บทที่ 5

สมการขอบข่ายจำกัดและเทคนิควิธีการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุด

5.1 สมการขอบข่ายจำกัด

5.1.1 *ขีดความสามารถกระบวนการผลิตและการควบคุม*

แนวความคิดเบื้องต้นของการกระจายแบบนอร์มอล เส้นโค้งนอร์มอลและค่าควบคุมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ นี้จะถูกกำหนดเป็นขีดความสามารถของกระบวนการผลิต วิศวกรควบคุมคุณภาพจะถูกพัฒนาเทคนิคที่จะควบคุมคุณภาพการปฏิบัติการของเครื่องจักรและกระบวนการผลิตซึ่งเทคนิคที่รู้จักกันโดยทั่ว ๆ ไป คือ

ก. แผนผังควบคุม - $\bar{X}$ และ R

ข. แผนควบคุมเบื้องต้น (Pre-Control)

และวัตถุประสงค์นี้ก็ เพื่อช่วยผู้ติดตั้งเครื่องจักรและผู้ควบคุมเครื่องจักรใช้เครื่องจักรให้ทำงานอยู่ในช่วงที่กำหนด ด้วยเหตุนี้เทคนิคที่ใช้ทั้งหลายเหล่านี้นั้นพื้นฐานของทฤษฎีอยู่บนแนวคิดทางสถิติ (Statistical) เมื่อเทคนิคเหล่านี้ถูกใช้ในการผลิตก็สมควรที่จะใช้รูปแบบค่าเผื่อทางสถิติ (Statistical Tolerance Modeling) ในการออกแบบภายใต้กระบวนการผลิตนี้ [18]

5.1.2 *รูปแบบค่าเผื่อทางสถิติของการประกอบชิ้นส่วน*

เมื่อการหาค่าเผื่อจากการปฏิบัติจริงได้ข้อสรุปว่า เป็นการกระจายแบบนอร์มอลและสอดคล้องกับหลักการขีดความสามารถของกระบวนการเบื้องต้น รูปแบบค่าเผื่อทางสถิติก็จะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิผลที่สุดในการหาค่าเผื่อ โดยสมการขอบข่ายจำกัดที่จะใช้ก็จะมีสูตรดังนี้

$$T_{ASM}^{2} = T_i^2 + T_2^2 + \ldots + T_j^2$$

โดยที่ T_{ASM} คือ ค่าเผื่อของการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกัน

$T_1, T_2,$ *และอื่น ๆ* คือ ค่าเผื่อของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่จะนำมาประกอบ

5.2 เทคนิควิธีการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการที่จะนำมาทำการจัดสรรค่าเผื่อให้เหมาะสมที่สุดนี้จะเป็นการใช้เทคนิคลากรานจ์มัลติพลายเออร์ ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาสมการไม่เป็นเส้นตรงที่มีขอบข่ายจำกัดโดยเปลี่ยนขอบข่ายจำกัดให้ไปอยู่ในสมการเป้าหมาย โดยใช้ตัวคูณที่เรียกว่า ลากรานเจียน มัลติพลายเออร์ (Lagrangian Multiplier) ดังนี้ [23]

ปัญหาที่ต้องการแก้

สมการฟังก์ชั่นต้นทุน :

$$\text{Minimize Total Cost (TC)} = f(T_1, T_2, \ldots, T_n)$$
$$= \sum (A_i + B_i / T_i) \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

สมการขอบข่ายจำกัด :

$$T_{ASM}^{\ 2} = \sum T_i^{\ 2} \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

จากปัญหาข้างต้น เราจะเปลี่ยนจากสมการไม่เป็นเส้นตรงที่มีขอบข่ายจำกัดไปเป็นสมการไม่เป็นเส้นตรงที่ไม่มีขอบข่ายจำกัด โดยการสร้างฟังก์ชั่นลากรานเจียน (Lagrangian Function) ดังนี้ [23]

