

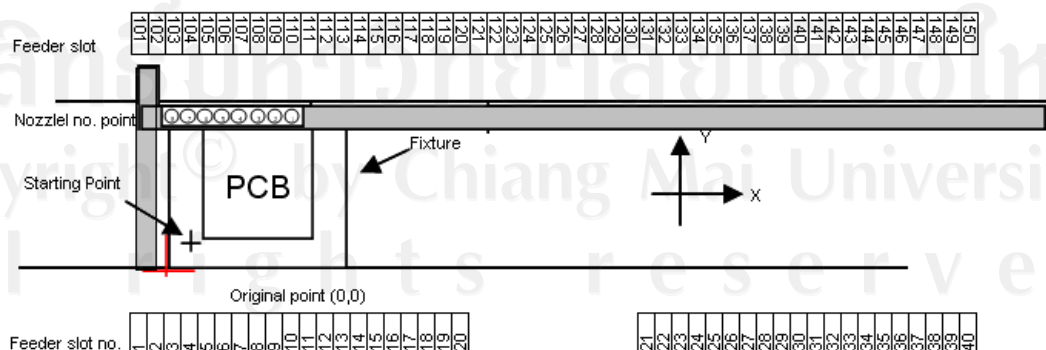
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลและการทำงานของเครื่องจักรวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติในบทที่ 3 และศึกษาปัญหาและข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องจักรวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดรอบเวลาการผลิตของการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีเวลาน้อยที่สุด โดยหาระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Nozzle) เคลื่อนที่ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด

การทำงานของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติมีระบบการทำงานของเครื่องเคลื่อนที่ของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ไปยังตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องจักรตามแผนผังของเครื่องจักรตามรูป 4-1 จากรูปเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จะมีตำแหน่งวางม้วนเทป (Feeder Slot) ทั้งหมด 90 ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็นตำแหน่งด้านหน้าเครื่องจักรทั้งหมด 40 ตำแหน่ง ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 จนถึงตำแหน่งที่ 40 และมีตำแหน่งวางม้วนเทปด้านหลังเครื่องจักรทั้งหมด 50 ตำแหน่ง ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 101 จนถึง 150 และจำนวนของชุดหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Nozzle) ทั้งหมด 8 หัวเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y ตามรูปแผนผัง ในส่วนของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB) จะต้องนำมาวางบนแผ่นอุปกรณ์ที่รองรับแผงวงจร (Fixture) เพื่อวางบนเครื่องจักร ในการทำงานของเครื่องจักรหัวหยิบจับชิ้นส่วนจะเริ่มต้นจากตำแหน่งเริ่มต้น (Starting Point) ที่กำหนดขึ้นของแต่ละแผงวงจรซึ่งไม่ได้เริ่มจากจุดอ้างอิงมาตรฐาน (Original Point (0,0)) ของเครื่องจักรที่กำหนดไว้



รูป 4-1 แสดงแผนผังของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดนำมาวิเคราะห์สามารถสร้างสมการฟังก์ชันเป้าหมายและสมการข้อจำกัดต่างๆเพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดได้ดังนี้

4.1.1 กำหนดค่าตัวแปร (Variables)

ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาระยะทางรวมที่สั้นที่สุดกำหนดดังนี้

ดัชนี (Indices)

i	=	ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) ($i = 1, \dots, a$)
j	=	ตำแหน่งที่บรรจุแผ่นเทป (Feeder Slot) ($j = 1, \dots, b$)
k	=	รอบในการหยิบและวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของหัวจับ ($k = 1, \dots, c$)
l	=	ลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ($l = 1, \dots, d$)
m	=	ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ($m = 1, \dots, e$)

ตัวแปร (Decision Variables)

$X_{i,j,k,l,m}$ = ตัวแปรแสดงการวางหรือหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จากชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ i จากตำแหน่งที่บรรจุแผ่นเทปที่ j ในรอบการหยิบหรือวางที่ k ในลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ l ไปวางในตำแหน่งชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรในตำแหน่งที่ m

โดยที่

$$X_{i,j,k,l,m} = \begin{cases} 1 & \\ 0 & \end{cases} \quad \begin{array}{l} 1 \text{ ถ้าตัวแปรนี้ถูกใช้, } 0 \text{ ถ้าตัวแปรนี้ไม่ได้ถูกใช้} \end{array}$$

CX_m = พิกัดตำแหน่งการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ในแกน X ($CX_1, \dots, CX_e$)

CY_m = พิกัดตำแหน่งการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ในแกน Y ($CY_1, \dots, CY_e$)

FX_j = พิกัดตำแหน่งที่บรรจุแผ่นเทป (Feeder slot no.) ในแกน X ($FX_1, \dots, FX_b$)

FY_j = พิกัดตำแหน่งที่บรรจุแผ่นเทป (Feeder slot no.) ในแกน Y ($FY_1, \dots, FY_b$)

$OP_{k,l}$ = หัวหยิบ (Nozzle) ในลำดับที่ l ทำงานในรอบที่ k

$QN_{i,m}$ = Placement ตำแหน่ง m จะใช้ Component Type ชนิดที่ i

T_i = จำนวนในแต่ละชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ Component Type ชนิดที่ i

4.1.2 สมการฟังก์ชันเป้าหมาย

สมการเป้าหมาย (Objective Function) คือ ส่วนที่แสดงวัตถุประสงค์ของผลลัพธ์ที่ต้องการ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะหาระยะทางรวมที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อลดเวลาผลิต ดังนั้น

สมการนี้เป็นสมการที่หาค่าที่ต่ำที่สุด (Minimize)

$$\text{Minimize } Z = A + B + C + D + E$$

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & \left| 42 - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,l,l,m}) \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,k,l,m}) \right| \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^{c-1} \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k,d,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,k,d,m}) \right| \right| \\ & + \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_j(X_{i,j,c,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,c,5,m}) \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k,l,m}) \right| \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^c \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,k,d,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k,d,m}) \right| \right| \\ & + \left| 123 - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,1,l,m}) \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,k,l,m}) \right| \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^{c-1} \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,k,d,m}) \right| \right| \\ & + \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_j(X_{i,j,c,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,c,5,m}) \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k,l,m}) \right| \right| \\ & + \left| \sum_{k=1}^c \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,k,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k-1,d,m}) \right| \right| \end{aligned} \quad (4.1)$$

ความหมายของสมการเป้าหมายจะประกอบด้วยตัวแปรที่จะแสดงถึงการคำนวณระยะทางรวมของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวางชิ้นส่วนทั้งหมดลงบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

โดยความหมายของแต่ละสมการที่อยู่ในสมการเป้าหมาย (Objective Function) สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\text{Minimize } Z = A + B + C + D + E \quad (4.2)$$

$$A = AX + AY$$

$$B = BXF + BYF$$

$$C = CXP + CYP + CXP14 + CYP14$$

$$D = DXC + DYC$$

$$E = EXP + EYP$$

1. ระยะทางรวมจากที่เดินทางจากจุดเริ่มต้น พิกัด (42,123) ไปยังพิกัด Pick up Feeder รอบที่ 1 ($k = 1$) เท่ากับ A

$$A = AX + AY \quad (4.3)$$

ในแกน X เท่ากับ AX

$$AX = \left| 42 - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j (X_{i,j,1,l,m}) \right| \quad (4.4)$$

ในแกน Y เท่ากับ AY

$$AY = \left| 123 - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j (X_{i,j,1,l,m}) \right| \quad (4.5)$$

2. ระยะทางรวมจาก Nozzle Pick up ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ระหว่าง Feeder slot no.1 ไปยังลำดับ Feeder slot no. ถัดไป ในรอบที่ k เท่ากับ B

$$B = BXF + BYF \quad (4.6)$$

ในแกน X

$$BXF = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j (X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j (X_{i,j,k,l,m}) \right| \quad (4.7)$$

ในแกน Y

$$BYF = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j (X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j (X_{i,j,k,l,m}) \right| \quad (4.8)$$

3. ระยะทางจากตำแหน่งพิกัด Feeder slot (FX_j) ที่ Nozzle อันสุดท้าย ($l=d$) ในรอบที่ k หยิบไปยังตำแหน่งที่ Nozzle อันที่ 1 ไปวางบน ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร (CX_m) เท่ากับ C

$$C = CXP + CYP + CXP14 + CYP14 \quad (4.9)$$

ในแกน X

รอบที่ 1 ถึงรอบที่ 13 เท่ากับ CXP

$$CXP = \sum_{k=1}^{c-1} \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,k,d,m}) \right| \quad (4.10)$$

รอบที่ 14 เท่ากับ CXP14

$$CXP14 = \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_j(X_{i,j,c,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,c,5,m}) \right| \quad (4.11)$$

ในแกน Y

รอบที่ 1 ถึงรอบที่ 13 เท่ากับ CYP

$$CYP = \sum_{k=1}^{c-1} \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,k,d,m}) \right| \quad (4.12)$$

รอบที่ 14 เท่ากับ CXP14

$$CYP14 = \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_j(X_{i,j,c,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,c,5,m}) \right| \quad (4.13)$$

4. ระยะเวลารวมของตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจร (CX_m) ที่หัว Nozzle ลำดับที่ 1 ไปยังลำดับตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลำดับถัดไป ในรอบที่ k เท่ากับ D

$$D = DXC + DYC \quad (4.14)$$

ในแกน X

$$DXC = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k,l,m}) \right| \quad (4.15)$$

ในแกน Y

$$DYC = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k,l+1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k,l,m}) \right| \quad (4.16)$$

5. ระยะเวลารวมจากวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (CX_m) ที่ Nozzle อันสุดท้าย ($l=d$) วางในรอกก่อนหน้า ($k-1$) ไปยังตำแหน่งที่ Nozzle อันที่ 1 ($l=1$) ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ใน Feeder slot (FX_j) ในรอบที่ k เท่ากับ E

$$E = EXP + EYP \quad (4.17)$$

ในแกน X

$$EXP = \sum_{k=1}^c \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FX_j(X_{i,j,k,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CX_m(X_{i,j,k-1,d,m}) \right| \quad (4.18)$$

ในแกน Y

$$EYP = \sum_{k=1}^c \left| \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a FY_j(X_{i,j,k,1,m}) - \sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a CY_m(X_{i,j,k-1,d,m}) \right| \quad (4.19)$$

4.1.3 สมการข้อจำกัด (Constraints)

ส่วนเงื่อนไข (Side Constraints or Restriction) แสดงถึงขีดจำกัดของปัจจัยซึ่งอาจจะมีรูปของสมการหรือ อสมการก็ได้เส้นตรงก็ได้ < , > งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะหาระยะทางรวมที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อลดเวลาผลิต โดยจะมีเงื่อนไขและข้อจำกัดของการทำงานของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

1. ในแต่ละ Slot สามารถวางตำแหน่งชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้ไม่เกิน F ตำแหน่ง เนื่องจากชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ a มีทั้งหมด e ตำแหน่ง (Placement)

$$\sum_{m=1}^e \sum_{l=1}^l \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^a X_{i,j,k,l,m} \leq F \quad \forall_j \quad j = 1, \dots, b$$

2. ในแต่ละ 1 ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) สามารถบรรจุใน Slot Feeder ได้มากที่สุดเท่ากับจำนวน placement ในแต่ละชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

T_i = จำนวน Component ในแต่ละชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

$$\sum_{m=1}^e \sum_{l=1}^l \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^b X_{i,j,k,l,m} \leq T_i \quad \forall_i \quad i = 1, \dots, a$$

3. ในแต่ละ Placement มีเพียง 1 ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) เท่านั้น

$$\sum_{l=1}^l \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a X_{i,j,k,l,m} = 1 \quad \forall_m \quad m = 1, \dots, e$$

4. ในแต่ละรอบของการหยิบของหัว Nozzle ต้องหยิบได้ไม่เกิน 1 ครั้งเท่านั้น

$$\sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a X_{i,j,k,l,m} \leq 1 \quad \forall_k \forall_l \quad k = 1, \dots, c \quad l = 1, \dots, d$$

5. ทุกรอบของการหยิบของแต่ละหัวจับ (Nozzle) ต้องเท่ากับ 1 ยกเว้นรอบสุดท้ายหัวจับลำดับที่ 6, 7 และ 8 จะเท่ากับ 0 เนื่องจากรอบสุดท้ายมีตำแหน่งที่วางเพียง 5 ตำแหน่งเท่านั้น

ตำแหน่งการ Placement มีทั้งหมด e ชุดหัวจับทำงานทั้งหมด 14 รอบ ดังนั้นรอบการหยิบมีดังนี้

- รอบที่ 1 ถึง c-1 จะใช้หัวจับครบ d หัวจับ
- รอบที่ c จะใช้หัวจับเพียง g หัวจับเท่านั้น

ดังนั้นจึงกำหนดค่าของการหยิบในแต่ละรอบและการหยิบของแต่ละหัวจับเท่ากับค่า QP

$$QP_{k,l} = \begin{cases} 1 & \text{1 คือ หัวจับทำการหยิบ, 0 คือ หัวจับไม่ทำการหยิบ} \\ 0 & \end{cases}$$

$$\sum_{m=1}^e \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a X_{i,j,k,l,m} \leq QP_{k,l} \quad \forall_k \forall_l \quad k = 1, \dots, c \quad l = 1, \dots, d$$

6. แต่ละตำแหน่งการ Placement จะมีค่ากำหนดของชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) โดยจะกำหนดค่าตัวแปรให้มีค่าเท่ากับ QN ดังนั้นจึงกำหนดค่าของการวางแต่ละตำแหน่ง Placement ให้สัมพันธ์กับ Component Type ดังนี้

$$QN_{i,m} = \begin{cases} 1 & \text{1 คือ Placement ตำแหน่ง } m \text{ จะใช้ Component Type } i \\ 0 & \text{0 คือ Placement ตำแหน่ง } m \text{ จะไม่ได้ใช้ Component Type } i \end{cases}$$

$$\sum_{m=1}^e \sum_{k=1}^d \sum_{j=1}^b X_{i,j,k,l,m} \leq QN_{i,m} \quad \forall_i \forall_m \quad i = 1, \dots, a$$

