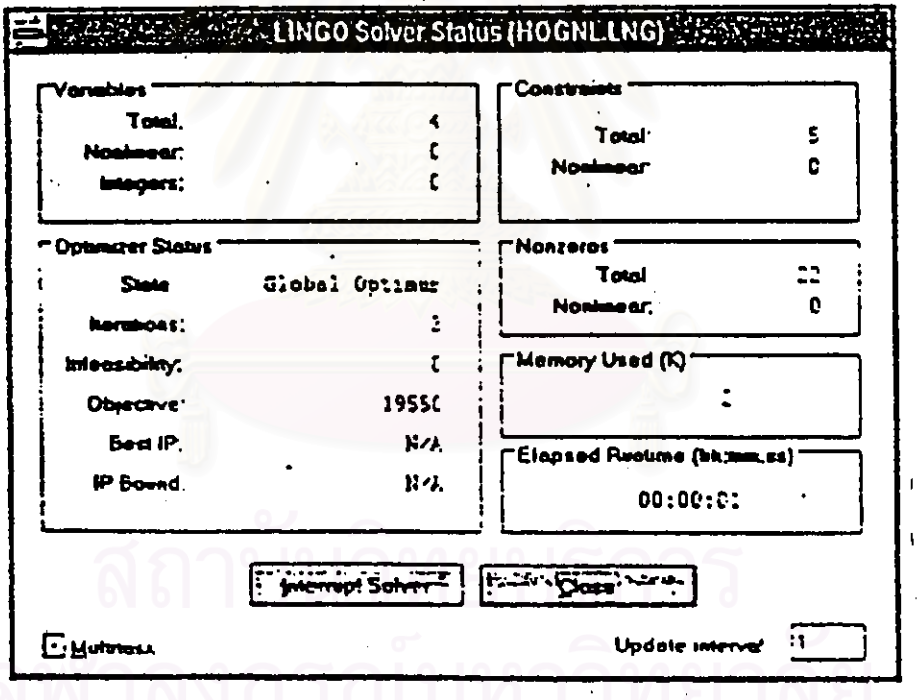
Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	350.0000	1.000000
2	1.000000	0.0000000E+00
3	1.000000	0.0000000E+00
4	0.0000000E+00	0.0000000E+00
5	0.0000000E+00	0.0000000E+00
6	0.0000000E+00	0.0000000E+00
7	0.0000000E+00	0.0000000E+00
8	0.0000000E+00	0.0000000E+00
9	0.0000000E+00	0.0000000E+00
10	0.0000000E+00	0.0000000E+00
11	0.0000000E+00	0.0000000E+00
12	0.0000000E+00	-150.0000
13	0.0000000E+00	150.0000
14	0.0000000E+00	0.0000000E+00
15	0.0000000E+00	0.0000000E+00
16	0.0000000E+00	0.0000000E+00
17	0.0000000E+00	0.0000000E+00
18	0.0000000E+00	0.0000000E+00
19	0.0000000E+00	0.0000000E+00
20	0.0000000E+00	0.0000000E+00
21	0.0000000E+00	0.0000000E+00
22	0.0000000E+00	0.0000000E+00
23	0.0000000E+00	0.0000000E+00
24	0.0000000E+00	0.0000000E+00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

25	0.0000000E+00	0.0000000E+00
26	0.0000000E+00	0.0000000E+00
27	0.0000000E+00	0.0000000E+00
28	0.0000000E+00	0.0000000E+00
29	0.0000000E+00	0.0000000E+00
30	25.00000	0.0000000E+00
31	15.00000	0.0000000E+00
32	0.0000000E+00	0.0000000E+00
33	1820.000	0.0000000E+00

รูปที่ 3.10 รูปแบบการแสดงผลโปรแกรม LINDO ส่วนที่ 1

- ส่วนที่ 2 จะแสดงผลสรุปของ ค่า Variable, Optimizer Status, Constraints, Nonzeros, Memory used, Elasped runtime ดังแสดงตามตัวอย่างรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปแบบการแสดงผลโปรแกรม LINDO ส่วนที่ 2