<u>สมการเป้าหมาย</u> : $L(T,\lambda)$ = (สมการฟังก์ชั่นต้นทุน) + λ (สมการขอบข่ายจำกัด)

$$L(T,\lambda) = \sum (A_i + B_i / T_i) + \lambda (\sum T_i^{\ 2} - T_{ASM}^{\ 2}) \quad (i = 1, \ldots, n)$$

โดยที่ ($\lambda \in$ จำนวนจริง) > 0 มีชื่อเรียกว่า ลากรานเจียน มัลติพลายเออร์

<u>*หมายเหตุ*</u> : บางสมการเป้าหมายอาจรวมสมการแล้วหน้าเครื่องหมาย λ เป็นเครื่องหมายลบก็ได้แล้วแต่การย้ายข้างของสมการขอบข่ายจำกัด แต่คำตอบที่ได้จะเท่ากันเพียงแต่ค่า λ เปลี่ยนไป ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นดังในภาคผนวก (ก)

การหาค่า T^* (ค่า T ที่เหมาะสม) กระทำได้โดยการแก้ Simultaneous Equations ต่อไปนี้

$$\partial L(T,\lambda) / \partial T_i = 0 \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

$$\frac{\partial}{\partial T_i}(\text{สมการฟังก์ชั่นต้นทุน}) + \lambda \frac{\partial}{\partial T_i}(\text{สมการขอบข่ายจำกัด}) = 0 \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

$$\frac{\partial}{\partial T_i}\left(\sum(A_i + B_i/T_i) + \lambda \frac{\partial}{\partial T_i}\left(\sum T_i^2 - T_{ASM}^2\right)\right) = 0 \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

($\partial L/\partial T$ คือ การหาอนุพันธ์บางส่วน (partial differentiation) ฟังก์ชั่น L เทียบกับค่าตัวแปร T)

$$\partial L/\partial T_1 \equiv -B_1/T_1^2 + 2\lambda T_1 = 0$$
$$\vdots$$
$$\partial L/\partial T_i \equiv -B_i/T_i^2 + 2\lambda T_i = 0$$

จากสมการ $\partial L/\partial T_i = 0$ จะได้

$$\lambda = \frac{B_i T_i^{-2}}{2T_i} \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

แทนค่า λ ลงไปในเทอมของ T_1 จะได้

$$-B/T_1^2 + 2(B_i T_i^{-2}/2T_i)T_1 = 0$$
$$T_i = (B_i/B_1)^{1/3} T_1$$
$$\partial L(T,\lambda)/\partial\lambda = 0$$
$$\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(\sum(A_i + B_i/T_i) + \frac{\partial}{\partial\lambda}\lambda\left(\sum T_i^2 - T_{ASM}^2\right)\right) = 0 \qquad (i = 1, \ldots, n)$$
$$\partial L/\partial\lambda \equiv \sum T_i^2 - T_{ASM}^2 = 0$$
$$\sum T_i^2 = T_{ASM}^2 \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

แทนค่า T_i เพื่อหาสมการ T_{ASM}

$$\sum[(B_i/B_1)^{1/3} T_1]^2 = T_{ASM}^2 \qquad (i = 1, \ldots, n)$$
$$T_1^2 \sum(B_i/B_1)^{2/3} = T_{ASM}^2 \qquad (i = 1, \ldots, n)$$
$$T_1 = \frac{T_{ASM}}{\sqrt{\sum(B_i/B_1)^{2/3}}} \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

ใช้สมการ T_i และ T_1 ทำให้สามารถหาค่าเผื่อตามเวคเตอร์นี้

$$\left(\frac{T_{ASM}}{\sqrt{\sum(B_i/B_1)^{2/3}}}, \frac{T_{ASM}}{\sqrt{\sum(B_i/B_2)^{2/3}}}, \ldots, \frac{T_{ASM}}{\sqrt{\sum(B_i/B_n)^{2/3}}}\right) = (T_1^*, T_2^*, \ldots, T_n^*)$$

จากสมการดังกล่าวจะทำการแทนค่าเพื่อหาค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการแทนค่าโดยไม่ต้องหักลบ T_{FIX}^{2} เนื่องจากค่าเผื่อที่เกิดขึ้นนี้ต้องทำการออกแบบทั้งคู่ไม่ใช่ชิ้นส่วนที่รับมาจากผู้ขายรายอื่น