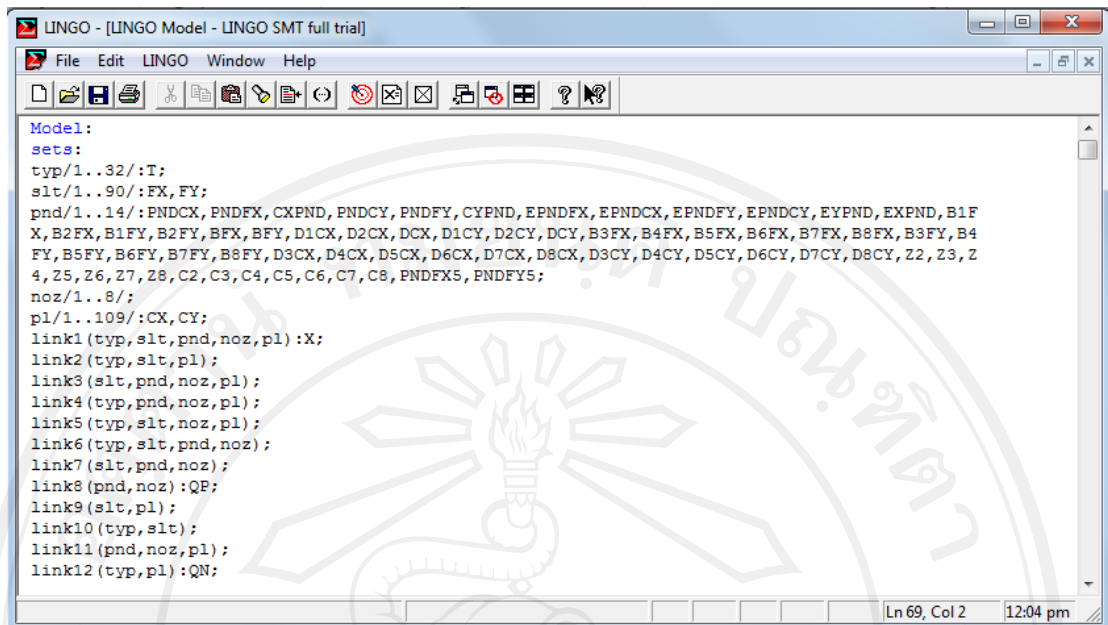
$$m = 1, \dots, e$$

7. ค่าของตัวแปรเป็นข้อมูล Binary คือ 1 และ 0 เท่านั้น

$$X_{i,j,k,l,m} = \begin{cases} 1 & \text{1 ถ้าตัวแปรนี้ถูกใช้ 0 ถ้าตัวแปรนี้ไม่ได้ถูกใช้} \\ 0 & \end{cases}$$

4.2 วิธีการหาคำตอบของเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยโปรแกรม LINGO 5.0

จากสมการฟังก์ชันเป้าหมาย สมการข้อจำกัด และตัวแปรทั้งหมดในรูปแบบของตัวแปรทางคณิตศาสตร์ สามารถหาคำตอบที่มีระยะทางรวมทั้งหมดที่สั้นที่สุดโดยใช้โปรแกรม LINGO 5.0 โดยสร้างสมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัดในรูปแบบของสมการฟังก์ชัน LINGO 5.0 เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุด ดังนั้นสมการทั้งหมดสามารถเขียนในรูปแบบของโปรแกรม LINGO 5.0 ได้ดังภาคผนวก ข ลักษณะตัวอย่างของรูปแบบโปรแกรม LINGO 5.0 แสดงดังรูป 4-2 โดยมีขั้นตอนของการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ กำหนดค่าพารามิเตอร์ สมการข้อจำกัด และสมการเป้าหมายตามลำดับ



รูป 4-2 แสดงตัวอย่างสมการในรูปแบบโปรแกรม LINGO 5.0

4.3 ผลลัพธ์ของเส้นทางรวมที่สั้นที่สุดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก

เนื่องจากโปรแกรม LINGO 5.0 Version Educational มีขอบเขตของการหาผลลัพธ์ที่จำกัดโดยที่ขนาดของตัวแปรต้องมีขนาดไม่เกิน 6,000 ตัวแปรและสามารถหาคำตอบได้ภายในครั้งเดียวโดยไม่ต้องแบ่งช่วงโปรแกรมเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ โดยสามารถทดสอบกับตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนชิ้นงานขนาดเล็กบนแผงวงจรดังต่อไปนี้

4.3.1 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ A

ผลิตภัณฑ์ A เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กและมีจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

- i = ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) ($i = 1, \dots, 3$)
- j = ตำแหน่งที่บรรจุแผงวงจร (Feeder Slot) ($j = 1, \dots, 3$)
- k = รอบในการหยิบและวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของหัวจับ ($k = 1, \dots, 2$)
- l = ลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ($l = 1, \dots, 2$)
- m = ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ($m = 1, \dots, 3$)

ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ A มีชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 3 ชนิดและแต่ละตำแหน่งของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของข้อมูลตามตาราง 4-1 และตำแหน่งของบรรจุแผงวงจรของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติทั้ง 3 ตำแหน่งในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของตำแหน่งตามตาราง 4-2

ตาราง 4-1 ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผลิตภัณฑ์ A

ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
	Designator	แกน X	แกน Y			
1	R1	5	10	RES 10 OHM 0603	1	8mmTape
2	R2	10	10	RES 15 OHM 0603	2	8mmTape
3	C1	10	15	CCAP 0.1UF 20V 0603	3	8mmTape

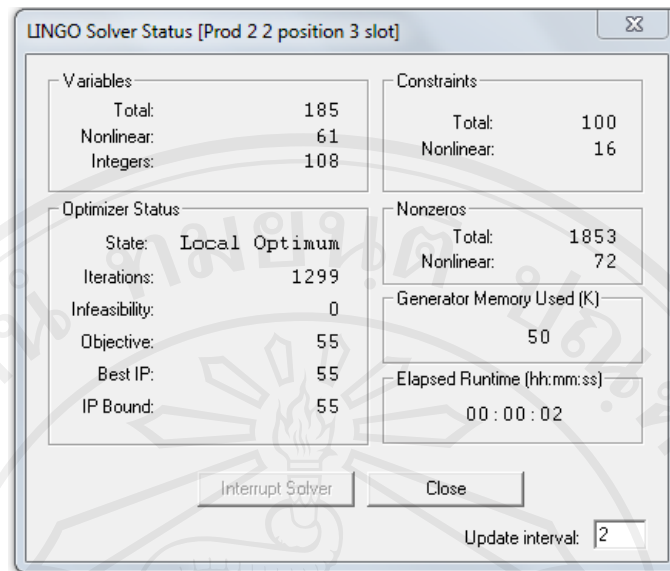
ตาราง 4-2 พิกัดตำแหน่งบรรจุม้วนเทปของเครื่องวางชิ้นส่วนอัตโนมัติสำหรับผลิตภัณฑ์ A

	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์	ตำแหน่ง Slot no.	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
			แกน X	แกน Y
1	2	1	5	0
2	1	2	10	0
3	3	3	5	25

เมื่อนำข้อมูลของตัวแปรทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ A มาหาระยะทางที่สั้นที่สุดโดยโปรแกรม LINGO 5.0 พบว่าตัวแปร (Integer Variable) ทั้งหมดเท่ากับ 108 และผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 55 มิลลิเมตร แสดงตามตาราง 4-3 และ รูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่ากับ 2 วินาที แสดงตามรูป 4-3 และผลลัพธ์การเคลื่อนที่และการจัดวางลำดับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงตามตาราง 4-4

ตาราง 4-3 แสดงจำนวนตัวแปรทั้งหมดและระยะทางที่สั้นที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ A

ผลิตภัณฑ์	ชนิด (i)	ม้วนเทป (j)	รอบ (k)	หัวหยิบจับ (l)	ตำแหน่งว่าง (m)	Integer Variable	เวลาที่ใช้ประมวลผล hh:mm:ss	ระยะทางรวม (mm)	รวมเวลาในการผลิตจากการคำนวณ (Sec)	รวมเวลาในการผลิตเดิม (Sec)	สามารถลดรอบเวลาการผลิตได้ (%)
A	3	3	2	2	3	108	0:00:02	55	0.12	0.16	21.43%

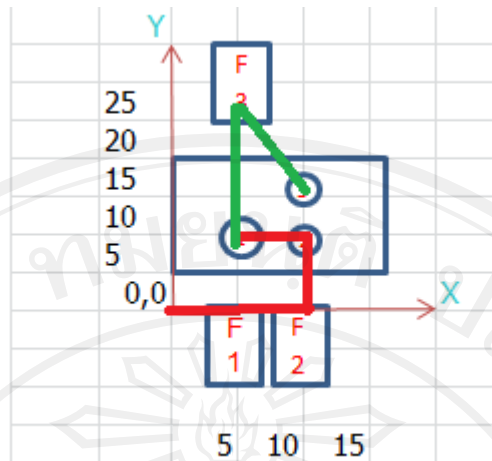


รูป 4-3 แสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของโปรแกรม LINGO 5.0 ของผลิตภัณฑ์ A

ตาราง 4-4 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรสำหรับผลิตภัณฑ์ A

X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม mm
X	2	1	1	1	2	2	1	1	1	R2	55
X	1	2	1	2	1	1	2	1	2	C1	
X	3	3	2	1	3	3	3	2	1	R1	

ผลลัพธ์ของคำตอบที่นำมาจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่การทำงานหัวหยิบจับของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติแสดงได้ดังรูปภาพที่ 4-4 โดยหัวหยิบจับชิ้นส่วนจะเริ่มต้นการเคลื่อนที่ในรอบที่ 1 จากจุดเริ่มต้น (0,0) และเคลื่อนที่ไปตำแหน่งบรรจุแผ่นที่ F1 และ F2 เพื่อหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 2, 3 ตามลำดับและเคลื่อนที่ไปวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนตำแหน่ง R2 และ C1 ตามลำดับ ในรอบที่สองหัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 3 ในตำแหน่งบรรจุแผ่นที่ 3 และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ R1 เป็นลำดับสุดท้ายและจบการทำงาน



รูป 4-4 แสดงการเคลื่อนที่จากผลลัพธ์โปรแกรม LINGO ของผลิตภัณฑ์ A

4.3.2 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ B

ผลิตภัณฑ์ B เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กและมีจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

- i = ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) ($i = 1, \dots, 5$)
- j = ตำแหน่งที่บรรจุแผงเทป (Feeder Slot) ($j = 1, \dots, 5$)
- k = รอบในการหยิบและวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของหัวจับ ($k = 1, \dots, 3$)
- l = ลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ($l = 1, \dots, 2$)
- m = ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ($m = 1, \dots, 5$)

ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ B มีชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 5 ชนิดและแต่ละตำแหน่งของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของข้อมูลตามตาราง 4-5 และตำแหน่งของบรรจุแผงเทปของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติทั้ง 5 ตำแหน่งในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของตำแหน่งตามตาราง 4-6

ตาราง 4-5 ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผลิตภัณฑ์ B

ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type, size	ชนิด ที่	ความ กว้าง ม้วนเทป
		แกน X	แกน Y			
1	C1	55	20	CCAP 0.1UF 20V 0603	1	8mmTape
2	C2	60	20	CCAP 1 UF 20V 0603	2	8mmTape
3	C3	70	20	CCAP 20UF 25V 0603	3	8mmTape
4	C4	85	45	CCAP15 PF 50V 0603	4	8mmTape
5	C5	60	45	CCAP 48PF 20V 0603	5	8mmTape

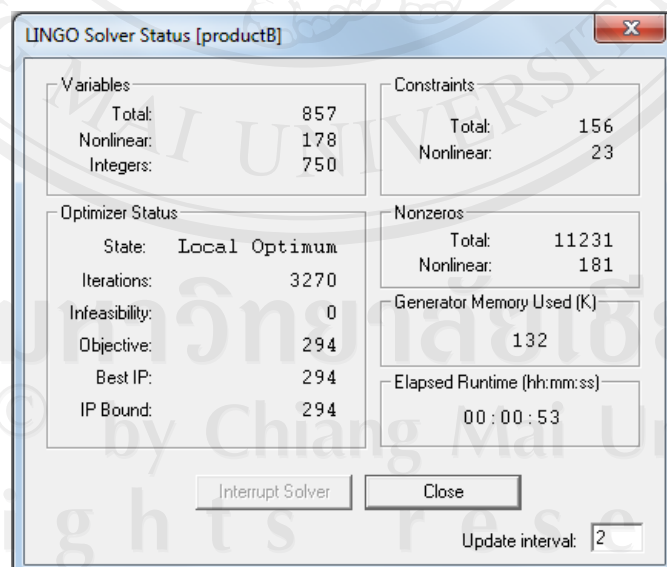
ตาราง 4-6 พิกัดตำแหน่งบรรจุไม้ของเครื่องวางชิ้นส่วนอัตโนมัติสำหรับผลิตภัณฑ์ B

	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์	ตำแหน่ง Slot no.	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
			แกน X	แกน Y
1	2	1	16	0
2	1	2	32	0
3	4	3	48	0
4	3	4	64	150
5	5	5	80	150

เมื่อนำข้อมูลของตัวแปรทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ B มาหารระยะทางที่สั้นที่สุดโดยโปรแกรม LINGO 5.0 พบว่าตัวแปร (Integer Variable) ทั้งหมดเท่ากับ 750 และผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 294 มิลลิเมตร แสดงตามตาราง 4-7 และ รูปแบบการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่ากับ 53 วินาที แสดงตามรูป 4-8 และผลลัพธ์การเคลื่อนที่และการจัดวางลำดับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงตามตาราง 4-8

ตาราง 4-7 แสดงจำนวนตัวแปรทั้งหมดและระยะทางที่สั้นที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ B

ผลิตภัณฑ์	ชนิด (i)	ไม้แท่ง (j)	รอบ (k)	หัวหมับจับ (l)	ตำแหน่งวาง (m)	Integer Variable	เวลาที่ใช้ประมวลผล hh:mm:ss	ระยะทางรวม(mm)	รวมเวลาในการผลิตจากการคำนวณ (Sec)	รวมเวลาในการผลิตเดิม (Sec)	สามารถลดรอบเวลาการผลิตได้ (%)
B	5	5	3	2	5	750	0:00:53	294	0.67	1.55	57.02%

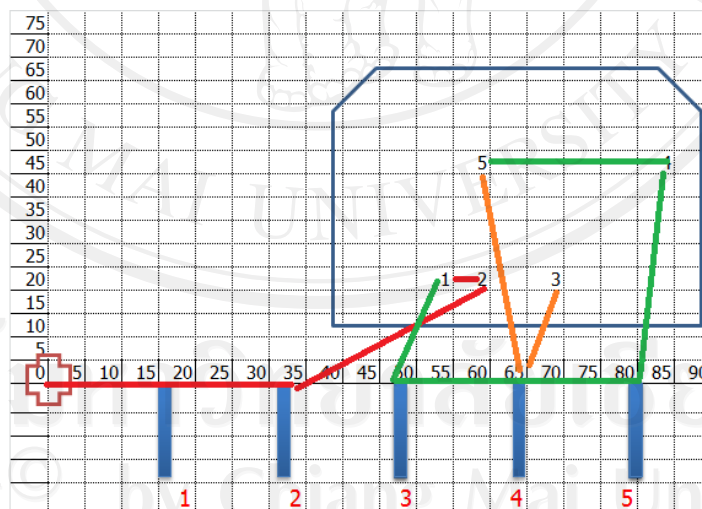


รูป 4-5 แสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของโปรแกรม LINGO 5.0 ของผลิตภัณฑ์ B