3.4 การดำเนินการทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งออกเป็นกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- กรณีที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 1
  กำหนดให้ :-
  - จำนวน 4 ชิ้นงาน, 3 ขั้นตอนการทำงาน, 3 เครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.1-3.2
  - เงินลงทุนสำหรับต้นทุนการทำงานเท่ากับ 2000 $

ตารางที่ 3.1 ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักรแต่ละชนิด

เครื่องจักร	ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักร ($)
เครื่องจักรที่ 1	100
เครื่องจักรที่ 2	250
เครื่องจักรที่ 3	300

- กรณีที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 2
  กำหนดให้ :-
  - จำนวน 14 ชิ้นงาน, 7 ขั้นตอนการทำงาน, 7 เครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.4
  - เงินลงทุนสำหรับต้นทุนการทำงานเท่ากับ 2000 $

ตารางที่ 3.2 ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักรแต่ละชนิด

เครื่องจักร	ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักร ($)
เครื่องจักรที่ 1	100
เครื่องจักรที่ 2	150
เครื่องจักรที่ 3	200
เครื่องจักรที่ 4	300
เครื่องจักรที่ 5	350
เครื่องจักรที่ 6	450
เครื่องจักรที่ 7	500

- กรณีที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 3
  กำหนดให้ :-
  - จำนวน 6 ชิ้นงาน, 13 ขั้นตอนการทำงาน, 13 เครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.5-3.6
  - เงินลงทุนสำหรับต้นทุนการทำงานเท่ากับ 2000 $

ตารางที่ 3.3 ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักรแต่ละชนิด

เครื่องจักร	ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักร ($)
เครื่องจักรที่ 1	70
เครื่องจักรที่ 2	120
เครื่องจักรที่ 3	180
เครื่องจักรที่ 4	210
เครื่องจักรที่ 5	270
เครื่องจักรที่ 6	300
เครื่องจักรที่ 7	320
เครื่องจักรที่ 8	390
เครื่องจักรที่ 9	150
เครื่องจักรที่ 10	200
เครื่องจักรที่ 11	400
เครื่องจักรที่ 12	450
เครื่องจักรที่ 13	510

- กรณีที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 1
  กำหนดให้ :-
  - จำนวน 4 ชิ้นงาน, 3 ขั้นตอนการทำงาน, 3 เครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.1-3.2
  - เงินลงทุนสำหรับต้นทุนการทำงานเท่ากับ 2000 $
  - ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักรแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 3.1
  - เวลาและต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตสำหรับชิ้นงานในแผนกระบวนการผลิตต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 แสดงเวลา, ต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ของชิ้นงานตามแผนกระบวนกรผลิต โดยตัวเลขหน้าจะแทนเวลา และตัวเลขหลังจะแทนต้นทุน

		Part 1		Part 2		Part 3			Part 4	
		Plan1	Plan2	Plan1	Plan2	Plan1	Plan2	Plan3	Plan1	Plan2
Operation1	Machine 1	5,3		3,4		2,2		8,1	1,2	9,7
	Machine 3	7,2		4,3		2,2		9,2	2,1	8,9
Operation2	Machine 2	3,5	9,8	7,8	3,3	3,3	1,2	5,9	2,3	9,8
	Machine 3	4,3	7,9	7,7	2,3	4,4	2,4	3,10	2,4	10,9
Operaion3	Machine 1		8,8	10,9	6,5		11,7	7,4	3,5	
	Machine 2		7,7	8,9	6,6		8,8	9,5	2,6	

- กรณีที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 2
  กำหนดให้ :-
  - จำนวน 14 ชิ้นงาน, 7 ขั้นตอนการทำงาน, 7 เครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.4
  - เงินลงทุนสำหรับต้นทุนการทำงานเท่ากับ 2000 $
  - ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักรแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 3.2
  - เวลาและต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตสำหรับชิ้นงานในแผนกระบวนการผลิตต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 แสดงเวลา, ต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ของชิ้นงานตามแผนกระบวนกรผลิต โดยตัวเลขหน้าจะแทนเวลา และตัวเลขหลังจะแทนต้นทุน