ตารางที่ 5.2.1 แสดงตัวอย่างการจัดสรรค่าเผื่อสำหรับต้นทุนที่ต่ำที่สุด ณ ปริมาณการผลิต 1,778 ชิ้น

ณ % การผลิต	ชิ้นส่วน [i]	ต้นทุน [A_i] (บาท/ชิ้น)	ต้นทุน [B_i] (บาท/ชิ้น)	ค่าเผื่อเดิม [T_{i1}] (มม.)	ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร [T_{i2}] (มม.)
39.08 %	เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ [1]	286.99	40.84	0.0135	0.0177
23.98 %	เพลา [2]	130.90	19.16	0.0075	0.0113
ต้นทุนการประกอบ [C_j] (บาท/คู่)				477.89	461.76

โดยที่ j คือ ตัวเลขที่แสดงให้รู้ว่าเมื่อ ;

j = 1 ทำให้ C_1 คือต้นทุนการประกอบค่าเผื่อเดิม และถ้า

j = 2 ทำให้ C_2 คือต้นทุนการประกอบค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร

ค่าเผื่อเดิมสามารถหาได้จากหัวข้อ 3.1 ส่วนค่า A_i กับ B_i สามารถหาได้จากหัวข้อ 4.1 และวิธีการคำนวณค่า T_{i2} กับ C_j ในตารางดังกล่าวจะถูกแสดงให้เห็นที่มาอย่างละเอียดในภาคผนวก (ข)

แทนค่า T_{ASM} จากหัวข้อ 3.1 และ B_1 กับ B_2 จากตารางที่ 5.2.1

T_{12} คือ ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรรของชิ้นส่วนเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์

$$T_{\text{เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์}} = T_{12} = \frac{0.021}{\{[(40.84 \times 0.0135)^{2/3} + (19.16 \times 0.0075)^{2/3}] / (40.84 \times 0.0135)^{2/3}\}^{1/2}}$$

$$T_{12} = 0.0177 \quad \text{มม.}$$

T_{22} คือ ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรรของชิ้นส่วนเพลา

$$T_{\text{เพลา}} = T_{22} = \frac{0.021}{\{[(40.84 \times 0.0135)^{2/3} + (19.16 \times 0.0075)^{2/3}] / (19.16 \times 0.0075)^{2/3}\}^{1/2}}$$

$$T_{22} = 0.0113 \quad \text{มม.}$$

ดังนั้น คู่ค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุดของชิ้นส่วนเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์และเพลา คือ 0.0177 มม. และ 0.0113 มม. ตามลำดับ

แทนค่า A_i , B_i , และ T_{ij} จากตารางที่ 5.2.1

$$C_{\text{ค่าเผื่อเดิม}} = C_1 = [\,286.99 + ((\,40.84 \times 0.0135\,) / 0.0135\,)\,] + [\,130.90 + ((\,19.16 \times 0.0075\,) / 0.0075\,)\,]$$

$$C_1 = 327.83 + 150.06$$

$$C_1 = 477.89 \quad \text{บาท / คู่}$$

$$C_{\text{ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร}} = C_2 = [\,286.99 + ((\,40.84 \times 0.0135\,) / 0.0177\,)\,] + [\,130.90 + ((\,19.16 \times 0.0075\,) / 0.0113\,)\,]$$

$$C_2 = 318.14 + 143.62$$

$$C_2 = 461.76 \quad \text{บาท / คู่}$$

ดังนั้น ต้นทุนการประกอบที่เหมาะสมที่สุดหรือต้นทุนค่าเผื่อที่ถูกจัดสรรมีค่าเท่ากับ 461.76 บาทต่อคู่

การทดสอบความถูกต้อง (Validation)