ตาราง 4-8 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรสำหรับผลิตภัณฑ์ B

X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม mm
X	2	1	1	1	2	2	1	1	1	C2	294
X	1	2	1	2	1	1	2	1	2	C1	
X	4	3	2	1	4	4	3	2	1	C4	
X	5	5	2	2	5	5	5	2	2	C5	
X	3	4	3	1	3	3	4	3	1	C3	

ผลลัพธ์ของคำตอบที่นำมาจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่การทำงานหัวหยิบจับของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติแสดงได้ดังรูปภาพที่ 4-6 โดยหัวหยิบจับชิ้นส่วนจะเริ่มต้นการเคลื่อนที่ในรอบที่ 1 จากจุดเริ่มต้น (0,0) และเคลื่อนที่ไปตำแหน่งบรรจุแผงที่ 1 และ 2 เพื่อหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 2, 1 ตามลำดับและเคลื่อนที่ไปวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนตำแหน่ง C2 และ C1 ตามลำดับ ในรอบที่สองหัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 4, 5 ในตำแหน่งบรรจุแผงที่ 3, 5 ตามลำดับ และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ C4, C5 และในรอบที่ 3 หัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 3 ในตำแหน่งบรรจุแผงที่ 4 ตามลำดับ และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ C3 เป็นลำดับสุดท้ายและจบการทำงาน



รูป 4-6 แสดงการเคลื่อนที่จากผลลัพธ์โปรแกรม LINGO ของผลิตภัณฑ์ B

4.3.3 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ C

ผลิตภัณฑ์ C เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กและมีจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

- i = ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) ($i = 1, \dots, 5$)
 j = ตำแหน่งที่บรรจุแผงวงจร (Feeder Slot) ($j = 1, \dots, 5$)
 k = รอบในการหยิบและวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของหัวจับ ($k = 1, \dots, 3$)
 l = ลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ($l = 1, \dots, 2$)
 m = ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ($m = 1, \dots, 5$)

ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ C มีชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 5 ชนิดและแต่ละตำแหน่งของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของข้อมูลตามตาราง 4-9 และตำแหน่งของบรรจุแผงวงจรของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติทั้ง 5 ตำแหน่งในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของตำแหน่งตามตาราง 4-10

ตาราง 4-9 ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผลิตภัณฑ์ C

ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type, size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
	Designator	แกน X	แกน Y			
1	R1	45	40	RES 1MOHM 0402	1	8mmTape
2	R2	45	55	RES 2 OHM 0402	2	8mmTape
3	R3	85	20	RES 15KOHM 0603	3	8mmTape
4	R4	85	45	RES 51 OHM 0603	4	8mmTape
5	R5	75	55	RES 56 OHM 0805	5	8mmTape

ตาราง 4-10 พิกัดตำแหน่งบรรจุแผงวงจรของเครื่องวางชิ้นส่วนอัตโนมัติสำหรับผลิตภัณฑ์ C

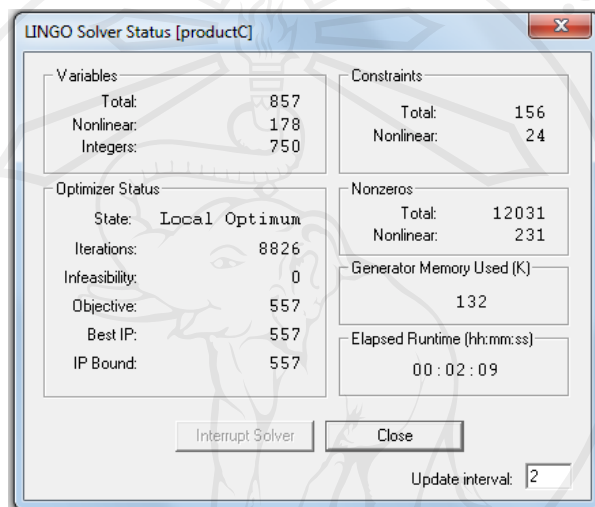
	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
		Slot no.	แกน X	แกน Y
1	1	1	16	0
2	2	2	32	0
3	3	3	48	0
4	5	4	64	150
5	4	5	80	150

เมื่อนำข้อมูลของตัวแปรทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ C มาหาระยะทางที่สั้นที่สุดโดยโปรแกรม LINGO 5.0 พบว่าตัวแปร (Integer Variable) ทั้งหมดเท่ากับ 750 และผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 557 มิลลิเมตร แสดงตามตาราง 4-11 และ รูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม

และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่ากับ 2 นาที 9 วินาที แสดงตามรูป 4-7 และผลลัพธ์การเคลื่อนที่และการจัดวางลำดับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงตามตาราง 4-12

ตาราง 4-11 แสดงจำนวนตัวแปรทั้งหมดและระยะทางที่สั้นที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ C

ผลิตภัณฑ์	ชนิด (i)	จำนวนเทป (j)	รอบ (k)	หัวหยิบจับ (l)	ตำแหน่งวาง (m)	Integer Variable	เวลาที่ใช้ประมวลผล hh:mm:ss	ระยะทางรวม (mm)	รอบเวลาในการผลิตจากการคำนวณ (Sec)	รอบเวลาในการผลิตเดิม (Sec)	สามารถลดรอบเวลาการผลิตได้ (%)
C	5	5	3	2	5	750	0:02:09	557	1.26	1.61	21.55%



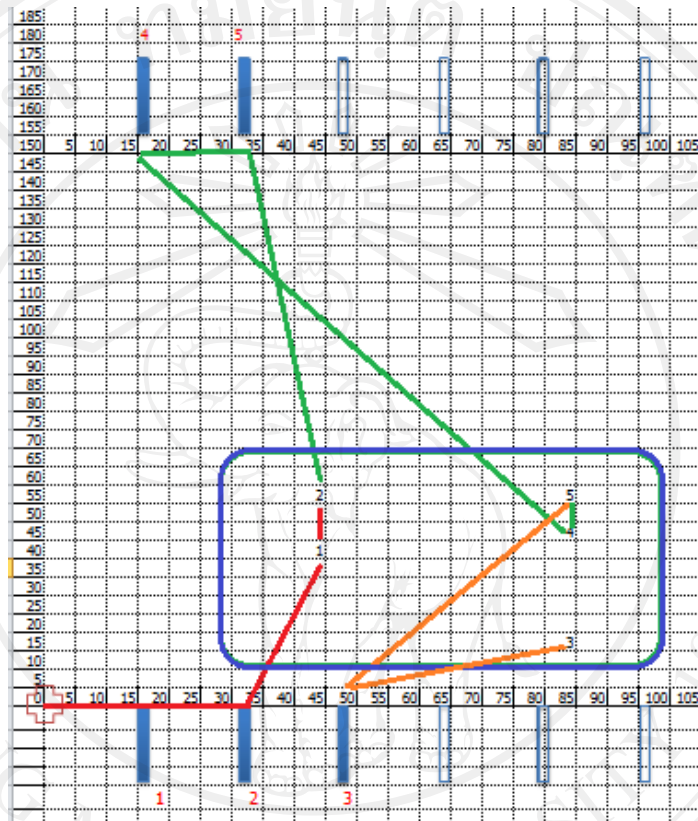
รูป 4-7 แสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของโปรแกรม LINGO 5.0 ของผลิตภัณฑ์ C

ตาราง 4-12 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรสำหรับผลิตภัณฑ์ C

X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม mm
X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	R1	557
X	2	2	1	2	2	2	2	1	2	R2	
X	4	5	2	1	4	4	5	2	1	R4	
X	5	4	2	2	5	5	4	2	2	R5	
X	3	3	3	1	3	3	3	3	1	R3	

ผลลัพธ์ของคำตอบที่นำมาจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่การทำงานหัวหยิบจับของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติแสดงได้ดังรูปภาพที่ 4-8 โดยหัวหยิบจับชิ้นส่วนจะเริ่มต้นการเคลื่อนที่ในรอบที่ 1 จากจุดเริ่มต้น (0,0) และเคลื่อนที่ไปตำแหน่งบรรจุมันเทปที่ 1 และ 2 เพื่อหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 1, 2 ตามลำดับและเคลื่อนที่ไปวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนตำแหน่ง R1 และ R2 ตามลำดับ ในรอบที่ 2 หัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 4, 5 ในตำแหน่งบรรจุมันเทปที่ 5, 4 ตามลำดับ และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ในตำแหน่งที่ R4,R5 และในรอบที่ 3 หัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 3 ในตำแหน่งบรรจุถ้วยเทปที่ 3 ตามลำดับ และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ R3 เป็นลำดับสุดท้ายและจบการทำงาน



รูป 4-8 แสดงการเคลื่อนที่จากผลลัพธ์ โปรแกรม LINGO ของผลิตภัณฑ์ C

4.3.4 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ D

ผลิตภัณฑ์ D เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กและมีจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

- i = ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) ($i = 1,...,5$)
- j = ตำแหน่งที่บรรจุถ้วยเทป (Feeder Slot) ($j = 1,...,5$)
- k = รอบในการหยิบและวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของหัวจับ ($k = 1,...,3$)
- l = ลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ($l = 1,...,2$)
- m = ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ($m = 1,...,5$)

ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ D มีชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 5 ชนิดและแต่ละตำแหน่งของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของ

ข้อมูลตามตาราง 4-13 และตำแหน่งของบรรจุภัณฑ์ของเครื่องวางชิ้นอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ทั้ง 5 ตำแหน่งในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของตำแหน่งตามตาราง 4-14

ตาราง 4-13 ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผลิตภัณฑ์ D

ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิด ที่	ความ กว้าง ม้วนเทป
	Designator	แกน X	แกน Y			
1	C101	30	70	RES 1MOHM 0402	1	8mmTape
2	C103	30	60	RES 2 OHM 0402	2	8mmTape
3	R12	55	30	RES 15KOHM 0603	3	8mmTape
4	FB1	75	30	FERRITE BEAD 51 OHM 0603	4	8mmTape
5	FB7	60	60	FERRITE BEAD 56 OHM 0805	5	8mmTape

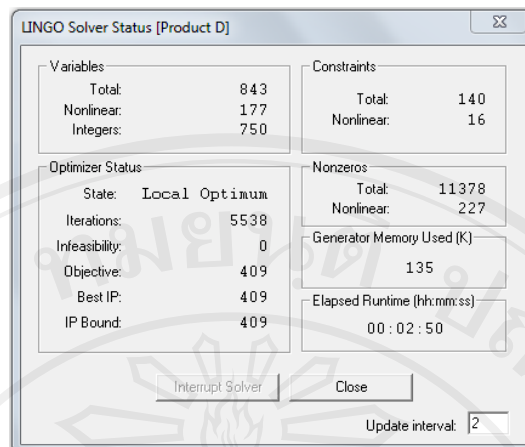
ตาราง 4-14 พิกัดตำแหน่งบรรจุภัณฑ์ของเครื่องวางชิ้นส่วนอัตโนมัติสำหรับผลิตภัณฑ์ D

	ชนิด อิเล็กทรอนิกส์	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
		Slot no.	แกน X	แกน Y
1	1	1	16	0
2	3	2	32	0
3	4	3	48	0
4	5	4	64	150
5	2	5	80	150

เมื่อนำข้อมูลของตัวแปรทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ D มาหาระยะทางที่สั้นที่สุดโดยโปรแกรม LINGO 5.0 พบว่าตัวแปร (Integer Variable) ทั้งหมดเท่ากับ 750 และผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 409 มิลลิเมตร แสดงตามตาราง 4-15 และรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่ากับ 2 นาที 50 วินาที แสดงตามรูป 4-9 และผลลัพธ์การเคลื่อนที่และการจัดวางลำดับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงตามตาราง 4-16

ตาราง 4-15 แสดงจำนวนตัวแปรทั้งหมดและระยะทางที่สั้นที่สุดผลิตภัณฑ์ D

ผลิตภัณฑ์	ชนิด (i)	ม้วน เทป (j)	รอบ (k)	หัวอิน จิน (l)	ตำแหน่ง วาง (m)	Integer Variable	เวลาที่ใช้ ประมวลผล hh:mm:ss	ระยะทางรวม (mm)	รอบเวลาในการ ผลิตจาก การคำนวณ (Sec)	รอบเวลาใน การ ผลิตเดิม (Sec)	สามารถลดรอบ เวลาการผลิตได้ (%)
D	5	5	2	3	5	750	0:02:50	409	0.93	1.17	20.74%

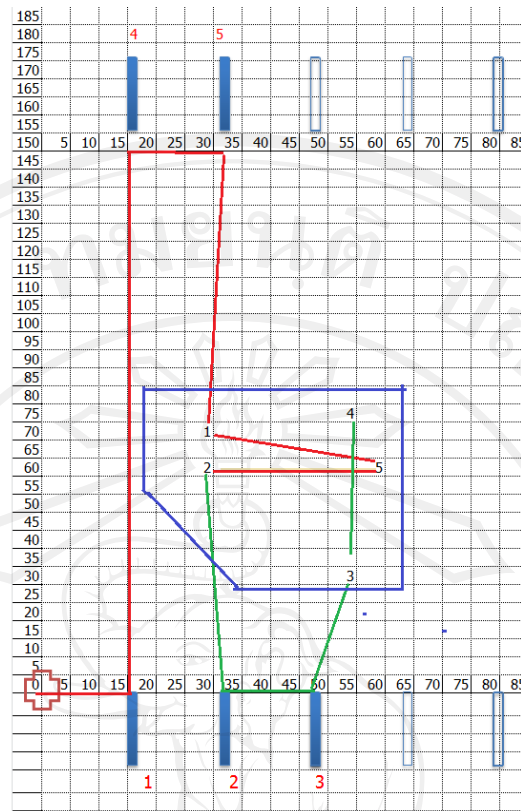


รูป 4-9 แสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของโปรแกรม LINGO 5.0 ของผลิตภัณฑ์ D

ตาราง 4-16 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรสำหรับผลิตภัณฑ์ D

X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม mm
X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	C101	409
X	5	4	1	2	5	5	4	1	2	FB7	
X	2	5	1	3	2	2	5	1	3	C103	
X	3	2	2	1	3	3	2	2	1	R12	
X	4	3	2	2	4	4	3	2	2	FB1	

ผลลัพธ์ของคำตอบที่นำมาจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่การทำงานหัวหยิบจับของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติแสดงได้ดังรูปภาพที่ 4-10 โดยหัวหยิบจับชิ้นส่วนจะเริ่มดำเนินการเคลื่อนที่ในรอบที่ 1 จากจุดเริ่มต้น (0,0) และเคลื่อนที่ไปตำแหน่งบรรจุแผงที่ 1, 4 และ 5 เพื่อหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 1,5 และ 2 ตามลำดับและเคลื่อนที่ไปวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนตำแหน่ง C101, FB7 และ C103 ตามลำดับ ในรอบที่ 2 หัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 3 และ 4 ในตำแหน่งบรรจุแผงที่ 2 และ 3 และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ R12 และ FB1 เป็นลำดับสุดท้ายและจบการทำงาน



รูป 4-10 แสดงการเคลื่อนที่จากผลลัพธ์โปรแกรม LINGO ของผลิตภัณฑ์ D

4.3.5 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ E

ผลิตภัณฑ์ E เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กและมีจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

- i = ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) ($i = 1, \dots, 7$)
- j = ตำแหน่งที่บรรจุแผง (Feeder Slot) ($j = 1, \dots, 7$)
- k = รอบในการหยิบและวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของหัวจับ ($k = 1, \dots, 3$)
- l = ลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ($l = 1, \dots, 3$)
- m = ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ($m = 1, \dots, 7$)

ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของผลิตภัณฑ์ A มีชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 7 ชนิดและแต่ละตำแหน่งของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของข้อมูลตามตาราง 4-17 และตำแหน่งของบรรจุแผงของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติทั้ง 7 ตำแหน่งในแกน X และ Y แสดงรายละเอียดของตำแหน่งตามตาราง 4-18

ตาราง 4-17 ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผลิตภัณฑ์ E

ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
	Designator	แกน X	แกน Y			
1	R32	60	50	RES 51 OHM 0603	1	8mmTape
2	C132	55	50	RES 2 OHM 0402	2	8mmTape
3	Y1	60	30	Crytal 20 Mhz 0603	3	8mmTape
4	RP1	90	30	RES ARRAY 20 OHM 0603	4	8mmTape
5	Y2	40	45	Xtal 3.628 MHZ 0805	5	8mmTape
6	FB4	55	45	FERRITE BEAD 12 OHM 0805	6	8mmTape
7	FB7	70	45	FERRITE BEAD 56 OHM 0805	7	8mmTape

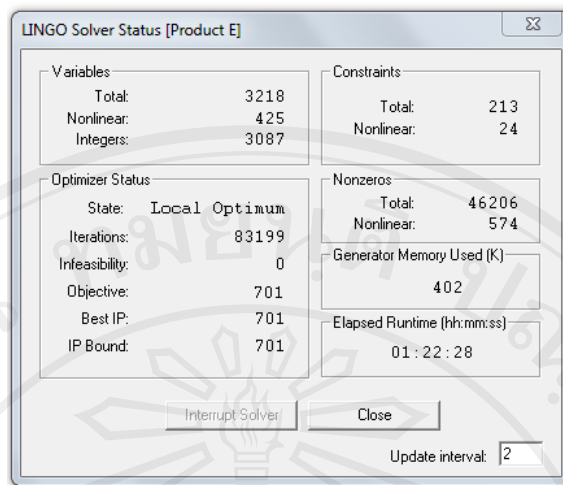
ตาราง 4-18 พิกัดตำแหน่งบรรจุม้วนเทปของเครื่องวางชิ้นส่วนอัตโนมัติสำหรับผลิตภัณฑ์ E

	ชนิดที่	ตำแหน่ง Slot no.	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
			แกน X	แกน Y
1	6	1	16	0
2	3	2	32	0
3	2	3	48	0
4	5	4	64	0
5	1	5	80	0
6	4	6	96	150
7	7	7	112	150

เมื่อนำข้อมูลของตัวแปรทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ E มาหาระยะทางที่สั้นที่สุดโดยโปรแกรม LINGO 5.0 พบว่าตัวแปร (Integer Variable) ทั้งหมดเท่ากับ 3,087 และผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 701 มิลลิเมตร แสดงตามตาราง 4-19 และ รูปแบบการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่ากับ 1 ชั่วโมง 22 นาที 2 วินาที แสดงตามรูป 4-11 และ ผลลัพธ์การเคลื่อนที่และการจัดวางลำดับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงตามตาราง 4-20

ตาราง 4-19 แสดงจำนวนตัวแปรทั้งหมดและระยะทางที่สั้นที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ E

ผลิตภัณฑ์	ชนิด (i)	ม้วน เทป (j)	รอบ (k)	หัวเก็บ จับ (l)	ตำแหน่ง วาง (m)	Integer Variable	เวลาที่ใช้ ประมวลผล hh:mm:ss	ระยะทาง รวม(mm)	รอบเวลาในการผลิตจากการคำนวณ (Sec)	รอบเวลาในการผลิตเดิม (Sec)	สามารถลดรอบเวลาการผลิตได้ (%)
E	7	7	3	3	7	3087	1:22:28	701	1.59	1.97	19.52%

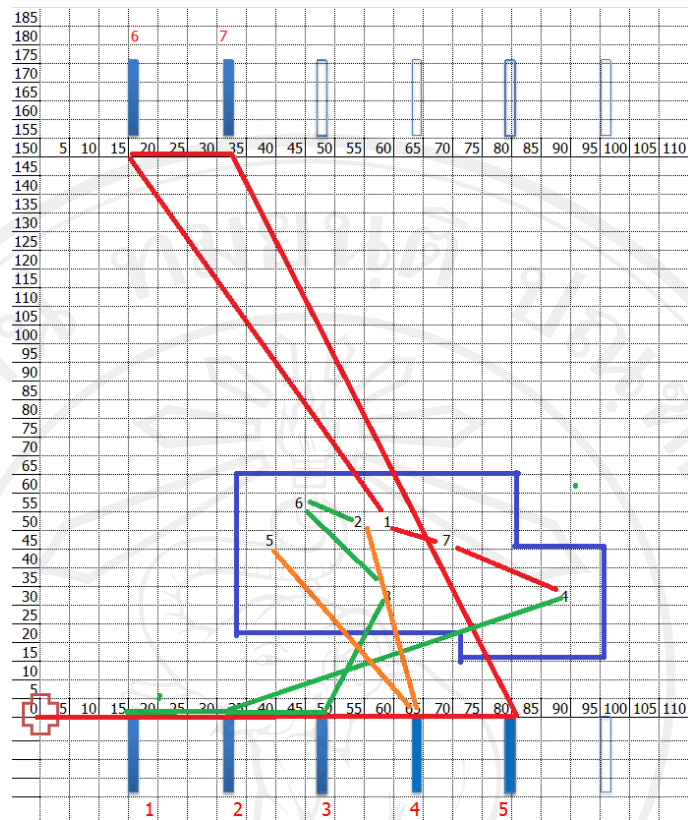


รูป 4-11 แสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของโปรแกรม LINGO 5.0 ของผลิตภัณฑ์ E

ตาราง 4-20 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรสำหรับผลิตภัณฑ์ E

X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม mm
X	1	5	1	1	1	1	5	1	1	R32	701
X	7	7	1	2	7	7	7	1	2	FB7	
X	4	6	1	3	4	4	6	1	3	RP1	
X	3	2	2	1	3	3	2	2	1	Y1	
X	6	1	2	2	6	6	1	2	2	FB4	
X	2	3	2	3	2	2	3	2	3	C132	
X	5	4	3	1	5	5	4	3	1	Y2	

ผลลัพธ์ของคำตอบที่นำมาจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่การทำงานหัวหยิบจับของเครื่องวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติแสดงได้ดังรูปภาพที่ 4-12 โดยหัวหยิบจับชิ้นส่วนจะเริ่มดำเนินการเคลื่อนที่ในรอบที่ 1 จากจุดเริ่มต้น (0,0) และเคลื่อนที่ไปตำแหน่งบรรจุแผงที่ 5, 7 และ 6 เพื่อหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 1, 7 และ 4 ตามลำดับและเคลื่อนที่ไปวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนตำแหน่ง R32, FB7 และ RP1 ตามลำดับ ในรอบที่ 2 หัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 3, 6, 2 ในตำแหน่งบรรจุแผงที่ 2, 1 และ 3 ตามลำดับ และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ Y1, FB4 และ C132 ในรอบที่ 3 หัวหยิบจับเคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ 5 ในตำแหน่งบรรจุแผงที่ 4 และนำไปวางบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ Y2 เป็นลำดับสุดท้ายและจบการทำงาน



รูป 4-12 แสดงการเคลื่อนที่จากผลลัพธ์โปรแกรม LINGO ของผลิตภัณฑ์ E

4.4 ผลลัพธ์ของเส้นทางรวมที่สั้นที่สุดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ปริ้นเตอร์ Verona Main board

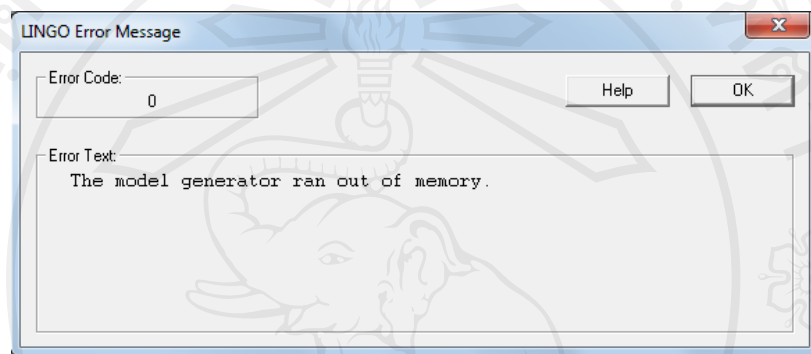
แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของปริ้นเตอร์ Verona Main board เป็นแผงวงจรขนาดใหญ่ที่มีจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 32 ชนิดและตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจรเท่ากับ 109 ตำแหน่ง ในตัวเครื่องจักรมีตำแหน่งบรรจุแผ่นเทปทั้งหมด 90 ตำแหน่ง และชุดหัวหยิบจับชิ้นส่วนทั้งหมด 8 หัว ดังนั้นต้องใช้รอบในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 14 รอบ โดยสามารถแยกเป็นตัวดัชนี (Indices) ทั้งหมดดังนี้

วิธีการคำนวณจำนวนตัวแปร X (Integer Variable) ได้ดังแสดงนี้

- i = ชนิดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Component Type) ($i = 1, \dots, 32$)
- j = ตำแหน่งที่บรรจุแผ่นเทป (Feeder Slot) ($j = 1, \dots, 90$)
- k = รอบในการหยิบและวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของหัวจับ ($k = 1, \dots, 14$)
- l = ลำดับของหัวหยิบจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ($l = 1, \dots, 8$)
- m = ตำแหน่งวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผงวงจร PCB ($m = 1, \dots, 109$)

$$X_{i,j,k,l,m} = 32 \times 90 \times 14 \times 8 \times 109 = 35,159,409 \text{ ตัวแปร}$$

จากผลการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม LINGO 5.0 เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด พบว่าโปรแกรม LINGO 5.0 Version Educational ไม่สามารถประมวลผลเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดังรูป 4-13 เพราะสาเหตุจากขนาดของสมการและตัวแปรมีขนาดใหญ่ถึง 35,159,409 ตัวแปร ซึ่งโปรแกรมต้องใช้เวลาในการประมวลผลเป็นเวลานานและยุ่งยากในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับตัวแปรขนาดใหญ่



รูป 4-13 แสดงโปรแกรม LINGO 5.0 ไม่สามารถประมวลผลได้

สำหรับแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อสามารถหาคำตอบระยะทางที่สั้นที่สุดของแผงวงจรนี้โดยใช้โปรแกรม LINGO 5.0 สามารถทำได้ดังนี้

1. แบ่งจำนวนช่วงโปรแกรมในการคำนวณหาระยะทางให้สั้นที่สุดในแต่ละช่วง
2. กำหนดขอบเขตของตัวแปรในแต่ละช่วงโปรแกรมต้องไม่เกิน 6,000 ตัวแปร
3. ลดขนาดของจำนวนหัวหีบจับเพื่อให้ตัวแปรมีขนาดลดลง
4. จัดกลุ่มลำดับของตำแหน่งการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยจะช่วงโปรแกรมคำนวณจากชิ้นส่วนขนาดเล็กไปถึงขนาดใหญ่ตามลำดับ
5. ตำแหน่งสุดท้ายของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของรอบก่อนหน้าจะเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของช่วงการโปรแกรมคำนวณในกลุ่มถัดไป

ดังนั้นเพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดของแผงวงจรของปรินเตอร์ Verona Main Board จึงพิจารณาปรับขนาดของสมการให้เล็กลงโดยแบ่งขนาดของตัวแปรเป็นช่วงการคำนวณออกทั้งหมด 12, 14 และ 16 ช่วงและปรับขนาดของจำนวนตัวแปรให้ไม่เกิน 6,000 ตัวแปรเพื่อให้โปรแกรม LINGO 5.0 สามารถคำนวณได้โดยลดจำนวน Nozzle จาก 8 Nozzle เป็น 4 Nozzle เพื่อเปรียบเทียบหาคำตอบที่ดีที่สุด ในแต่ละช่วงจัดลำดับกลุ่มชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์จากขนาดเล็กถึง

ใหญ่ตามลำดับ และคำนวณหาคำตอบเส้นทางรวมให้น้อยที่สุดของแต่ละแบบการแบ่งของ 12, 14 และ 16 ช่วงโปรแกรม เพื่อให้การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องจะลำดับการต่อเนื่องของแต่ละช่วง โปรแกรมโดยตำแหน่งสุดท้ายของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงโปรแกรมก่อนหน้าจะมาเป็นจุดเริ่มต้นของช่วงโปรแกรมถัดไป แต่การประมวลผลของคำตอบเส้นทางรวมที่ได้ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่คำตอบที่ได้สามารถเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาได้

4.4.1 ผลลัพธ์ของเส้นทางรวมที่สั้นที่สุดแบ่ง 12 ช่วงโปรแกรม

จากแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อสามารถหาผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ปริ้นเตอร์ Verona Main Board โดยทดลองแบ่งช่วงการคำนวณออกเป็น 12 โปรแกรมการคำนวณได้ดังตาราง 4-21 แสดงจำนวนช่วงโปรแกรมทั้งหมดโดยเรียงลำดับจากชิ้นส่วนขนาดเล็กไปขนาดใหญ่