		Part 1		Part 2			Part 3		Part 4		Part 5			Part 6		Part 7		Part 8	
		Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan1	Plan 2	Plan 3	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2
Operation 1	Machine 1		5,3	2,1						4,3	11,10				7,7	9,5		6,7	
	Machine 2		3,4	8,9						7,2	2,3				7,8	8,8		4,9	
Operation 2	Machine 3	2,2			3,5			7,4	6,6		4,4				8,9	4,7			
	Machine 4	8,1			9,8			3,5	8,8		6,6				6,3	3,5			
Operation 3	Machine 5				7,9							2,4		9,9			1,2		8,9
	Machine 6				7,7							3,10		5,3			2,6		6,1
Operation 4	Machine 1		1,2			2,3	6,5			11,5			9,2			2,3			9,1
	Machine 3		9,7			4,4	11,7			7,9			12,12			4,9			6,1
Operation 5	Machine 3			2,4								2,4			5,9		5,3	10,2	
	Machine 6			3,10								2,1			4,7		8,8	7,1	
Operation 6	Machine 5	7,3			2,4			7,7		9,7				11,7				6,4	
	Machine 7	4,3			10,9			8,9		7,7				15,5				8,6	
Operation 7	Machine 2	2,2				8,8			9,5		4,5		8,9				10,9		7,9
	Machine 4	9,2				10,9			2,6		10,9		10,10				11,7		9,1

ตารางที่ 3.5(ต่อ) แสดงเวลา, ต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ของชิ้นงานตามแผนกระบวนกรผลิต โดยตัวเลขหน้าจะแทนเวลา และตัวเลขหลังจะแทนต้นทุน

		Part 9			Part 10		Part 11			Part 12			Part 1	Part 14	
		Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan1	Plan 1	Plan 2
Operation 1	Machine 1		9,10						2,1			4,3		3,3	
	Machine 2		6,7						6,5			3,5		4,3	
Operation 2	Machine 3			1,2				2,2	2,2		3,2	5,4			
	Machine 4			1,1				1,1	1,1		5,4	4,3			
Operation 3	Machine 5		9,9		4,5		7,5			5,4			6,4		9,7
	Machine 6		8,9		6,4		5,4			2,2			5,4		7,5
Operation 4	Machine 1	6,6	4,8			7,9	2,2			7,5					
	Machine 3	7,9	9,9			8,6	5,4			4,3					
Operation 5	Machine 3			9,7				8,6			1,1			8,6	2,2
	Machine 6			6,10				9,7			5,4			1,1	3,4
Operation 6	Machine 5			6,11		10,9			2,2			3,2			
	Machine 7			8,7		7,6			4,3			6,5			
Operation 7	Machine 2	11,6			11,8			7,5			2,2				
	Machine 4	7,8			8,9			8,6			3,2				

- กรณีที่ 6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 3
  กำหนดให้ :-
  - จำนวน 6 ชิ้นงาน, 13 ขั้นตอนการทำงาน, 13 เครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.5-3.6
  - เงินลงทุนสำหรับต้นทุนการทำงานเท่ากับ 2000 $
  - ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักรแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 3.3
  - เวลาและต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตสำหรับชิ้นงานในแผนกระบวนการผลิตต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 แสดงเวลา, ต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ของชิ้นงานตามแผนกระบวนการผลิต โดยตัวเลขหน้าจะแทนเวลา และตัวเลขหลังจะแทนต้นทุน