หลังจากที่ได้คำตอบเมื่อทำการจัดสรรแล้วก็จะทำการทดสอบความถูกต้อง โดยทำการเปลี่ยนคู่ค่าเผื่อตั้งแต่ 0.0001 - .0210 ดังตารางที่ 5.2.2 ซึ่งวิธีการคิดจะทำการยกตัวอย่างให้เห็น 2 ค่า คือ T_{12} = 0.0175 มม. และ 0.0180 มม. (สาเหตุที่ไม่ใช้ค่าใกล้เคียง $\pm$ 0.0001 ก็เนื่องจากค่าที่ได้เกิดจากการปัดเศษทศนิยมในตำแหน่งที่ 5) จากนั้นทำการหาค่าเผื่อของเพลา (T_{22}) ที่เกิดจากค่าเผื่อ T_{12} ที่กำหนดให้ข้างต้น

$T_{12} = 0.0175$; $\quad T_{ASM}^{\,2} = T_{12}^{\,2} + T_{22}^{\,2}$

$$T_{22} = (\,T_{ASM}^{\,2} - T_{12}^{\,2}\,)^{\,1/2}$$

แทนค่า

$$T_{22} = (\,0.021^{\,2} - 0.0175^{\,2}\,)^{\,1/2}$$

$$T_{22} = 0.0116 \quad \text{มม.}$$

ในทำนองเดียวกันทำการแทนค่าที่

T_{12} = 0.0180 ; T_{22} = 0.0108 มม.

<u>การหาคู่ค่าเผื่อที่กำหนด</u>

- T_{12} = 0.0175 มม. และ T_{22} = 0.0116 มม.

$$C_{\text{ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร}} = C_2 = [\,286.99 + (\,(\,40.84 \times 0.0135\,) / 0.0175\,)\,] + [\,130.90 + (\,(\,19.16 \times 0.0075\,) / 0.0116\,)\,]$$

$$C_2 = 318.50 + 143.29$$

$$C_2 = 461.70 \quad \text{บาท / คู่}$$

- T_{12} = 0.0180 มม. และ T_{22} = 0.0108 มม.

$$C_{\text{ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร}} = C_2 = [\,286.99 + (\,(\,40.84 \times 0.0135\,) / 0.0180\,)\,] + [\,130.90 + (\,(\,19.16 \times 0.0075\,) / 0.0108\,)\,]$$

$$C_2 = 317.62 + 144.21$$

$$C_2 = 461.83 \quad \text{บาท / คู่}$$

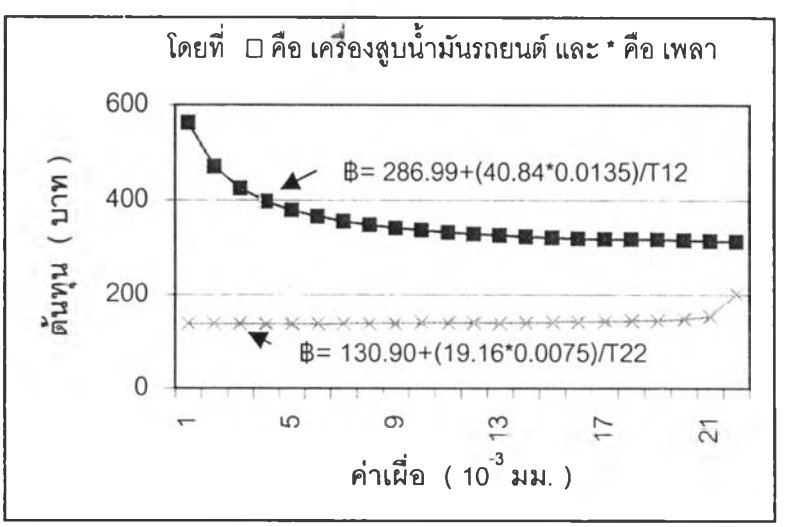
ในที่สุดจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากตารางที่ 5.2.2 ตรงกันกับค่าที่ได้พิสูจน์และแทนค่าก่อนหน้านี้ ซึ่งได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ T_{12} = 0.0177 มม. และ T_{22} = 0.0113 มม.