ตาราง 4-21 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม

ช่วง โปรแกรม	ตำแหน่ง ที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type, size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
			แกน X	แกน Y			
1	1	C6	129	200	CAP., .033UF, 50V, X7R, 10%,0805	1	8mmTape
	2	C1	55	215	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C11	121	158	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C13	96	172	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	5	C14	96	164	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	6	C2	77	216	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	7	C20	58	146	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	8	C21	127	140	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	9	C22	127	154	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	10	C24	122	136	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	11	C28	81	149	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	12	C29	87	133	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
2	1	C31	81	142	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	2	C32	96	150	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C33	103	148	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C4	54	222	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	5	C5	52	211	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	6	C8	127	175	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	7	C9	127	161	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	8	C10	127	164	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape

ตาราง 4-21 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วง โปรแกรม	ตำแหน่ง ที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type, size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
			แกน X	แกน Y			
3	1	C12	127	170	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	2	C17	127	167	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	3	C23	127	152	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	4	C30	127	149	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	5	C36	127	147	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	6	R15	67	221	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
	7	R7	66	205	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
	8	R9	74	221	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
4	1	R3	57	222	RES., 1.00 MEG, 1%,0805	5	8mmTape
	2	R4	57	215	RES., 1.00 MEG, 1%,0805	5	8mmTape
	3	R13	129	183	RES., 1.87K, 1%,0805	6	8mmTape
	4	R14	49	190	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	5	R20	95	162	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	6	R21	127	158	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	7	R23	82	178	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	8	R33	95	159	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
5	1	R35	103	145	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	2	R36	127	144	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	3	R48	96	154	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	4	R8	70	173	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	5	R1	62	222	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	6	R2	60	221	RES., 10 MEG , 1%,0805	8	8mmTape
	7	R19	96	175	RES., 10 MEG , 1%,0805	8	8mmTape
	8	R34	96	145	RES., 18K,0805	9	8mmTape
6	1	R12	107	182	RES., 18K,0805	9	8mmTape
	2	R50	63	170	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	3	R51	56	205	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	4	R52	56	202	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	5	R16	65	221	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	6	R11	71	221	RES., 2.61K, 1%,0805	11	8mmTape
	7	R6	69	205	RES., 221K, 1%,0805	12	8mmTape
	8	R29	102	172	RES., 221K, 1%,0805	12	8mmTape
7	1	R30	102	167	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	2	R44	96	143	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	3	R45	103	143	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	4	R10	48	161	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	5	R17	60	169	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape

ตาราง 4-21 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วง โปรแกรม	ตำแหน่ง ที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type, size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
			แกน X	แกน Y			
7	6	R38	53	145	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	7	R42	48	157	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	8	R43	74	159	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	9	R5	68	192	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	10	R18	138	176	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	11	R22	74	162	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	12	R37	140	138	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
8	1	C25	75	143	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	2	C26	75	150	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	3	C27	93	129	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	4	C3	95	198	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	5	R24	96	169	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	6	R39	96	148	RES., 68K,0805	16	8mmTape
	7	R25	96	167	RES., 68K,0805	16	8mmTape
	8	R40	103	150	RES., 8.2K,0805	17	8mmTape
9	1	C15	102	175	RES., 8.2K,0805	17	8mmTape
	2	C16	102	169	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	3	C18	103	164	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	4	C19	114	178	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	5	C34	96	140	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	6	C35	103	140	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	7	C37	104	130	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	8	C38	116	158	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	9	R31	104	161	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	10	R32	104	178	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	11	R46	104	134	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	12	R47	103	154	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
10	1	R26	140	161	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	2	R27	135	161	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
	3	R41	135	138	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
	4	R28	128	136	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
	5	R49	57	170	RES, 270 OHM,1206	21	12mmTape
	6	C7	124	180	RES., 100K,1206	22	12mmTape
	7	CR1	62	145	CAP., 1 UF, 50V, X7R, 10%,1812	23	12mmTape
	8	D7	77	193	CERAMIC RESONATOR, 20.00 MHZ	24	12mmTape
11	1	D8	58	177	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	2	D9	82	194	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape

ตาราง 4-21 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงโปรแกรม	ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วยมิลลิเมตร		Component Type, size	ชนิดที่	ความกว้างม้วนเทป
		Designator	แกน X	แกน Y			
11	3	D3	103	184	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	4	D6	62	204	DIODE, SHOTTKY BARRIER/SOT,SOT23	26	12mmTape
	5	Q1	75	173	DIODE, SHOTTKY BARRIER/SOT,SOT23	26	12mmTape
	6	Q2	51	185	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	7	Q3	87	179	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	8	U3	48	212	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	1	D1	75	178	IC, TEMP SENSOR,SOT23	28	12mmTape
12	2	D2	59	184	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	3	D4	88	187	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	4	D5	48	151	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	5	U1	70	213	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	6	U4	115	168	IC, QUAD OP AMP,SOIC14	30	16mmTape
	7	U6	115	146	IC, STEPPER MOTOR CONT,TSSOP28	31	16mmTape
	8	U5	61	157	IC, STEPPER MOTOR CONT,TSSOP28	31	16mmTape
	9	U2	118	191	IC, SMT, PROG, PROSSOR,TQFP44	32	16mmTape

โดยแต่ละช่วงโปรแกรมสามารถแบ่งเป็นจำนวนตัวแปร (Integer Variable) ในแต่ละช่วงโปรแกรมแสดงได้ในตาราง 4-22 โดยแต่ละช่วงจะมีจำนวนตัวแปรที่แตกต่างกันไปเนื่องจากจำนวนของดัชนีแต่โปรแกรมไม่เท่ากัน

ตาราง 4-22 แสดงจำนวนตัวแปรของทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม

ช่วงโปรแกรม	i	j	k	l	m	Integer Variable
ช่วงที่ 1	2	5	3	4	12	1,440
ช่วงที่ 2	2	5	2	4	8	640
ช่วงที่ 3	2	5	2	4	8	640
ช่วงที่ 4	3	4	2	4	8	768
ช่วงที่ 5	3	6	2	4	8	1,152
ช่วงที่ 6	4	5	2	4	8	1,280
ช่วงที่ 7	2	5	3	4	12	1,440
ช่วงที่ 8	4	10	2	4	8	2,560
ช่วงที่ 9	3	6	3	4	12	2,592
ช่วงที่ 10	6	8	2	4	8	3,072
ช่วงที่ 11	3	5	2	4	8	960
ช่วงที่ 12	5	10	3	4	9	5,400

จากการประมวลผลเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้ LINGO 5.0 จาก 12 ช่วงโปรแกรม ผลลัพธ์ของการจัดวางชนิดของชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงในตำแหน่งม้วนเทปของเครื่องจักรแสดงในตาราง 4-23 นี้

ตาราง 4-23 แสดงการจัดวางชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Feeder ทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม

ลำดับที่	Component Type (ชนิดของชิ้นงานที่)	ม้วนเทป	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
		Slot no.	แกน X	แกน Y
1	1	1	16	105
2	2	2	32	105
3	2	3	48	105
4	2	4	64	105
5	2	5	80	105
6	2	6	96	105
7	3	7	112	105
8	3	8	128	105
9	2	9	144	105
10	4	10	160	105
11	6	11	176	105
12	5	12	192	105
13	3	13	208	105
14	7	14	224	105
15	6	15	240	105
16	7	16	256	105
17	8	17	272	105
18	9	18	288	105
19	10	19	304	105
20	12	20	320	105
21	11	21	496	105
22	18	22	512	105
23	9	23	528	105
24	17	24	544	105
25	20	25	560	105
26	13	26	576	105
27	14	27	592	105
28	21	28	608	105
29	19	29	624	105
30	18	30	640	105

ตาราง 4-23 แสดงการจัดวางชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Feeder ทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ลำดับที่	Component Type (ชนิดของชิ้นงานที่)	ม้วนเทป	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
		Slot no.	แกน X	แกน Y
31	17	31	656	105
32	16	32	672	105
33	15	33	688	105
34	14	34	704	105
35	22	35	720	105
36	-	36	736	105
37	-	37	752	105
38	19	38	768	105
39	23	39	784	105
40	24	40	800	105
41	26	101	16	635
42	-	102	32	635
43	27	103	48	635
44	25	104	64	635
45	27	105	80	635
46	31	106	96	635
47	-	107	112	635
48	28	108	128	635
49	-	109	144	635
50	32	110	160	635
51	-	111	176	635
52	-	112	192	635
53	30	113	208	635
54	29	114	224	635

ผลลัพธ์ลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนแผงชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จากการประมวลผลของโปรแกรม LINGO 5.0 ทั้งหมดนำมาเขียนแสดงในตาราง 4-24 ด้านโดยจะแบ่งออกมาแต่ละช่วงโปรแกรมโดยจะระบุลำดับตำแหน่งหัวหยิบจับชิ้นส่วนในแต่ละรอบการผลิตลงบนแต่ละตำแหน่งการวางชิ้นส่วนต่างๆ ลงบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละรอบ พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมทั้งหมดและแบ่งย่อยของแต่ละรอบของทั้ง 12 ช่วงในตาราง 4-26

ตาราง 4-24 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม

รอบในการหยิบ (k)	1				2				3				ระยะทาง รวม(mm)
ลำดับหัวหยิบจับ (l)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
คำตอบช่วงที่ 1	C20	C28	C11	C1	C29	C13	C14	C2	C24	C21	C22	C6	773
คำตอบช่วงที่ 2	C33	C32	C31	C4	C9	C10	C8	C5					765
คำตอบช่วงที่ 3	C17	C12	R15	R7	C30	C36	C23	R9					771
คำตอบช่วงที่ 4	R21	R13	R14	R4	R33	R20	R23	R3					916
คำตอบช่วงที่ 5	R36	R35	R34	R48	R19	R8	R2	R1					1,006
คำตอบช่วงที่ 6	R12	R16	R29	R11	R52	R6	R50	R51					2,005
คำตอบช่วงที่ 7	R30	R18	R43	R5	R42	R10	R17	R22	R37	R44	R45	R38	3,584
คำตอบช่วงที่ 8	C26	C25	R24	R40	R39	C27	R25	C3					2,792
คำตอบช่วงที่ 9	C19	R32	C16	C38	C34	R46	R31	C18	C37	C35	R47	C15	3,576
คำตอบช่วงที่ 10	R26	R27	CR1	D7	R41	C7	R28	R49					3,108
คำตอบช่วงที่ 11	U3	Q2	D8	D6	D9	Q1	Q3	D3					1,521
คำตอบช่วงที่ 12	D4	D2	U5	D1	U1	D5	U4	U6	U2				1,521
ระยะทางรวมทั้งหมด													22,338

ผลลัพธ์ที่แสดงคำตอบจากโปรแกรม LINGO 5.0 สามารถแสดงความสัมพันธ์กับข้อมูลการเคลื่อนที่และระยะทางทั้งหมดทั้ง 12 ช่วงแสดงในตาราง 4-25

ตาราง 4-25 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
1	X	2	3	1	1	7	2	3	1	1	C20	773
	X	2	3	1	2	11	2	3	1	2	C28	
	X	2	3	1	3	3	2	3	1	3	C11	
	X	2	4	1	4	2	2	4	1	4	C1	
	X	2	5	2	1	12	2	5	2	1	C29	
	X	2	5	2	2	4	2	5	2	2	C13	
	X	2	5	2	3	5	2	5	2	3	C14	
	X	2	4	2	4	6	2	4	2	4	C2	
	X	2	4	3	1	10	2	4	3	1	C24	
	X	2	1	3	2	8	2	4	3	2	C21	
	X	2	1	3	3	9	2	4	3	3	C22	
	X	1	1	3	4	1	1	1	3	4	C6	

ตาราง 4-25 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
2	X	1	4	1	1	3	2	8	1	1	C33	765
	X	1	5	1	2	2	2	9	1	2	C32	
	X	1	1	1	3	1	2	2	1	3	C31	
	X	1	1	1	4	4	2	2	1	4	C4	
	X	1	2	2	1	7	2	6	2	1	C9	
	X	2	4	2	2	8	3	8	2	2	C10	
	X	1	5	2	3	6	2	9	2	3	C8	
	X	1	5	2	3	6	2	9	2	3	C8	
	X	1	5	2	4	5	2	9	2	4	C5	
3	X	1	1	1	1	2	3	7	1	1	C17	771
	X	1	1	1	2	1	3	7	1	2	C12	
	X	2	2	1	3	6	4	10	1	3	R15	
	X	2	2	1	4	7	4	10	1	4	R7	
	X	1	5	2	1	4	3	13	2	1	C30	
	X	1	5	2	2	5	3	13	2	2	C36	
	X	1	5	2	3	3	3	13	2	3	C23	
	X	2	2	2	4	8	4	10	2	4	R9	
4	X	3	1	1	1	6	7	11	1	1	R21	916
	X	2	4	1	2	3	6	15	1	2	R13	
	X	3	1	1	3	4	7	11	1	3	R14	
	X	1	2	1	4	2	5	12	1	4	R4	
	X	3	3	2	1	8	7	14	2	1	R33	
	X	3	3	2	2	5	7	14	2	2	R20	
	X	3	3	2	3	7	7	14	2	3	R23	
	X	1	2	2	4	1	5	12	2	4	R3	
5	X	1	1	1	1	2	7	16	1	1	R36	1,006
	X	1	1	1	2	1	7	16	1	2	R35	
	X	3	3	1	3	8	9	18	1	3	R34	
	X	1	1	1	4	3	7	16	1	4	R48	
	X	2	2	2	1	7	8	17	2	1	R19	
	X	1	1	2	2	4	7	16	2	2	R8	
	X	2	2	2	3	6	8	17	2	3	R2	
	X	1	1	2	4	5	7	16	2	4	R1	
6	X	1	5	1	1	1	9	23	1	1	R12	2,005
	X	2	1	1	2	5	10	19	1	2	R16	
	X	4	2	1	3	8	12	20	1	3	R29	