		Part 1			Part 2		Part 3		Part 4		Part 5		Part 6		
		Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan1	Plan 2	Plan 3
Operation 1	Machine 3	5,8		6,2	11,1				6,9		2,3		1,1	2,2	3,4
	Machine 5	3,4		2,2	1,5				1,1		2,2		1,2	2,2	3,4
	Machine 8	3,4		1,2	3,12				5,7		3,3		3,2		3,3
	Machine 9	3,4		2,5	8,4				2,2		3,15		2,2	3,3	2,5
	Machine 11	2,2		4,4	3,1				2,3		1,1		2,1		4,3
	Machine 12	4,5		3,1	1,4				2,2		5,2		3,7		9,3
	Machine 13	9,13		1,1	3,1				2,2		3,2		2,4		1,4
Operation 2	Machine 1	1,1	1,1			2,12	3,3	2,2	1,2			2,3	2,2		
	Machine 2	4,5	6,8		7,7	8,8	2,2	2,4	2,2	2,3	4,4	1,1	4,4	4,4	
	Machine 3	7,9	2,3		10,9	6,1	2,4	3,1	2,2	6,5		5,5	4,8		
	Machine 4	5,6	2,2		8,9	1,2	3,1	1,4	2,3	6,6		3,4	1,3		
	Machine 5	4,6	5,7			2,2	1,11	3,3	2,3			1,2	3,4		
	Machine 7	2,2	1,1			2,5	7,8	3,5	1,2			3,3	4,13		
	Machine 9	3,4	2,2			4,12	5,2	3,1	2,2			6,3	1,1		
	Machine 11	3,3	2,2			8,4	2,5	1,7	1,2			2,2	12,2		
	Machine 12	1,1	2,2			3,3	4,3	5,17	5,8			3,2	1,6		
	Machine 13	2,3	3,4			2,2	2,2	12,3	2,3			2,4	5,2		

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) แสดงเวลา, ต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ของชิ้นงานตามแผนกระบวนการผลิต โดยตัวเลขหน้าจะแทนเวลา และตัวเลขหลังจะแทนต้นทุน

		Part 1			Part 2		Part 3		Part 4		Part 5		Part 6		
		Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan1	Plan 2	Plan 3
Operation 3	Machine 1			1,3				2,4		2,2				2,5	
	Machine 2			3,10				3,3		3,3				6,2	
	Machine 3			7,3				3,5		1,1				2,3	
	Machine 4			2,3				5,7		1,2				2,4	
	Machine 5			2,2				2,3		5,7				2,2	
	Machine 7			1,6				6,9		2,3				1,2	
	Machine 11			5,2				3,4		2,2				2,5	
	Machine 12			2,8				2,2		1,1				3,6	
	Machine 13			5,3				5,8		2,3				3,1	
Operation 4	Machine 3		4,5		1,1	2,10	1,9			1,1	2,3		9,3		4,5
	Machine 4		4,6		1,7	7,5	6,1			3,4	5,6		3,4		7,13
	Machine 10		1,1		5,1	4,1	1,10			1,2	2,3		2,3		5,4
	Machine 11		2,3		1,5	1,10	7,5			2,2	4,2		1,5		4,3
	Machine 13		1,1		4,2	7,11	4,4			1,3	1,3		2,2		2,1
Operation 5	Machine 4	6,8					3,3		1,2		2,4			1,3	
	Machine 5	1,1					2,2		2,2		2,1			3,5	
	Machine 6	3,5					1,2		4,6		1,2			2,1	
	Machine 7	10,14					2,1		2,2		2,4			3,18	
	Machine 11	6,8					1,5		4,6		1,5			3,2	
	Machine 13	6,8					3,8		1,1		2,8			3,7	

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) แสดงเวลา, ต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ของชิ้นงานตามแผนกระบวนการผลิต โดยตัวเลขหน้าจะแทนเวลา และตัวเลขหลังจะแทนต้นทุน

		Part 1			Part 2		Part 3		Part 4		Part 5		Part 6		
		Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan1	Plan 2	Plan 3
Operation 6	Machine 1		4,5	2,3		8,3	6,4		3,3	2,2		1,5		4,13	3,18
	Machine 2		4,5	2,4		2,6	3,5		3,4	3,5		2,2		2,3	3,5
	Machine 4		1,1	3,7		4,5	4,2		2,2	4,1		4,7		2,3	1,1
	Machine 6		4,5	5,2		4,2	1,2		3,4	6,3		2,4		3,2	2,3
	Machine 7		2,3	2,6		2,3	1,5		4,6	2,1		2,2		4,2	6,13
	Machine 8		4,6	4,4		2,7	4,4		2,2	4,3		3,7		9,1	1,2
	Machine 10		2,2	3,5		5,2	3,2		8,11	2,2		3,2		3,2	3,2
	Machine 11		1,1	3,5		2,3	2,3		2,2	4,5		3,6		3,3	10,4
	machine 12		1,1	4,3		2,2	3,2		1,2	3,5		1,2		1,6	6,3
	Machine 13		2,2	2,3		1,10	2,8		1,1	5,1		3,3		12,2	6,1
Operation 7	Machine 5			2,2		7,1		5,7		1,4			1,4	4,11	
	Machine 7			2,4		1,2		2,3		6,2			2,4	1,3	
	Machine 8			3,8		2,3		3,4		2,2			2,4	2,3	
	Machine 9			6,2		2,2		1,2		3,1			4,8	9,5	
	Machine 11			2,4		1,4		2,3		1,8			1,4	2,4	
Operation 8	Machine 2	6,8			2,3				1,1		2,3		8,2		6,9
	Machine 4	8,11			3,4				3,3		2,6		2,3		8,1
	Machine 9	2,2			3,2				3,		1,2		2,4		2,1
	Machine 10	6,8			2,2				3,4		1,5		4,1		6,3