<u>ตารางที่ 5.2.2</u> แสดงการทดสอบความถูกต้องของคู่ค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุด

คู่ค่าเผื่อที่กำหนด (มม.)		ต้นทุน (บาท)		ต้นทุนคู่ค่าเผื่อ
เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ (T_{12})	เพลา (T_{22})	เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์	เพลา	ที่กำหนด (บาท)
0.002	0.0209	562.66	137.77	700.43
0.003	0.0208	470.77	137.81	608.59
0.004	0.0206	424.825	137.87	562.70
0.005	0.0204	397.258	137.95	535.20
0.006	0.0201	378.88	138.04	516.92
0.007	0.0198	365.75	138.16	503.91
0.008	0.0194	355.91	138.30	494.21

ตารางที่ 5.2.2 (ต่อ) แสดงการทดสอบความถูกต้องของคู่ค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุด

คู่ค่าเผื่อที่กำหนด (มม.)		ต้นทุน (บาท)		ต้นทุนคู่ค่าเผื่อที่กำหนด (บาท)
เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ (T_{12})	เพลา (T_{22})	เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์	เพลา	
0.009	0.0190	348.25	138.47	486.72
0.01	0.0185	342.12	138.68	480.81
0.011	0.0179	337.11	138.93	476.04
0.012	0.0172	332.94	139.24	472.17
0.013	0.0165	329.40	139.61	469.01
0.014	0.0157	326.37	140.08	466.45
0.015	0.0147	323.75	140.68	464.42
0.016	0.0136	321.45	141.47	462.91
0.017	0.0123	319.42	142.56	461.98
0.0175	0.0116	318.50	143.28	461.77
0.0177	***0.0113***	***318.14***	***143.62***	***461.75***
0.018	0.0108	317.62	144.19	461.81
0.019	0.0089	316.01	146.97	462.97
0.02	0.0064	314.56	153.34	467.90
0.0209	0.0020	313.37	201.10	514.47



รูปที่ 5.2.1 แสดงกราฟฟังก์ชั่นต้นทุนกับค่าเผื่อของชิ้นส่วนเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์กับชิ้นส่วนเพลา ณ ปริมาณการผลิต 1,778 ชิ้น

สำหรับกราฟฟังก์ชั่นต้นทุนกับค่าเผื่อของชิ้นส่วนเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์กับชิ้นส่วนเพลา ณ ปริมาณการผลิต 1,778 ชิ้น แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 5.2.1 โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 5.2.2 นำมาเขียนกราฟ ซึ่งถ้าหากว่า ปริมาณการผลิตเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้ค่าคงที่ A แปรเปลี่ยนตามเส้นกราฟคู่นี้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่าเผื่อที่จัดสรรไว้ก็จะคงค่าเดิม นอกเสียจากว่าต้นทุนแปรผันของทั้งสองชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น

สรุป

ดังนั้น ณ ปริมาณการผลิต 1,778 ชิ้น ต้นทุนคู่ค่าเผื่อเดิมมีค่าเท่ากับ 477.89 บาท / คู่ และต้นทุนคู่ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรรใหม่มีค่าเท่ากับ 461.76 บาท / คู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนการประกอบที่ถูกจัดสรรใหม่จะประหยัดขึ้นกว่าต้นทุนค่าเผื่อเดิมเป็นจำนวนเงิน 16.13 บาท / คู่

สำหรับค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร [T_{i2}] จะมีค่าเพียงคู่เดียว เนื่องจากการพิสูจน์ที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าค่าเผื่อจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ต้นทุนแปรผันเท่านั้น และค่าคงที่แปรผันก็จะมีเพียงคู่เดียวไม่ว่าปริมาณการผลิตจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ตาม แต่ปริมาณการผลิตจะมีผลกับต้นทุนค่าประกอบเพราะว่ามีค่าคงที่ต้นทุนคงที่มาเกี่ยวข้อง ด้วยเหตุนี้ต้นทุนการประกอบจึงแปรเปลี่ยนไปดังในตารางที่ 5.2.3