ตาราง 4-25 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
6	X	3	3	1	4	6	1	21	1	4	R11	
	X	2	1	2	1	4	10	19	2	1	R52	
	X	4	2	2	2	7	12	20	2	2	R6	
	X	2	1	2	3	2	9	19	2	3	R50	
	X	2	1	2	4	3	9	19	2	4	R51	
7	X	1	4	1	1	1	13	26	1	1	R30	3,584
	X	2	5	1	2	10	14	27	1	2	R18	
	X	2	5	1	3	8	14	27	1	3	R43	
	X	2	5	1	4	9	14	27	1	4	R5	
	X	2	5	2	1	7	14	27	2	1	R42	
	X	1	4	2	2	4	13	26	2	2	R10	
	X	2	5	2	3	5	14	27	2	3	R17	
	X	2	5	2	4	11	14	27	2	4	R22	
	X	2	5	3	1	12	14	27	3	1	R37	
	X	1	4	3	2	2	13	26	3	2	R44	
	X	1	4	3	3	3	13	26	3	3	R45	
	X	2	5	3	4	6	14	27	3	4	R38	
8	X	2	9	1	1	2	15	33	1	1	C26	2,792
	X	1	10	1	2	1	14	34	1	2	C25	
	X	2	9	1	3	5	15	33	1	3	R24	
	X	4	7	1	4	8	17	31	1	4	R40	
	X	3	8	2	1	6	16	32	2	1	R39	
	X	2	9	2	2	3	15	33	2	2	C27	
	X	3	8	2	3	7	16	32	2	3	R25	
	X	2	9	2	4	4	15	33	2	4	C3	
9	X	2	6	1	1	4	18	30	1	1	C19	3,576
	X	3	5	1	2	10	19	29	1	2	R32	
	X	2	6	1	3	2	18	30	1	3	C16	
	X	2	6	1	4	8	18	30	1	4	C38	
	X	2	6	2	1	5	18	30	2	1	C34	
	X	3	5	2	2	11	19	29	2	2	R46	
	X	2	1	2	3	9	18	22	2	3	R31	
	X	2	1	2	4	3	18	22	2	4	C18	
	X	2	6	3	1	7	18	30	3	1	C37	
	X	2	6	3	2	6	18	30	3	2	C35	
	X	3	5	3	3	12	19	29	3	3	R47	
	X	1	2	3	4	1	17	24	3	4	C15	

ตาราง 4-25 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 12 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
10	X	1	1	1	1	1	19	25	1	1	R26	3,108
	X	2	2	1	2	2	20	28	1	2	R27	
	X	5	3	1	3	7	23	35	1	3	CR1	
	X	6	4	1	4	8	24	36	1	4	D7	
	X	2	2	2	1	3	20	28	2	1	R41	
	X	4	6	2	2	6	22	38	2	2	C7	
	X	2	2	2	3	4	20	28	2	3	R28	
	X	3	5	2	4	5	21	37	2	4	R49	
11	X	3	5	1	1	8	27	105	1	1	U3	1,521
	X	3	3	1	2	6	27	103	1	2	Q2	
	X	1	4	1	3	1	25	104	1	3	D8	
	X	2	1	1	4	4	26	101	1	4	D6	
	X	1	4	2	1	2	25	104	2	1	D9	
	X	2	1	2	2	5	26	101	2	2	Q1	
	X	3	5	2	3	7	27	105	2	3	Q3	
	X	3	5	2	3	7	27	105	2	3	Q3	
	X	1	4	2	4	3	25	104	2	4	D3	
12	X	2	10	1	1	3	29	114	1	1	D4	1,521
	X	2	10	1	2	2	29	114	1	2	D2	
	X	4	2	1	3	8	31	106	1	3	U5	
	X	1	4	1	4	1	28	108	1	4	D1	
	X	2	10	2	1	5	29	114	2	1	U1	
	X	2	10	2	2	4	29	114	2	2	D5	
	X	3	9	2	3	6	30	113	2	3	U4	
	X	4	2	2	4	7	31	106	2	4	U6	
	X	5	6	3	1	9	32	110	3	1	U2	

ดังนั้นจากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม LINGO 5.0 ทั้งหมด 12 ช่วงโปรแกรมได้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุดเท่ากับ 22,338 มิลลิเมตรและใช้เวลาประมวลผลทั้งหมด 15 ชั่วโมง 34 นาที 16 วินาที จากระยะทางที่ได้คำนวณเป็นระยะรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 47.47 วินาที เมื่อเทียบกับรอบเวลาการผลิตเดิม 75.21 วินาที สามารถลดระยะเวลาการผลิตได้ 36.88%

4.4.2 ผลลัพธ์ของเส้นทางรวมที่สั้นที่สุดแบ่ง 14 ช่วงโปรแกรม

จากแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อสามารถหาผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ปริ้นเตอร์ Verona Main Board โดยทดลองแบ่งช่วงการคำนวณออกเป็น 14

โปรแกรมการคำนวณได้ดังตาราง 4-26 แสดงจำนวนช่วงโปรแกรมทั้งหมดโดยเรียงลำดับจาก
ชิ้นส่วนขนาดเล็กไปขนาดใหญ่

ตาราง 4-26 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม

ช่วงโปรแกรม	ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
		Designator	แกน X	แกน Y			
1	1	C6	129	200	CAP., .033UF, 50V, X7R, 10%,0805	1	8mmTape
	2	C1	55	215	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C11	121	158	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C13	96	172	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	5	C14	96	164	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	6	C2	77	216	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	7	C20	58	146	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	8	C21	127	140	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
2	1	C22	127	154	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	2	C24	122	136	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C28	81	149	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C29	87	133	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	5	C31	81	142	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	6	C32	96	150	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	7	C33	103	148	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	8	C4	54	222	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
3	1	C5	52	211	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	2	C8	127	175	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C9	127	161	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C10	127	164	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
3	5	C12	127	170	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	6	C17	127	167	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	7	C23	127	152	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	8	C30	127	149	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
4	1	C36	127	147	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	2	R15	67	221	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
	3	R7	66	205	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
	4	R9	74	221	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
	5	R3	57	222	RES., 1.00 MEG, 1%,0805	5	8mmTape
	6	R4	57	215	RES., 1.00 MEG, 1%,0805	5	8mmTape
	7	R13	129	183	RES., 1.87K, 1%,0805	6	8mmTape
	8	R14	49	190	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape

ตาราง 4-26 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงโปรแกรม	ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
		Designator	แกน X	แกน Y			
5	1	R20	95	162	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	2	R21	127	158	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	3	R23	82	178	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	4	R33	95	159	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	5	R35	103	145	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	6	R36	127	144	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	7	R48	96	154	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	8	R8	70	173	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
6	1	R1	62	222	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	2	R2	60	221	RES., 10 MEG , 1%,0805	8	8mmTape
	3	R19	96	175	RES., 10 MEG , 1%,0805	8	8mmTape
	4	R34	96	145	RES., 18K,0805	9	8mmTape
	5	R12	107	182	RES., 18K,0805	9	8mmTape
	6	R50	63	170	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	7	R51	56	205	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	8	R52	56	202	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
7	1	R16	65	221	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	2	R11	71	221	RES., 2.61K, 1%,0805	11	8mmTape
	3	R6	69	205	RES., 221K, 1%,0805	12	8mmTape
	4	R29	102	172	RES., 221K, 1%,0805	12	8mmTape
	5	R30	102	167	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	6	R44	96	143	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	7	R45	103	143	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	8	R10	48	161	RES., 33K,0805	13	8mmTape
8	1	R17	60	169	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	2	R38	53	145	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	3	R42	48	157	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	4	R43	74	159	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	5	R5	68	192	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	6	R18	138	176	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	7	R22	74	162	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	8	R37	140	138	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
9	1	C25	75	143	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	2	C26	75	150	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	3	C27	93	129	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	4	C3	95	198	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape

ตาราง 4-26 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงโปรแกรม	ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
		Designator	แกน X	แกน Y			
9	5	R24	96	169	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	6	R39	96	148	RES., 68K,0805	16	8mmTape
	7	R25	96	167	RES., 68K,0805	16	8mmTape
	8	R40	103	150	RES., 8.2K,0805	17	8mmTape
10	1	C15	102	175	RES., 8.2K,0805	17	8mmTape
	2	C16	102	169	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	3	C18	103	164	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	4	C19	114	178	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	5	C34	96	140	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	6	C35	103	140	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	7	C37	104	130	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	8	C38	116	158	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
11	1	R31	104	161	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	2	R32	104	178	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	3	R46	104	134	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	4	R47	103	154	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	5	R26	140	161	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	6	R27	135	161	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
	7	R41	135	138	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
	8	R28	128	136	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
12	1	R49	57	170	RES, 270 OHM,1206	21	12mmTape
	2	C7	124	180	RES., 100K,1206	22	12mmTape
	3	CR1	62	145	CAP., 1 UF, 50V, X7R, 10%,1812	23	12mmTape
	4	D7	77	193	CERAMIC RESONATOR, 20.00 MHZ	24	12mmTape
	5	D8	58	177	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	6	D9	82	194	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	7	D3	103	184	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	8	D6	62	204	DIODE, SHOTTKY BARRIER/SOT,SOT23	26	12mmTape
13	1	Q1	75	173	DIODE, SHOTTKY BARRIER/SOT,SOT23	26	12mmTape
	2	Q2	51	185	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	3	Q3	87	179	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	4	U3	48	212	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	5	D1	75	178	IC, TEMP SENSOR,SOT23	28	12mmTape
	6	D2	59	184	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	7	D4	88	187	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	8	D5	48	151	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape

ตาราง 4-26 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงโปรแกรม	ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
		Designator	แกน X	แกน Y			
14	1	U1	70	213	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	2	U4	115	168	IC, QUAD OP AMP,SOIC14	30	16mmTape
	3	U6	115	146	IC, STEPPER MOTOR CONT,TSSOP28	31	16mmTape
	4	U5	61	157	IC, STEPPER MOTOR CONT,TSSOP28	31	16mmTape
	5	U2	118	191	IC, SMT, PROG, PROSSOR,TQFP44	32	16mmTape

โดยแต่ละช่วงโปรแกรมสามารถแบ่งเป็นจำนวนตัวแปร (Integer Variable) ในแต่ละช่วงโปรแกรมแสดงได้ในตาราง 4-27 โดยแต่ละช่วงจะมีจำนวนตัวแปรที่แตกต่างกันไปเนื่องจากจำนวนของดัชนีแต่โปรแกรมไม่เท่ากัน

ตาราง 4-27 แสดงจำนวนตัวแปรของทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม

ช่วงโปรแกรม	i	j	k	l	m	Integer variable
ช่วงที่ 1	2	5	2	4	8	640
ช่วงที่ 2	1	5	2	4	8	320
ช่วงที่ 3	2	5	2	4	8	640
ช่วงที่ 4	5	10	2	4	8	3200
ช่วงที่ 5	1	5	2	4	8	320
ช่วงที่ 6	4	7	2	4	8	1,792
ช่วงที่ 7	4	7	2	4	8	1,792
ช่วงที่ 8	1	3	2	4	8	192
ช่วงที่ 9	4	10	2	4	8	2,560
ช่วงที่ 10	2	5	2	4	8	640
ช่วงที่ 11	3	5	2	4	8	960
ช่วงที่ 12	6	12	2	4	8	4,608
ช่วงที่ 13	4	5	2	4	8	1,280
ช่วงที่ 14	4	5	2	4	8	1,280

จากการประมวลผลเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้ LINGO 5.0 จาก 14 ช่วงโปรแกรมผลลัพธ์ของการจัดวางชนิดของชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงในตำแหน่งม้วนเทปของเครื่องจักรแสดงในตาราง 4-28 นี้

ตาราง 4-28 แสดงการจัดวางชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ ใน Feeder ทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม

	ชนิดที่	ตำแหน่ง Slot no.	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
			แกน X	แกน Y
1	2	1	16	105
2	2	2	32	105

ตาราง 4-28 แสดงการจัดวางชั้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Feeder ทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

	ชนิดที่	ตำแหน่ง Slot no.	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
			แกน X	แกน Y
3	18	3	48	105
4	1	4	64	105
5	2	5	80	105
6	2	6	96	105
7	2	7	112	105
8	2	8	128	105
9	3	9	144	105
10	3	10	160	105
11	2	11	176	105
12	2	12	192	105
13	14	13	208	105
14	14	14	224	105
15	7	15	240	105
16	3	16	256	105
17	7	17	272	105
18	7	18	288	105
19	5	19	304	105
20	6	20	320	105
21	4	21	496	105
22	7	22	512	105
23	10	23	528	105
24	9	24	544	105
25	8	25	560	105
26	9	26	576	105
27	11	27	592	105
28	13	28	608	105
29	10	29	624	105
30	13	30	640	105
31	12	31	656	105
32	20	32	672	105
33	19	33	688	105
34	17	34	704	105
35	14	35	720	105
36	18	36	736	105
37	17	37	752	105
38	16	38	768	105
39	15	39	784	105

ตาราง 4-28 แสดงการจัดวางชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Feeder ทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

	ชนิดที่	ตำแหน่ง Slot no.	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
			แกน X	แกน Y
40	16	40	800	105
41	-	101	16	605
42	27	102	32	605
43	26	103	48	605
44	28	104	64	605
45	21	105	80	605
46	23	106	96	605
47	22	107	112	605
48	26	108	128	605
49	24	109	144	605
50	25	110	160	605
51	25	111	176	605
52	31	112	192	605
53	29	113	208	605
54	31	114	224	605
55	30	115	240	605
56	32	116	256	605

ผลลัพธ์ลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนแผงชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จากการประมวลผลของโปรแกรม LINGO 5.0 ทั้งหมดนำมาเขียนแสดงในตาราง 4-29 ด้านโดยจะแบ่งออกมาแต่ละช่วงโปรแกรมโดยจะระบุลำดับตำแหน่งหัวหยิบจับชิ้นส่วนในแต่ละรอบการผลิตลงบนแต่ละตำแหน่งการวางชิ้นส่วนต่างๆ ลงบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละรอบ พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมทั้งหมดและแบ่งย่อยของแต่ละรอบของทั้ง 14 ช่วงในตาราง 4-30

ตาราง 4-29 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม

รอบในการหยิบ (k)	1				2				3				ระยะทางรวม (mm)
ลำดับหัวหยิบจับ (l)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
ลำดับช่วงที่ 1	C1	C13	C14	C21	C11	C6	C20	C2					723
ลำดับช่วงที่ 2	C28	C29	C31	C4	C24	C22	C33	C32					470
ลำดับช่วงที่ 3	C9	C23	C30	C8	C5	C10	C17	C12					835
ลำดับช่วงที่ 4	R14	R4	R3	R7	C36	R13	R15	R9					2,018
ลำดับช่วงที่ 5	R21	R36	R8	R48	R23	R20	R33	R35					1,214
ลำดับช่วงที่ 6	R12	R19	R50	R34	R52	R51	R1	R2					2,043
ลำดับช่วงที่ 7	R45	R29	R6	R16	R44	R30	R10	R11					2,770
ลำดับช่วงที่ 8	R22	R37	R43	R18	R38	R42	R17	R5					135