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) แสดงเวลา, ต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ผลิตในขั้นตอนการทำงานต่างๆ ของชิ้นงานตามแผนกระบวนการผลิต โดยตัวเลขหน้าจะแทนเวลา และตัวเลขหลังจะแทนต้นทุน

		Part 1			Part 2		Part 3		Part 4		Part 5		Part 6		
		Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan1	Plan 2	Plan 3
Operation 9	Machine 3	2,2		3,1		3,2		5,8				3,2		2,2	
	Machine 7	3,4		1,2		1,3		3,4				3,1		3,5	
	Machine 10	8,11		1,5		2,6		2,3				5,2		2,2	
	Machine 13	4,6		3,7		5,5		3,4				3,1		1,6	
Operation 10	Machine 2	3,4			2,4				2,2						2,2
	Machine 5	2,3			3,2				5,7						3,4
	Machine 6	5,7			8,2				1,1						8,3
	Machine 9	6,8			2,3				2,2						4,4
	Machine 12	3,4			3,2				8,11						3,2
Operation 11	Machine 3		3,4			4,5		1,1		3,3	1,4		3,3	6,3	
	Machine 6		2,2			4,1		2,3		3,4	2,7		2,2	1,8	
	Machine 10		3,3			1,4		1,2		1,3	1,1		4,2	1,3	
	Machine 11		2,3			3,3		2,2		2,6	2,8		2,1	2,3	
	Machine 13		1,2			2,5		2,2		2,2	2,2		4,2	2,2	
Operation 12	Machine 4			5,4			6,2								2,10
	Machine 11			3,15			2,3								5,2
Operation 13	Machine 1		3,4			4,1			1,1			2,2		3,2	
	Machine 2		6,6			1,7			3,4			2,2		2,3	
	Machine 4		3,4			6,2			3,5			3,2		3,4	
	Machine 6		1,1			2,2			2,3			1,2		2,4	
	Machine 7		1,2			2,2			2,2			2,1		7,2	
	Machine 9		2,3			2,2			2,2			2,1		1,4	
	Machine 12		2,8			2,4			3,4			2,3		5,3	

- กรณีที่ 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม กรณีศึกษาที่ 1
  กำหนดให้ :-
  - จำนวน 4 ชิ้นงาน, 3 ขั้นตอนการทำงาน, 3 เครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.1-3.2
  - เงินลงทุนสำหรับต้นทุนการทำงานเท่ากับ 2000 $
  - ต้นทุนหนี้สินเครื่องจักรแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 3.1
  - เวลาและต้นทุนสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตสำหรับชิ้นงานในแผนกระบวนการผลิตต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

จากข้อจำกัดของโปรแกรม LINDO ที่สามารถใช้แก้ปัญหาขนาด 32000 เงื่อนไข ,100000 ตัวแปร และหน่วยความจำ 16 เมกกะไบท์ ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ทุกกรณีศึกษา โดยจะมีกรณีที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถทำการทดลองได้ดังนี้

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 4
- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 4
- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม กรณีศึกษาที่ 2
- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม กรณีศึกษาที่ 3
- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม กรณีศึกษาที่ 4

ในส่วนตัวอย่างโปรแกรม Lindo ที่ใช้ในการทดลองของกรณีศึกษาต่าง ๆ จะแสดงในภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 ผลการทดลอง

- กรณีที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 1 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