<u>ตารางที่ 5.2.3</u> แสดงต้นทุนการประกอบในการผลิตหนึ่งกะ, สองกะ หรือสามกะ ณ ปริมาณการผลิตต่าง ๆ

ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	ต้นทุนคงที่ (บาท)		ต้นทุนการประกอบ (บาท/คู่)		ผลต่างต้นทุน (บาท/คู่)	ต้นทุนรวมประหยัดได้ (บาท)
	เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์	เพลา	ค่าเผื่อเดิม (มม.)	ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร (มม.)		
1,137	430.79	204.64	695.43	679.30	16.13	18344.4
1,778	286.99	130.9	477.89	461.76	16.13	28686.31
2,275	230.79	102.29	393.08	376.95	16.13	36704.93
3,412	163.73	68.21	291.94	275.81	16.13	55049.32
4,550	130.21	51.15	241.36	225.23	16.13	73409.85
5,687	98.11	40.93	199.04	182.91	16.13	91754.25
6,825	84.26	34.1	178.36	162.23	16.13	110114.8
7,962	74.38	30.96	165.34	149.21	16.13	128459.2
9,100	66.95	27.08	154.03	137.90	16.13	146819.7

ตารางที่ 5.2.3 (ต่อ) แสดงต้นทุนการประกอบในการผลิตหนึ่งกะ, สองกะ หรือสามกะ ณ ปริมาณการผลิตต่าง ๆ

ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	ต้นทุนคงที่ (บาท)		ต้นทุนการประกอบ (บาท/คู่)		ผลต่างต้นทุน (บาท/คู่)	ต้นทุนรวมประหยัดได้ (บาท)
	เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์	เพลา	ค่าเผื่อเดิม (มม.)	ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร (มม.)		
10,237	57.79	24.08	141.87	125.74	16.13	165164.1
11,375	53.03	21.67	134.70	118.57	16.13	183524.6
12,512	49.14	19.7	128.84	112.71	16.13	201869
13,650	45.89	18.06	123.95	107.82	16.13	220229.6

สรุปจากตาราง จะเห็นได้ว่า ณ ปริมาณการผลิตเท่าใดก็ตาม เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงจากค่าเผื่อเดิมเป็นค่าเผื่อที่ถูกจัดสรรจะมีความเหมาะสมมากกว่า ซึ่งพิจารณาได้จากผลต่างของต้นทุนการประกอบที่ประหยัดมากกว่า และผลต่างต้นทุนการประกอบจะเท่ากันหมดไม่ว่าปริมาณการผลิตเท่าใดก็เนื่องจากผลต่างต้นทุนการประกอบขึ้นอยู่กับต้นทุนค่าคงที่แปรผัน ซึ่งเท่ากันตลอด

ผลสุดท้าย ค่าจากแบบที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่ามิติใหม่แล้ว ค่ามิติของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ คือ ∅ 13.0455 (+ 0.0177 , - 0.0177) หรือ ∅ 13 (+ 0.0632 , + 0.0278) มิลลิเมตร และค่ามิติของเพลา คือ ∅ 12.9925 (+ 0.0113 , - 0.0113) หรือ ∅ 13 (+ 0.0038 , - 0.0188) มิลลิเมตร แต่การประยุกต์ใช้กับโรงงาน ยังต้องคำนึงถึงศักยภาพของโรงงานตัวอย่างที่มีความสามารถในการปฏิบัติการทางเครื่องจักรกล เครื่องหล่อ และระบบการวัดในหน่วยไมครอน เพราะฉะนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนค่ามิติของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ คือ ∅ 13 (+ 0.063 , - 0.028) มิลลิเมตร และค่ามิติของเพลา คือ ∅ 13 (+ 0.004 , - 0.019) มิลลิเมตร

5.3 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity)

การที่โรงงานตัวอย่างจะพิจารณาเฉพาะคู่ค่าเผื่อคู่ใดคู่หนึ่ง ณ ปริมาณการผลิต ณ ปัจจุบันของโรงงาน สิ่งนี้จะเป็นไปได้ยากมาก เพราะปัจจัยต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหาเหล่านี้ทางโรงงานจึงต้องมีแนวทางรองรับปัญหาที่จะเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องสร้างรูปแบบการวิเคราะห์ความไวขึ้นมา การทำการวิเคราะห์ความไวในที่นี้มีอยู่ 2 กรณี คือ

5.3.1 กรณีต้นทุนแปรผันเปลี่ยนแปลง

เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ต้นทุนแปรผันเกิดเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้คู่ค่าเผื่อเปลี่ยนแปลงตามไป ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ความไวไว้เป็นช่วง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.3.1 ซึ่งถ้าค่าที่ได้ไม่เหมาะสมกับความต้องการผู้ใช้งานก็สามารถคำนวณหาได้จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น

ตารางที่ 5.3.1 แสดงการวิเคราะห์ความไวกรณีต้นทุนแปรผันเปลี่ยนแปลง

ต้นทุนแปรผัน (บาท)		คู่ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรร (มม.)	
เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์	เพลา	เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ (T_{12})	เพลา (T_{22})
40.84	15	0.0181	0.0107
40.84	19.16	0.0177	0.0113
40.84	25	0.0172	0.0120
40.84	30	0.0169	0.0125
40.84	35	0.0166	0.0129
40.84	40	0.0163	0.0133
40.84	45	0.0160	0.0136
40.84	50	0.0158	0.0139
30	19.16	0.0171	0.0121
35	19.16	0.0174	0.0117
45	19.16	0.0179	0.0110
50	19.16	0.0180	0.0108
55	19.16	0.0182	0.0105
60	19.16	0.0183	0.0103
65	19.16	0.0184	0.0101
70	19.16	0.0185	0.0099
30	15	0.0176	0.0115
35	15	0.0178	0.0111
45	25	0.0174	0.0118
50	30	0.0173	0.0120
55	35	0.0171	0.0121
60	40	0.0171	0.0122
65	45	0.0170	0.0124
70	50	0.0169	0.0124

5.3.2 กรณีคู่ค่าเผื่อเปลี่ยนแปลง

สำหรับในกรณีที่ลูกค้าหรือโรงงานต้องการคู่ค่าเผื่อที่เปลี่ยนแปลง เช่น ต้องนำไปใช้ร่วมกับชิ้นส่วนอื่นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงตามก็สามารถเลือกคู่ค่าเผื่อที่เหมาะสมได้ จากต้นทุนการประกอบที่ต่ำที่สุดไปยังที่สูงที่สุด ดังตารางที่ 5.3.2 ตามลำดับ แต่กระนั้นก็ตามการวิเคราะห์ความไวที่ใช้นี้เฉพาะในกรณีที่ต้นทุนแปรผันเฉพาะคู่ (B_1 = 40.84 บาท, B_2 = 19.16 บาท) เท่านั้น ถ้าต้นทุนแปรผันเกิดแปรเปลี่ยนไปตารางคู่ค่าเผื่อนี้ก็ต้องแปรเปลี่ยนตามไปด้วยในลักษณะเดียวกัน

ตารางที่ 5.3.2 แสดงการวิเคราะห์ความไวกรณีคู่ค่าเผื่อเปลี่ยนแปลงเฉพาะค่า (B_1 = 40.84 บาท, B_2 = 19.16 บาท)

ลำดับที่	คู่ค่าเผื่อที่กำหนด (มม.)		ต้นทุนคู่ค่าเผื่อที่กำหนด
	เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ (T_{11})	เพลา (T_{12})	(บาท)
1	0.0177	0.0113	461.75
2	0.0175	0.0116	461.77
3	0.018	0.0108	461.81
4	0.017	0.0123	461.98
5	0.016	0.0136	462.91
6	0.019	0.0089	462.97
7	0.015	0.0147	464.42
8	0.014	0.0157	466.45
9	0.02	0.0064	467.90
10	0.013	0.0165	469.01
11	0.012	0.0172	472.17
12	0.011	0.0179	476.04
13	0.01	0.0185	480.81
14	0.009	0.0190	486.72
15	0.008	0.0194	494.21
16	0.007	0.0198	503.91
17	0.0209	0.0020	514.47
18	0.006	0.0201	516.92
19	0.005	0.0204	535.20
20	0.004	0.0206	562.70
21	0.003	0.0208	608.58
22	0.002	0.0209	700.43

5.4 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลหลังจากที่ได้ทำการเลือกคู่ค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุด จากหัวข้อ 5.2 และ 5.3 แล้วปรากฏว่า ต้นทุนคู่ค่าเผื่อนั้นประหยัดขึ้นเนื่องมาจากต้นทุนแปรผันเป็นหลักแต่เพียงอย่างเดียว ถ้าต้องการลดต้นทุนคงที่ก็จะต้องแก้ไขโดยเพิ่มปริมาณการผลิต (% การผลิต) หรือทำการผลิตให้จำนวนกะเพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือ ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นนั่นเอง เพราะฉะนั้นต้นทุนคงที่ที่จะทำอย่างไรให้ต้นทุนต่ำลงก็ต้องขึ้นกับโรงงานว่าจะทำอย่างไรให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น

ด้วยเหตุนี้จึงสนใจพิจารณาคู่ค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุดคู่ใดคู่หนึ่ง แล้วหาว่าค่าเผื่อที่ทำการจัดสรรใหม่นั้นมีผลทำให้ต้นทุนแปรผันส่วนไหนลดลงไปบ้างสัมพันธ์กันอย่างไร

จากสมการต้นทุน - ค่าเผื่อ Reciprocal ค่าเผื่อที่จัดสรรใหม่จึงแปรผกผันกับต้นทุนแปรผันที่กำหนดค่าเผื่อออกแบบต่อชิ้นงานคือ $T_{i2} \alpha\ 1/(B_i \times T_{i1})$ โดยที่ B_i ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง, ค่าวัสดุโรงงาน, ค่าไฟฟ้า และค่าน้ำประปา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อ T_{i2} มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นทุนแปรผันลดลง แต่ต้องลดลงภายใต้เงื่อนไขสมการขอบข่ายจำกัด $T_{ASM}^2 = T_1^2 + T_2^2$ ด้วย

สำหรับเหตุผลที่รองรับเมื่อค่าเผื่อที่จัดสรรใหม่กว้างขึ้นแล้วทำให้ต้นทุนแปรผันดังกล่าวทั้ง 4 ประเภท ลดลงคือ

1) *ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง* คือ ในส่วนนี้ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตของการหล่อ ต้นทุนวัตถุดิบก็คงจะไม่ลดลง ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการแก้ไขโดยไม่เผื่อให้มีการกลึงมากเกินไปหรือก็คือว่าหล่อให้ใช้เนื้ออะลูมิเนียมน้อยลง

2) *ค่าวัสดุโรงงาน* คือ กำหนดให้เครื่องจักรมีเวลาในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติการ (Operations) น้อยลง ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องมือ (Tooling) จำพวกเม็ดมีดและดอกสว่านเป็นหลัก เมื่อใช้งานน้อยลงก็สามารถทำให้ต้นทุนลดลงได้

3) *ค่าไฟฟ้า* คือ เมื่อเลือกคู่ค่าเผื่อที่เหมาะสมแล้ว ทำให้รอบเวลาการผลิตน้อยลง ซึ่งก็คือ เครื่องจักรใช้เวลาทำการปฏิบัติการน้อยลง ดังนั้นจึงทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้า

4) *ค่าน้ำประปา* คือ เนื่องจากเครื่องจักรทำการผลิตต้องมีน้ำผสมกับสารหล่อเย็นไว้เป็นตัวระบายความร้อนให้กับระบบ ซึ่งเมื่อเครื่องจักรทำการผลิตนานขึ้นก็อาจทำให้ใช้น้ำมากขึ้น แต่กระนั้นก็ตามค่าใช้จ่ายในส่วนนี้น้อยมากจนอาจไม่นำมาพิจารณาก็เป็นได้