ตาราง 4-29 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

รอบในการหยิบ (k)	1				2				3				ระยะทางรวม (mm)
ลำดับหัวหยิบจับ (l)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
ลำดับช่วงที่ 9	C27	C3	R25	R24	R39	R40	C26	C25					3,150
ลำดับช่วงที่ 10	C34	C15	C19	C38	C35	C37	C18	C16					2,792
ลำดับช่วงที่ 11	R46	R28	R41	R26	R47	R31	R32	R27					2,645
ลำดับช่วงที่ 12	D9	D7	D6	CR1	C7	D3	R49	D8					1,765
ลำดับช่วงที่ 13	D1	Q2	D2	U3	Q1	Q3	D5	D4					2,039
ลำดับช่วงที่ 14	U2	U1	U4	U6	U5								2,047
ระยะทางรวมทั้งหมด													24,646

ผลลัพธ์ที่แสดงคำตอบจากโปรแกรม LINGO 5.0 สามารถแสดงความสัมพันธ์กับข้อมูลการเคลื่อนที่และระยะทางทั้งหมดทั้ง 14 ช่วงแสดงในตาราง 4-30

ตาราง 4-30 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
1	X	2	2	1	1	2	2	2	1	1	C1	723
	X	2	5	1	2	4	2	5	1	2	C13	
	X	2	5	1	3	5	2	5	1	3	C14	
	X	2	5	2	1	8	2	5	2	1	C21	
	X	2	5	2	2	3	2	5	2	2	C11	
	X	1	4	1	4	1	1	4	1	4	C6	
	X	2	5	2	3	7	2	5	2	3	C20	
2	X	2	5	2	4	6	2	5	2	4	C2	470
	X	1	1	1	1	3	2	1	1	1	C28	
	X	1	1	1	2	4	2	1	1	2	C29	
	X	1	1	1	3	5	2	1	1	3	C31	
	X	1	1	1	4	8	2	1	1	4	C4	
	X	1	3	2	1	2	2	6	2	1	C24	
	X	1	4	2	2	1	2	7	2	2	C22	
	X	1	5	2	3	7	2	8	2	3	C33	
3	X	1	5	2	4	6	2	8	2	4	C32	835
	X	1	4	1	1	3	2	11	1	1	C9	
	X	1	4	1	1	3	2	11	1	1	C9	
	X	2	3	1	2	7	3	10	1	2	C23	
	X	2	3	1	3	8	3	10	1	3	C30	
	X	1	5	1	4	2	2	12	1	4	C8	
	X	1	4	2	1	1	2	11	2	1	C5	
	X	2	2	2	2	4	3	9	2	2	C10	
4	X	2	2	2	3	6	3	9	2	3	C17	2,018
	X	2	2	2	4	5	3	9	2	4	C12	
	X	5	6	1	1	8	7	17	1	1	R14	
	X	3	8	1	2	6	5	19	1	2	R4	
	X	3	8	1	3	5	5	19	1	3	R3	
	X	2	10	1	4	3	4	21	1	4	R7	
	X	1	5	2	1	1	3	16	2	1	C36	

ตาราง 4-30 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
4	X	4	9	2	2	7	6	20	2	2	R13	
	X	2	10	2	3	2	4	21	2	3	R15	
	X	2	10	2	4	4	4	21	2	4	R9	
5	X	1	5	1	1	2	7	18	1	1	R21	1214
	X	1	5	1	2	6	7	18	1	2	R36	
	X	1	4	1	3	8	7	15	1	3	R8	
	X	1	4	1	4	7	7	15	1	4	R48	
	X	1	5	2	1	3	7	18	2	1	R23	
	X	1	5	2	2	1	7	18	2	2	R20	
	X	1	5	2	3	4	7	18	2	3	R33	
	X	1	5	2	4	5	7	18	2	4	R35	
6	X	3	7	1	1	5	10	26	1	1	R12	2,043
	X	2	6	1	2	3	8	25	1	2	R19	
	X	4	5	1	3	6	9	24	1	3	R50	
	X	3	4	1	4	4	10	23	1	4	R34	
	X	4	5	2	1	8	9	24	2	1	R52	
	X	4	5	2	2	7	9	24	2	2	R51	
	X	1	3	2	3	1	7	22	2	3	R1	
	X	2	6	2	4	2	8	25	2	4	R2	
7	X	4	4	1	1	7	13	28	1	1	R45	2,770
	X	3	7	1	2	4	12	31	1	2	R29	
	X	3	7	1	3	3	12	31	1	3	R6	
	X	1	5	1	4	1	10	29	1	4	R16	
	X	4	6	2	1	6	13	30	2	1	R44	
	X	4	6	2	2	5	13	30	2	2	R30	
	X	4	6	2	3	8	13	30	2	3	R10	
	X	2	3	2	4	2	11	27	2	4	R11	
8	X	1	3	1	1	7	14	27	1	1	R22	135
	X	1	3	1	2	8	14	27	1	2	R37	
	X	1	2	1	3	4	14	14	1	3	R43	
	X	1	2	1	4	6	14	14	1	4	R18	
	X	1	3	2	1	2	14	27	2	1	R38	
	X	1	3	2	2	3	14	27	2	2	R42	
	X	1	3	2	3	1	14	27	2	3	R17	
	X	1	3	2	4	5	14	27	2	4	R5	
9	X	2	9	1	1	3	15	39	1	1	C27	3,150
	X	2	9	1	2	4	15	39	1	2	C3	
	X	3	8	1	3	7	16	38	1	3	R25	
	X	2	9	1	4	5	15	39	1	4	R24	
	X	3	10	2	1	6	16	40	2	1	R39	
	X	4	7	2	2	8	17	37	2	2	R40	
	X	2	9	2	3	2	15	39	2	3	C26	
	X	1	5	2	4	1	14	35	2	4	C25	
10	X	2	5	1	1	5	18	36	1	1	C34	2,792
	X	1	4	1	2	1	17	34	1	2	C15	
	X	2	5	1	3	4	18	36	1	3	C19	
	X	2	5	1	4	8	18	36	1	4	C38	
	X	2	5	2	1	6	18	36	2	1	C35	
	X	2	5	2	2	7	18	36	2	2	C37	

ตาราง 4-30 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจรทั้ง 14 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
10	X	2	5	2	3	3	18	36	2	3	C18	
	X	2	5	2	4	2	18	36	2	4	C16	
11	X	2	3	1	1	3	19	33	1	1	R46	2,645
	X	3	2	1	2	8	20	32	1	2	R28	
	X	3	2	1	3	7	20	32	1	3	R41	
	X	2	3	1	4	5	19	33	1	4	R26	
	X	2	3	2	1	4	19	33	2	1	R47	
	X	1	1	2	2	1	18	3	2	2	R31	
	X	2	3	2	3	2	19	33	2	3	R32	
	X	3	2	2	4	6	20	32	2	4	R27	
12	X	5	11	1	1	6	25	111	1	1	D9	1,765
	X	4	9	1	2	4	24	109	1	2	D7	
	X	6	8	1	3	8	26	108	1	3	D6	
	X	3	6	1	4	3	23	106	1	4	CR1	
	X	2	7	2	1	2	22	107	2	1	C7	
	X	5	11	2	2	7	25	111	2	2	D3	
	X	1	5	2	3	1	21	105	2	3	R49	
	X	5	10	2	4	5	25	110	2	4	D8	
13	X	3	5	1	1	5	29	112	1	1	D1	2,039
	X	2	4	1	2	2	28	104	1	2	Q2	
	X	4	2	1	3	6	27	102	1	3	D2	
	X	2	4	1	4	4	28	104	1	4	U3	
	X	1	3	2	1	1	26	103	2	1	Q1	
	X	2	4	2	2	3	28	104	2	2	Q3	
	X	4	2	2	3	8	27	102	2	3	D5	
	X	4	2	2	4	7	27	102	2	4	D4	
14	X	4	5	1	1	5	32	116	1	1	U2	2,047
	X	1	4	1	2	1	29	115	1	2	U1	
	X	1	4	1	2	1	29	115	1	2	U1	
	X	2	1	1	3	2	30	101	1	3	U4	
	X	3	3	1	4	3	31	114	1	4	U6	
	X	3	3	2	1	4	31	114	2	1	U5	

ดังนั้นจากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม LINGO 5.0 ทั้งหมด 14 ช่วงโปรแกรมได้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุดเท่ากับ 24,646 มิลลิเมตรใช้เวลาประมวลผลทั้งหมด 11 ชั่วโมง 25 นาที 24 วินาที จากระยะทางที่ได้คำนวณเป็นระยะรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 52.37 วินาที เมื่อเทียบกับรอบเวลาการผลิตเดิม 75.21 วินาที สามารถลดระยะเวลาการผลิตได้ 30.36%

4.4.3 ผลลัพธ์ของเส้นทางรวมที่สั้นที่สุดแบ่ง 16 ช่วงโปรแกรม

จากแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อสามารถหาผลลัพธ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ปริ้นเตอร์ Verona Main Board โดยทดลองแบ่งช่วงการคำนวณออกเป็น 16

โปรแกรมการคำนวณได้ดังตาราง 4-31 แสดงจำนวนช่วงโปรแกรมทั้งหมดโดยเรียงลำดับจาก
ชิ้นส่วนขนาดเล็กไปขนาดใหญ่

ตาราง 4-31 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม

ช่วง โปรแกรม	ตำแหน่ง ที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิด ที่	ความกว้าง ม้วนเทป
			แกน X	แกน Y			
1	1	C6	129	200	CAP., .033UF, 50V, X7R, 10%,0805	1	8mmTape
	2	C1	55	215	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C11	121	158	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C13	96	172	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
2	1	C14	96	164	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	2	C2	77	216	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C20	58	146	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C21	127	140	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	5	C22	127	154	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	6	C24	122	136	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	7	C28	81	149	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	8	C29	87	133	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
3	1	C31	81	142	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	2	C32	96	150	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C33	103	148	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C4	54	222	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
4	1	C5	52	211	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	2	C8	127	175	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	3	C9	127	161	CAP, 0.1 UF, Z5U, +80-20%,0805	2	8mmTape
	4	C10	127	164	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
5	1	C12	127	170	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	2	C17	127	167	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	3	C23	127	152	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	4	C30	127	149	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	5	C36	127	147	CAP., .22UF, 50V, X7R, 10%,0805	3	8mmTape
	6	R15	67	221	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
	7	R7	66	205	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
	8	R9	74	221	RES., 1K, 1%,0805	4	8mmTape
6	1	R3	57	222	RES., 1.00 MEG, 1%,0805	5	8mmTape
	2	R4	57	215	RES., 1.00 MEG, 1%,0805	5	8mmTape
	3	R13	129	183	RES., 1.87K, 1%,0805	6	8mmTape
	4	R14	49	190	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
7	1	R20	95	162	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	2	R21	127	158	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape

ตาราง 4-31 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงโปรแกรม	ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วยมิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
			แกน X	แกน Y			
7	3	R23	82	178	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	4	R33	95	159	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	5	R35	103	145	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	6	R36	127	144	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	7	R48	96	154	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	8	R8	70	173	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
8	1	R1	62	222	RES., 10K, 1%,0805	7	8mmTape
	2	R2	60	221	RES., 10 MEG , 1%,0805	8	8mmTape
	3	R19	96	175	RES., 10 MEG , 1%,0805	8	8mmTape
	4	R34	96	145	RES., 18K,0805	9	8mmTape
9	1	R12	107	182	RES., 18K,0805	9	8mmTape
	2	R50	63	170	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	3	R51	56	205	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	4	R52	56	202	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	5	R16	65	221	RES., 2.2K,0805	10	8mmTape
	6	R11	71	221	RES., 2.61K, 1%,0805	11	8mmTape
	7	R6	69	205	RES., 221K, 1%,0805	12	8mmTape
	8	R29	102	172	RES., 221K, 1%,0805	12	8mmTape
10	1	R30	102	167	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	2	R44	96	143	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	3	R45	103	143	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	4	R10	48	161	RES., 33K,0805	13	8mmTape
	5	R17	60	169	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
10	6	R38	53	145	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	7	R42	48	157	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	8	R43	74	159	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	9	R5	68	192	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	10	R18	138	176	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	11	R22	74	162	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	12	R37	140	138	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
11	1	C25	75	143	RES. 4.7K,0805	14	8mmTape
	2	C26	75	150	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	3	C27	93	129	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	4	C3	95	198	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	5	R24	96	169	CAP., 47UF, 35V,0805	15	8mmTape
	6	R39	96	148	RES., 68K,0805	16	8mmTape
	7	R25	96	167	RES., 68K,0805	16	8mmTape

ตาราง 4-31 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วง โปรแกรม	ตำแหน่ง ที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิด ที่	ความกว้าง ม้วนเทป
			แกน X	แกน Y			
11	8	R40	103	150	RES., 8.2K,0805	17	8mmTape
12	1	C15	102	175	RES., 8.2K,0805	17	8mmTape
	2	C16	102	169	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	3	C18	103	164	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	4	C19	114	178	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	5	C34	96	140	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	6	C35	103	140	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	7	C37	104	130	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	8	C38	116	158	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
13	1	R31	104	161	CAP., 820PF, 50V, NPO, 5%,0805	18	8mmTape
	2	R32	104	178	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	3	R46	104	134	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	4	R47	103	154	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	5	R26	140	161	RES., 0.33 OHM 1W 1%,0805	19	12mmTape
	6	R27	135	161	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
	7	R41	135	138	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
	8	R28	128	136	RES., 180 OHM,1206	20	12mmTape
14	1	R49	57	170	RES, 270 OHM,1206	21	12mmTape
	2	C7	124	180	RES., 100K,1206	22	12mmTape
	3	CR1	62	145	CAP., 1 UF, 50V, X7R, 10%,1812	23	12mmTape
	4	D7	77	193	CERAMIC RESONATOR, 20.00 MHZ	24	12mmTape
15	1	D8	58	177	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	2	D9	82	194	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	3	D3	103	184	DIODE, SHOTTKY BARRIER,SOT23	25	12mmTape
	4	D6	62	204	DIODE, SHOTTKY BARRIER/SOT,SOT23	26	12mmTape
	5	Q1	75	173	DIODE, SHOTTKY BARRIER/SOT,SOT23	26	12mmTape
	6	Q2	51	185	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	7	Q3	87	179	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
	8	U3	48	212	TRANSISTOR, N-CHANNEL MOSFET,SOT23	27	12mmTape
16	1	D1	75	178	IC, TEMP SENSOR,SOT23	28	12mmTape
	2	D2	59	184	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	3	D4	88	187	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	4	D5	48	151	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	5	U1	70	213	DIODE, REDTIFIER, 1A, 50V, 3.94 X 4.57	29	12mmTape
	6	U4	115	168	IC, QUAD OP AMP,SOIC14	30	16mmTape
	7	U6	115	146	IC, STEPPER MOTOR CONT,TSSOP28	31	16mmTape

ตาราง 4-31 แสดงจำนวนช่วงของการประมวลผลทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงโปรแกรม	ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง Designator	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร		Component Type,size	ชนิดที่	ความกว้าง ม้วนเทป
			แกน X	แกน Y			
16	8	U5	61	157	IC, STEPPER MOTOR CONT,TSSOP28	31	16mmTape
	9	U2	118	191	IC, SMT, PROG, PROSSOR,TQFP44	32	16mmTape

โดยแต่ละช่วงโปรแกรมสามารถแบ่งเป็นจำนวนตัวแปร (Integer Variable) ในแต่ละช่วงโปรแกรมแสดงได้ในตาราง 4-32 โดยแต่ละช่วงจะมีจำนวนตัวแปรที่แตกต่างกันไปเนื่องจากจำนวนของดัชนีแต่ละโปรแกรมไม่เท่ากัน

ตาราง 4-32 แสดงจำนวนตัวแปรของทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม

ช่วงโปรแกรม	i	j	k	l	m	Integer variable
ช่วงที่ 1	2	5	1	4	4	160
ช่วงที่ 2	1	5	2	4	8	320
ช่วงที่ 3	1	5	1	4	4	80
ช่วงที่ 4	2	5	1	4	4	160
ช่วงที่ 5	2	5	2	4	8	640
ช่วงที่ 6	3	5	1	4	4	240
ช่วงที่ 7	1	10	2	4	8	640
ช่วงที่ 8	3	10	1	4	4	480
ช่วงที่ 9	4	10	2	4	8	2,560
ช่วงที่ 10	2	10	3	4	12	2,880
ช่วงที่ 11	4	11	2	4	8	2,816
ช่วงที่ 12	2	10	2	4	8	1,280
ช่วงที่ 13	3	7	2	4	8	1,344
ช่วงที่ 14	1	6	1	4	4	96
ช่วงที่ 15	3	7	2	4	8	1,344
ช่วงที่ 16	3	10	3	4	9	3,240

จากการประมวลผลเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้ LINGO 5.0 จาก 16 ช่วงโปรแกรมผลลัพธ์ของการจัดวางชนิดของชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Slot Feeder แสดงในตาราง 4-33 และผลลัพธ์ลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนแผงชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงในตารางด้านล่างนี้

ตาราง 4-33 แสดงการจัดวางชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Feeder ทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม

	ชนิดที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
		Slot no.	แกน X	แกน Y
1	23	1	16	105
2	21	2	32	105
3	16	3	48	105

ตาราง 4-33 แสดงการจัดวางชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Feeder ทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

	ชนิดที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
		Slot no.	แกน X	แกน Y
4	1	4	64	105
5	2	5	80	105
6	2	6	96	105
7	3	7	112	105
8	2	8	128	105
9	4	9	144	105
10	3	10	160	105
11	17	11	176	105
12	10	12	192	105
13	5	13	208	105
14	7	14	224	105
15	9	15	240	105
16	8	16	256	105
17	6	17	272	105
18	7	18	288	105
19	7	19	304	105
20	7	20	320	105
21	15	21	496	105
22	13	22	512	105
23	12	23	528	105
24	11	24	544	105
25	14	25	560	105
26	13	26	576	105
27	14	27	592	105
28	14	28	608	105
29	19	29	624	105
30	20	30	640	105
31	17	31	656	105
32	18	32	672	105
33	18	33	688	105
34	24	34	704	105
35	22	35	720	105
36	-	36	736	105
37	-	37	752	105
38	26	38	768	105
39	27	39	784	105
40	25	40	800	105

ตาราง 4-33 แสดงการจัดวางชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ลงใน Feeder ทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

	ชนิดที่	ตำแหน่ง	พิกัด หน่วย มิลลิเมตร	
		Slot no.	แกน X	แกน Y
41	-	101	16	605
42	30	102	32	605
43	31	103	48	605
44	28	104	64	605
45	32	105	80	605
46	29	106	96	605

ผลลัพธ์ลำดับการหีบชิ้นงานวางบนแผงชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จากการประมวลผลของโปรแกรม LINGO 5.0 ทั้งหมดนำมาเขียนแสดงในตาราง 4-34 ด้านโดยจะแบ่งออกมาแต่ละช่วงโปรแกรมโดยจะระบุลำดับตำแหน่งหัวหีบดับชิ้นส่วนในแต่ละรอบการผลิตลงบนแต่ละตำแหน่งการวางชิ้นส่วนต่างๆ ลงบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละรอบ พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ของระยะทางรวมทั้งหมดและแบ่งย่อยของแต่ละรอบของทั้ง 16 ช่วงในตาราง 4-35

ตาราง 4-34 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจร ทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม

รวมในการหยิบ (k)	1				2				3				ระยะทางรวม (mm)
ลำดับหัวหยิบจับ (l)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
คัดอบช่วงที่ 1	C13	C11	C6	C1									317
คัดอบช่วงที่ 2	C20	C28	C14	C2	C29	C24	C21	C22					456
คัดอบช่วงที่ 3	C4	C31	C33	C32									383
คัดอบช่วงที่ 4	C9	C10	C8	C5									232
คัดอบช่วงที่ 5	C30	C23	C36	R9	R15	C17	C12	R7					808
คัดอบช่วงที่ 6	R13	R14	R4	R3									624
คัดอบช่วงที่ 7	R21	R20	R35	R48	R36	R8	R33	R23					1,252
คัดอบช่วงที่ 8	R1	R2	R19	R34									870
คัดอบช่วงที่ 9	R50	R52	R51	R6	R12	R29	R11	R16					2,211
คัดอบช่วงที่ 10	R18	R17	R45	R44	R38	R10	R42	R37	R5	R22	R43	R30	3,870
คัดอบช่วงที่ 11	C27	R40	C26	C25	R39	R25	C3	R24					2,465
คัดอบช่วงที่ 12	C38	C18	C16	C34	C19	C15	C35	C37					2,789
คัดอบช่วงที่ 13	R46	R41	R27	R26	R28	R47	R31	R32					2,430
คัดอบช่วงที่ 14	C7	D7	R49	CR1									1,493
คัดอบช่วงที่ 15	D8	U3	D6	D9	Q3	D3	Q1	Q2					3,290
คัดอบช่วงที่ 16	D4	U2	D1	U1	U5	D5	D2	U4	U6				2,926
									ระยะทางรวมทั้งหมด				26,416

ผลลัพธ์ที่แสดงคำตอบจากโปรแกรม LINGO 5.0 สามารถแสดงความสัมพันธ์กับข้อมูลการเคลื่อนที่และระยะทางทั้งหมดทั้ง 16 ช่วงแสดงในตาราง 4-36

ตาราง 4-35 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจร ทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
1	X	2	5	1	1	4	2	5	1	1	C13	317
	X	2	5	1	2	3	2	5	1	2	C11	
	X	1	4	1	3	1	1	4	1	3	C6	
	X	2	5	1	4	2	2	5	1	4	C1	
2	X	1	4	1	1	3	2	6	1	1	C20	456
	X	1	4	1	2	7	2	6	1	2	C28	
	X	1	4	1	3	1	2	6	1	3	C14	
	X	1	4	1	4	2	2	6	1	4	C2	
2	X	1	4	2	1	8	2	6	2	1	C29	383
	X	1	4	2	2	6	2	6	2	2	C24	
	X	1	4	2	3	4	2	6	2	3	C21	
	X	1	4	2	4	5	2	6	2	4	C22	
3	X	1	5	1	1	4	2	7	1	1	C4	383
	X	1	5	1	2	1	2	7	1	2	C31	
	X	1	5	1	3	3	2	7	1	3	C33	
	X	1	5	1	4	2	2	7	1	4	C32	
4	X	1	5	1	1	3	2	7	1	1	C9	232
	X	2	4	1	2	4	3	8	1	2	C10	
	X	1	5	1	3	2	2	7	1	3	C8	
	X	1	5	1	4	1	2	7	1	4	C5	
5	X	1	5	1	1	4	3	1	1	1	C30	808
	X	1	5	1	2	3	3	1	1	2	C23	
	X	1	5	1	3	5	3	1	1	3	C36	
	X	2	4	1	4	8	4	2	1	4	R9	
	X	2	4	2	1	6	4	2	2	1	R15	
	X	1	5	2	2	2	3	1	2	2	C17	
	X	1	5	2	3	1	3	1	2	3	C12	
	X	2	4	2	4	7	4	2	2	4	R7	
6	X	2	10	1	1	3	6	17	1	1	R13	624
	X	3	7	1	2	4	7	14	1	2	R14	
	X	1	6	1	3	2	5	13	1	3	R4	
	X	1	6	1	4	1	5	13	1	4	R3	
7	X	1	9	1	1	2	7	18	1	1	R21	1,252
	X	1	10	1	2	1	7	19	1	2	R20	
	X	1	9	1	3	5	7	18	1	3	R35	
	X	1	9	1	4	7	7	18	1	4	R48	

ตาราง 4-35 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจร ทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
7	X	1	9	2	1	6	7	18	2	1	R36	
	X	1	10	2	2	8	7	19	2	2	R8	
	X	1	10	2	3	4	7	19	2	3	R33	
	X	1	10	2	4	3	7	19	2	4	R23	
8	X	1	9	1	1	1	7	20	1	1	R1	870
	X	2	7	1	2	2	8	16	1	2	R2	
	X	2	7	1	3	3	8	16	1	3	R19	
	X	3	6	1	4	4	9	15	1	4	R34	
9	X	2	10	1	1	2	11	24	1	1	R50	2,211
	X	2	10	1	2	4	11	24	1	2	R52	
	X	2	10	1	3	3	11	24	1	3	R51	
	X	4	8	1	4	7	13	22	1	4	R6	
	X	1	6	2	1	1	10	15	2	1	R12	
	X	4	8	2	2	8	13	22	2	2	R29	
	X	3	9	2	3	6	12	23	2	3	R11	
	X	2	10	2	4	5	11	24	2	4	R16	
10	X	2	10	1	1	10	14	28	1	1	R18	3,870
	X	2	10	1	2	5	14	28	1	2	R17	
	X	1	8	1	3	3	13	26	1	3	R45	
	X	1	8	1	4	2	13	26	1	4	R44	
	X	2	10	2	1	6	14	28	2	1	R38	
	X	1	8	2	2	4	13	26	2	2	R10	
	X	2	10	2	3	7	14	28	2	3	R42	
	X	2	10	2	4	12	14	28	2	4	R37	
	X	2	9	3	1	9	14	27	3	1	R5	
	X	2	9	3	2	11	14	27	3	2	R22	
	X	2	9	3	3	8	14	27	3	3	R43	
	X	1	8	3	4	1	13	26	3	4	R30	
11	X	2	5	1	1	3	15	21	1	1	C27	2,465
	X	4	4	1	2	8	17	11	1	2	R40	
	X	2	5	1	3	2	15	21	1	3	C26	
	X	1	7	1	4	1	14	25	1	4	C25	
	X	3	3	2	1	6	16	3	2	1	R39	
	X	3	3	2	2	7	16	3	2	2	R25	
	X	2	11	2	3	4	15	29	2	3	C3	
	X	2	11	2	4	5	15	29	2	4	R24	
12	X	2	9	1	1	8	18	32	1	1	C38	2,789
	X	2	9	1	2	3	18	32	1	2	C18	
	X	2	9	1	3	2	18	32	1	3	C16	
	X	2	9	1	4	5	18	32	1	4	C34	

ตาราง 4-35 แสดงลำดับการหยิบชิ้นงานวางบนตำแหน่งบนแผงวงจร ทั้ง 16 ช่วงโปรแกรม (ต่อ)

ช่วงที่	X	i	j	k	l	m	Type	slot	Round	Nozzle	Placement	ระยะทางรวม (mm)
12	X	2	9	2	1	4	18	32	2	1	C19	
	X	1	8	2	2	1	17	31	2	2	C15	
	X	2	9	2	3	6	18	32	2	3	C35	
	X	2	9	2	4	7	18	32	2	4	C37	
13	X	2	6	1	1	3	19	29	1	1	R46	2,430
	X	3	7	1	2	7	20	30	1	2	R41	
	X	3	7	1	3	6	20	30	1	3	R27	
	X	2	6	1	4	5	19	29	1	4	R26	
	X	3	5	2	1	8	20	12	2	1	R28	
	X	2	6	2	2	4	19	29	2	2	R47	
	X	1	4	2	3	1	18	33	2	3	R31	
	X	2	6	2	4	2	19	29	2	4	R32	
14	X	2	6	1	1	2	22	35	1	1	C7	1,493
	X	4	5	1	2	4	24	34	1	2	D7	
	X	1	2	1	3	1	21	2	1	3	R49	
	X	3	1	1	4	3	23	1	1	4	CR1	
15	X	1	7	1	1	1	25	40	1	1	D8	3,290
	X	3	6	1	2	8	27	39	1	2	U3	
	X	2	5	1	3	4	26	38	1	3	D6	
	X	1	7	1	4	2	25	40	1	4	D9	
	X	3	6	2	1	7	27	39	2	1	Q3	
	X	1	7	2	2	3	25	40	2	2	D3	
	X	2	5	2	3	5	26	38	2	3	Q1	
	X	3	6	2	4	6	27	39	2	4	Q2	
16	X	2	10	1	1	3	29	106	1	1	D4	2,926
	X	5	9	1	2	9	32	105	1	2	U2	
	X	1	8	1	3	1	28	104	1	3	D1	
	X	2	10	1	4	5	29	106	1	4	U1	
	X	4	7	2	1	8	31	103	2	1	U5	
	X	2	10	2	2	4	29	106	2	2	D5	
	X	2	10	2	3	2	29	106	2	3	D2	
	X	3	6	2	4	6	30	102	2	4	U4	
	X	4	7	3	1	7	31	103	3	1	U6	

ดังนั้นจากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม LINGO 5.0 ทั้งหมด 16 ช่วงโปรแกรมได้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุดเท่ากับ 26,416 มิลลิเมตร และใช้เวลาประมวลผลทั้งหมด 11 ชั่วโมง 25 นาที 24 วินาที จากระยะทางที่ได้คำนวณเป็นระยะรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 56.13 วินาที เมื่อเทียบกับรอบเวลาการผลิตเดิม 75.21 วินาที สามารถลดระยะเวลาการผลิตได้ 31.38%