  - OPTIMIZER STATUS

    State : Global Optimum

    Iteration : 900

    Objective Function : 350

    Run Time (hh:mm:ss) : 00:00:02

  - แผนกระบวนการผลิต

    แผนกระบวนการผลิตสำหรับการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 1 แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 1

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4
	Plan 1	Plan 2	Plan 2	Plan 1
Operation 1	Machine 1			Machine 1
Operation 2	Machine 2	Machine 2	Machine 2	Machine 2
Operation 3		Machine 1	Machine 2	Machine 1

  - จำนวนเครื่องจักร

    Machine 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

    Machine 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กรณีที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 2 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

  - OPTIMIZER STATUS

    State : Global Optimum

    Iteration : 138896

    Objective Function : 1200

    Run Time (hh:mm:ss) : 00:04:19

  - แผนกระบวนการผลิต

    แผนกระบวนการผลิตสำหรับการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 2 แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 2

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5	Part 6	Part 7	Part 8
	Plan 2	Plan 1	Plan 1	Plan 1	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 2
Operation 1	Machine 1	Machine 1			Machine 2		Machine 1	
Operation 2				Machine 3	Machine 3	Machine 4	Machine 4	
Operation 3								Machine 5
Operation 4	Machine 1		Machine 1				Machine 1	
Operation 5		Machine 3				Machine 3		
Operation 6								
Operation 7					Machine 2			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.8 (ต่อ) แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 2

	Part 9	Part 10	Part 11	Part 12	Part 13	Part 14
	Plan 1	Plan 1	Plan 3	Plan 2	Plan 1	Plan 2
Operation 1			Machine 2			
Operation 2			Machine 4	Machine 4		
Operation 3		Machine 5			Machine 5	Machine 5
Operation 4	Machine 1					
Operation 5				Machine 3		Machine 3
Operation 6			Machine 5			
Operation 7				Machine 2		

- <u>จำนวนเครื่องจักร</u>

  Machine 1 เท่ากับ 2 เครื่อง

  Machine 2 เท่ากับ 2 เครื่อง

  Machine 3 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 4 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 5 เท่ากับ 1 เครื่อง

- กรณีที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 3 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

  - <u>OPTIMIZER STATUS</u>

    State : Feasible

    Iteration : 14565129

    Objective Function : 566

    Run Time (hh:mm:ss) : 20:53:08

  - <u>แผนกระบวนการผลิต</u>

    แผนกระบวนการผลิตสำหรับการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 3 แสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่หนึ่ง กรณีศึกษาที่ 3

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5	Part 6
	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 2	Plan 2	Plan 1
Operation 1		Machine 9				Machine 3
Operation 2	Machine 3		Machine 3		Machine 1	Machine 3
Operation 3			Machine 3	Machine 1		
Operation 4	Machine1	Machine 3		Machine 3		Machine10
Operation 5						
Operation 6	Machine 1			Machine 1	Machine10	
Operation 7			Machine 9	Machine 9		Machine 9
Operation 8		Machine10				Machine 9
Operation 9			Machine10		Machine10	
Operation 10		Machine 9				
Operation 1	Machine10		Machine1	Machine10		Machine 3
Operation 12						
Operation 1	Machine 1				Machine 1	

- <u>จำนวนเครื่องจักร</u>

  Machine 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 3 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 9 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 10 เท่ากับ 1 เครื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กรณีที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 1 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

  - <u>OPTIMIZER STATUS</u>

    State : Global Optimum

    Iteration : 3036

    Objective Function : 700

    Run Time (hh:mm:ss) : 00:00:06

  - <u>แผนกระบวนการผลิต</u>

    แผนกระบวนการผลิตสำหรับการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 1 แสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 1

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4
	Plan 1	Plan 1	Plan 2	Plan 2
Operation 1	Machine 1	Machine 1		Machine 1
Operation 2	Machine 2	Machine 2	Machine 2	Machine 2
Operation 3		Machine 1	Machine 1	

  - <u>จำนวนเครื่องจักร</u>

    Machine 1 Family 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

    Machine 1 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

    Machine 2 Family 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

    Machine 2 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กรณีที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 2 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

  - OPTIMIZER STATUS

    State : Global Optimum

    Iteration : 82071

    Objective Function : 1350

    Run Time (hh:mm:ss) : 00:03:22

  - แผนกระบวนการผลิต

    แผนกระบวนการผลิตสำหรับการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 2 แสดงดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 2

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5	Part 6	Part 7	Part 8
	Plan 2	Plan 1	Plan 1	Plan 1	Plan 1	Plan 2	Plan 1	Plan 1
Operation 1	Machine 1	Machine 1			Machine 2		Machine 1	
Operation 2				Machine 3	Machine 3	Machine 3	Machine 4	
Operation 3								Machine 5
Operation 4	Machine 1		Machine 1				Machine 1	
Operation 5		Machine 3				Machine 3		
Operation 6								
Operation 7					Machine 2			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.11 (ต่อ) แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 2

	Part 9	Part 10	Part 11	Part 12	Part 13	Part 14
	Plan 2	Plan 1	Plan 3	Plan 2	Plan 1	Plan 2
Operation 1			Machine 2			
Operation 2			Machine 4	Machine 4		
Operation 3		Machine 5			Machine 5	Machine 5
Operation 4	Machine 1					
Operation 5				Machine 3		Machine 3
Operation 6			Machine 5			
Operation 7				Machine 2		

- <u>จำนวนเครื่องจักร</u>

  Machine 1 Family 1 เท่ากับ 1 เครื่อง
  Machine 1 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง
  Machine 1 Family 3 เท่ากับ 1 เครื่อง
  Machine 2 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง
  Machine 2 Family 3 เท่ากับ 1 เครื่อง
  Machine 3 Family 2 เท่ากับ 2 เครื่อง
  Machine 5 Family 3 เท่ากับ 1 เครื่อง

- กรณีที่ 6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 3 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

  - <u>OPTIMIZER STATUS</u>

    State : Global Optimum
    Iteration : 15030540
    Objective Function : 800
    Run Time (hh:mm:ss) : 22:33:19

  - <u>แผนกระบวนการผลิต</u>

    แผนกระบวนการผลิตสำหรับการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 3 แสดงดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สอง กรณีศึกษาที่ 3

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5	Part 6
	Plan 2	Plan 1	Plan 2	Plan 2	Plan 2	Plan 1
Operation 1						Machine 9
Operation 2	Machine 1		Machine 9		Machine 9	Machine 9
Operation 3			Machine 1	Machine 1		
Operation 4	Machine 3	Machine 3		Machine 3		Machine 3
Operation 5						
Operation 6	Machine 1			Machine 1	Machine 1	
Operation 7			Machine 9	Machine 9		Machine 9
Operation 8		Machine 9				Machine 9
Operation 9					Machine 3	
Operation 10		Machine 9				
Operation 1	Machine 3		Machine 3	Machine 3		Machine 3
Operation 12						
Operation 1	Machine 9				Machine 9	

- <u>จำนวนเครื่องจักร</u>

  Machine 1 Family 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 1 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 3 Family 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 3 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 9 Family 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

  Machine 9 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

- กรณีที่ 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม กรณีศึกษาที่ 1 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

  - OPTIMIZER STATUS

    State : Global Optimum

    Iteration : 1190

    Objective Function : 600

    Run Time (hh:mm:ss) : 00:00:07

  - แผนกระบวนการผลิต

    แผนกระบวนการผลิตสำหรับการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม กรณีศึกษาที่ 1 แสดงดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 แสดงแผนกระบวนการผลิตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบที่สาม กรณีศึกษาที่ 1

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4
	Plan 1	Plan 2	Plan 2	Plan 1
Operation 1	Machine 1			Machine 1
Operation 2	Machine 2	Machine 2	Machine 2	Machine 2
Operation 3		Machine 2	Machine 2	

จำนวนเครื่องจักร

Machine 1 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

Machine 2 Family 1 เท่ากับ 1 เครื่อง

Machine 2 Family 2 เท่ากับ 1 เครื่อง

ในส่วนตัวอย่างผลการทดลองจากโปรแกรม Lindo ของกรณีศึกษาต่างๆ จะแสดงในภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย