บทที่ 2

ทฤษฎี

ในระบบท่อลมโดยทั่วไปจะมีขนาดท่อลมที่หลากหลายเป็นจำนวนมาก ทั้งในด้านกว้าง (W_n) และ ด้านลึก (D_n) ของหน้าตัดท่อลม รวมทั้งความยาวของท่อลม (L) ซึ่งทำให้ท่อลมมีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ตามความต้องการการกระจายลมเย็นในบริเวณนั้น ๆ อีกทั้งทำให้พื้นที่หน้าตัดท่อลมเปลี่ยนแปลงไป จึงมีความจำเป็นในการแบ่งขนาดของท่อลมโดยใช้เบอร์สังกะสีเป็นเกณฑ์ตามมาตราฐานของ SMACNA และใช้จำนวนจุดต่อ (Joint) ของหน้าตัดท่อลมเป็นเกณฑ์ในการสร้างแผ่นคลี่ท่อลม เพื่อนำไปตัดบนแผ่นสังกะสี ตามที่กล่าวไว้ในบทนำถึงขนาดแผ่นสังกะสีมาตราฐานที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ 8 ฟุต x 4 ฟุต ดังนั้น ความยาวของชิ้นสังกะสี 1 ชิ้นสำหรับท่อลมตรงจะมีขนาดสูงสุดเท่ากับ 4 ฟุต หรือ 8 ฟุต ตามขนาดของสังกะสีที่ใช้ เพื่อสะดวกในการตัดและการขึ้นรูปทำท่อลม

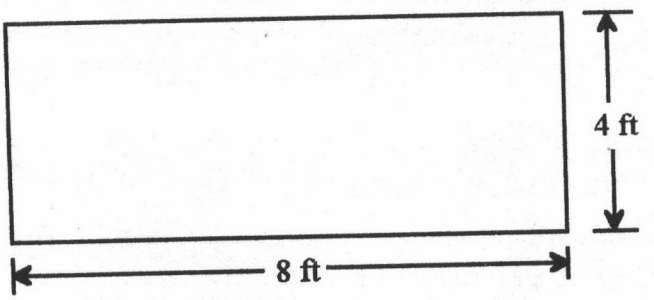
การหารูปแบบแผ่นคลี่ท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมที่เหมาะสม เพื่อนำไปเป็นแบบในการตัดแผ่นสังกะสีทำท่อลม จำเป็นจะต้องมีการคิดค้นสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function) ซึ่งสามารถนำขนาดท่อลมในระบบมาเป็นตัวเลือกในการสร้างแผ่นคลี่บนแผ่นสังกะสีแผ่นเดียวกัน และรูปแบบแผ่นคลี่ที่ได้จากสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์จะต้องทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ และ เศษเหลือจากการตัดแผ่นสังกะสี มีค่าน้อยที่สุด จากนั้น นำรูปแบบแผ่นคลี่ที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ โดยวิธีการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method) ขั้นตอนต่าง ๆ มีดังนี้

1. ป้อนข้อมูล ความกว้าง (W_n), ความลึก (D_n) และ ความยาว (L) ของท่อลมในระบบท่อลม
2. เรียงลำดับขนาดท่อลม โดยใช้ด้านกว้าง (W_n), ด้านลึก (D_n), และความยาว (L) จากน้อยไปหามากเรียงไปตามลำดับ ด้านกว้าง, ด้านลึก และ ด้านยาว
3. ใช้จำนวนจุดต่อ (Joint) ของหน้าตัดท่อลมเป็นเกณฑ์ในการสร้างแผ่นคลี่
4. จัดกลุ่มท่อลมโดยใช้เบอร์สังกะสีเป็นเกณฑ์ตามตารางในภาคผนวก ข.
5. คำนวณหาจำนวนชิ้นสังกะสีที่ใช้ต่อขนาดท่อลม จากค่าความยาว (L)

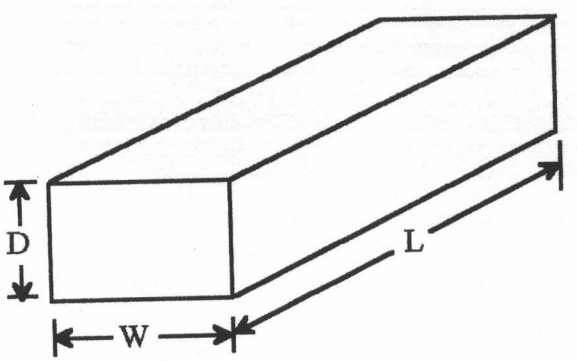
6. นำข้อมูลท่อลมที่ผ่านขั้นตอนข้างต้นมาคำนวณในสมการฟังก์ชั่นอุดประสงค์ เพื่อให้ได้รูปแบบแผ่นคลี่ที่ดีที่สุด
7. คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ต่อรูปแบบแผ่นคลี่ โดยใช้วิธีการหาผลที่ดีที่สุด
8. แสดงรูปแบบแผ่นคลี่ที่ได้ในรูปกราฟฟิค เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำไปใช้เป็นแบบในการตัดแผ่นสังกะสี
9. หาผลรวมของจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ต่อเบอร์สังกะสี และ จำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้ในระบบ

ขั้นตอนข้างต้นแสดงถึงโครงสร้างการดำเนินการ เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิทยานิพนธ์นี้ รายละเอียดในขั้นตอนต่าง ๆ แสดงไว้ดังต่อไปนี้

ขนาดมาตราฐานของแผ่นสังกะสีที่นิยมใช้กันในประเทศไทย จะมีขนาด 8 ฟุต x 4 ฟุต ดังรูป



รูปที่ 2.1 ลักษณะของแผ่นสังกะสีที่ใช้ในประเทศไทย



รูปที่ 2.2 ลักษณะของท่อลมตรงหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม

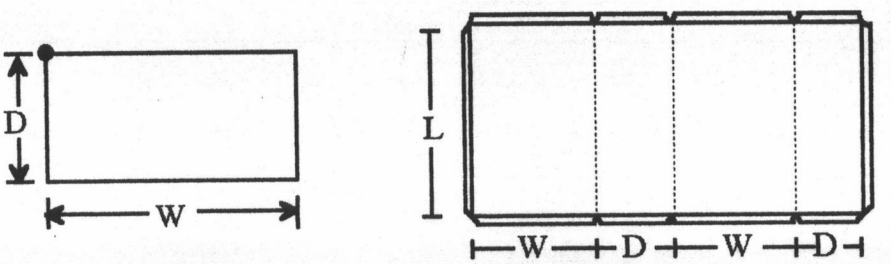
<u>การหาสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์</u>

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการหาขนาดของชิ้นสังกะสี เพื่อนำมาขึ้นรูปทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขึ้นอยู่กับจำนวนจุดต่อ (Joints) ของหน้าตัดท่อลม ในการแบ่งจำนวนจุดต่อ (Joints) ของหน้าตัดท่อลมมีหลักเกณฑ์ในการแบ่ง ดังนี้

จำนวนจุดต่อ 1 จุด (1 Joint) : ใช้สำหรับท่อลมที่มีความยาวของเส้นรอบรูปของหน้าตัดท่อลม และ ตะเข็บข้างรวมกันไม่เกิน 48" หรือ 4 ฟุต ดังนั้นในกรณีนี้ชิ้นส่วนของสังกะสีที่นำมาเพื่อขึ้นรูปทำท่อลมมีเพียง 1 ชิ้น ต่อ 1 ช่วงความยาว จัดเป็นท่อลมขนาดเล็ก สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$2(W_n + D_n) + S_1 + S_2 \leq 48" \qquad (2.1)$$

ตำแหน่งของจุดต่อของท่อลมในกรณีนี้จะอยู่ที่มุมใดมุมหนึ่งของหน้าตัดท่อลม และ ลักษณะแผ่นคลี่ของขนาดท่อลมจะมี 1 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว ดังรูป

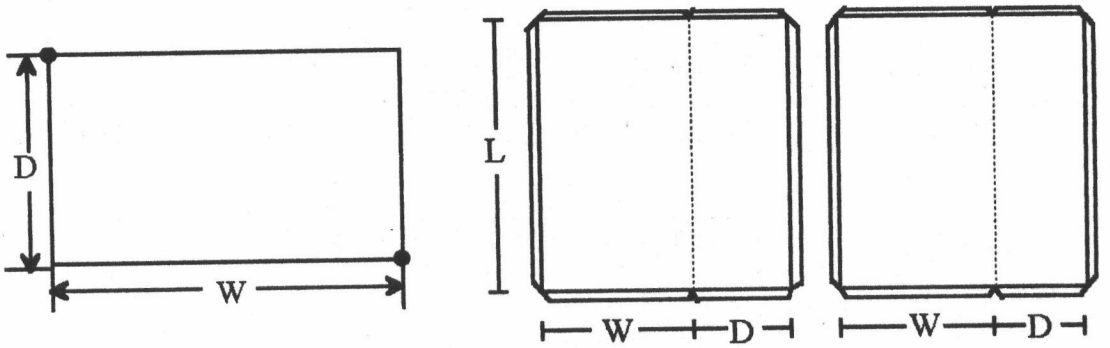


รูปที่ 2.3 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด

จำนวนจุดต่อ 2 จุด (2 Joints) : ใช้สำหรับท่อลมที่มีด้านกว้าง (W_n) 1 ด้าน รวมกับด้านลึก (D_n) 1 ด้านและตะเข็บข้าง ยาวไม่เกิน 48" หรือ 4 ฟุต ดังนั้นในกรณีนี้ชิ้นส่วนของสังกะสีที่นำมาเพื่อขึ้นรูปทำท่อลม 1 ขนาด มี 2 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว จัดเป็นท่อลมขนาดกลางสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$W_n + D_n + S_1 + S_2 \leq 48" \qquad (2.2)$$

ตำแหน่งของจุดต่อของท่อลมในกรณีนี้จะอยู่ที่มุมของหน้าตัดท่อลมซึ่งมีลักษณะทแยงมุมกัน และ ลักษณะแผ่นคลี่ของขนาดท่อลมจะมี 2 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว ดังรูป

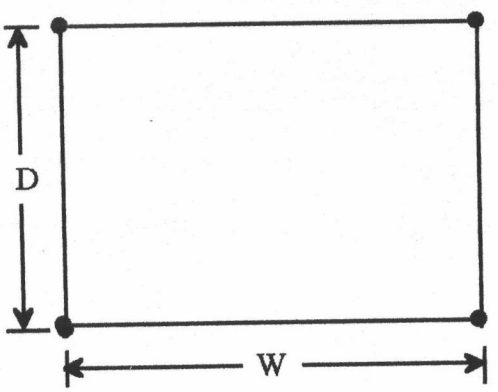


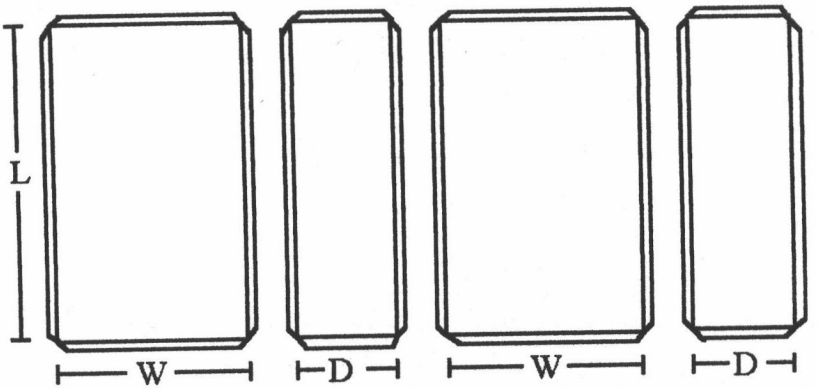
รูปที่ 2.4 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด

จำนวนจุดต่อ 4 จุด (4 Joints) : ใช้สำหรับท่อลมที่มีด้านกว้าง (W_n) 1 ด้าน รวมกับด้านลึก (D_n) 1 ด้าน และ ตะเข็บข้าง ยาวเกิน 48" หรือ 4 ฟุต ดังนั้น ในกรณีนี้ชิ้นส่วนของสังกะสีที่นำมาขึ้นรูปทำท่อลม 1 ขนาด มี 4 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว จัดเป็นท่อลมขนาดใหญ่สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$W_n + D_n + S_1 + S_2 \quad > \quad 48" \qquad (2.3)$$

ตำแหน่งของจุดต่อของท่อลมในกรณีนี้จะอยู่ที่มุมทั้ง 4 มุมของหน้าตัดท่อลม และ ลักษณะแผ่นคลี่ของขนาดท่อลมจะมี 4 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว ดังรูป





รูปที่ 2.5 ตำแหน่งฉุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนฉุดต่อ 4 ฉุด

จากข้อมูลเบื้องต้นขนาดแผ่นสังกะสีมาตราฐานที่ใช้กันในประเทศไทยมีขนาด 8ฟุต x 4ฟุต (96" x 48") และ ระยะในการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement Spacing) หรือ การทำฉุดต่อตะเข็บปลาย (Transverse Joint) หรือ ฉุดต่อของท่อลมแต่ละท่อนในประเทศไทย นิยมทำที่ช่วงความยาว 4 ฟุต หรือ 8 ฟุต ตามขนาดของสังกะสีที่ใช้ เพราะฉะนั้น ในการคำนวณหาสมการฟังก์ชั่นฉุดประสงค์ (Objective Function) จำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ และ เศษสังกะสีที่เหลือให้มีค่าเข้าใกล้ค่าอินตภาพมากที่สุด รวมทั้งสอดคล้องต่อระบบการดำเนินการทำท่อลมในปัจจุบัน

ดังนั้น สมการฟังก์ชั่นฉุดประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์หลักทั้ง 2 ประการ คือ สมการซึ่งสามารถนำชิ้นส่วนของขนาดท่อลมในระบบทั้งหมด มาเป็นตัวเลือกในการตัดแผ่นสังกะสี โดยชิ้นส่วนที่สามารถตัดบนแบอร์สังกะสีเบอร์เดียวกัน ถูกกำหนดโดยหลักเกณฑ์ 3 ข้อ คือ ความยาวของด้านที่กว้างที่สุดของหน้าตัดท่อลม, ค่าความดันสถิต (Staic Pressure, S.P.) และ รูปแบบชนิดของการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement)

รวมทั้งสมการฟังก์ชั่นฉุดประสงค์จำเป็นที่จะต้องรักษารูปแบบการสร้างความแข็งแรงไว้ที่ระยะ 4 ฟุต หรือ 8 ฟุต ซึ่งสมการดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบที่มีค่าความยาวของชิ้นส่วนสังกะสีที่นำมาต่อกันเข้าใกล้ 96" หรือ 48" ตามขนาดของแผ่นสังกะสี ในลักษณะเช่นนี้มีผลทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ และ เศษที่เหลือจากการตัดสังกะสี มีค่าเข้าใกล้ค่าทางอินตภาพ รวมทั้งสามารถรักษาระยะในการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement Spacing) หรือ การทำฉุดต่อตะเข็บปลาย (Transverse Joint) ไว้ที่ค่าความยาว 4 ฟุต หรือ 8 ฟุต จากการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงสมการฟังก์ชั่น

ฤดประสงค์ (Objective Functions) ได้ดังนี้

1. <u>ฟังก์ชั่นฤดประสงค์</u> (Objective Function) สำหรับชิ้นส่วนของขนาดท่อลมที่สามารถตัดบนเบอร์สังกะสีเบอร์เดียวกันที่มีค่ารวมของความกว้าง, ความลึก และ ตะเข็บข้าง คูณกับจำนวนชิ้นสังกะสีต่อหนึ่งแผ่นสังกะสี เข้าใกล้ 96" ในกรณีนี้ระยะการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement Spacing) หรือ 1 ช่วงความยาวมีระยะ = 4 ฟุต สามารถแสดงให้อยู่ในรูปตัวแปรทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P_1 X_1 + P_2 X_2 + ... + P_n X_n \rightarrow 96" \qquad (2.4)$$

โดย P = จำนวนชิ้นสังกะสีที่พร้อมขึ้นรูปท่อลม (จำนวนเต็ม) ต่อ 1 แผ่นสังกะสี

X = ความยาวเส้นรอบรูปของหน้าตัดท่อลม

2. <u>ฟังก์ชั่นฤดประสงค์</u> (Objective Function) สำหรับชิ้นส่วนของขนาดท่อลมที่สามารถตัดบนเบอร์สังกะสีเบอร์เดียวกันที่มีค่ารวมของความกว้าง, ความลึก และ ตะเข็บข้าง คูณกับจำนวนชิ้นสังกะสีต่อหนึ่งแผ่นสังกะสี เข้าใกล้ 48" ในกรณีนี้ระยะในการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement Spacing) หรือ 1 ช่วงความยาวมีระยะ = 8 ฟุต

$$P_1 X_1 + P_2 X_2 + ... + P_n X_n \rightarrow 48" \qquad (2.5)$$

โดย P = จำนวนชิ้นสังกะสีที่พร้อมขึ้นรูปท่อลม (จำนวนเต็ม) ต่อ 1 แผ่นสังกะสี

X = ความยาวเส้นรอบรูปของหน้าตัดท่อลม

ในแต่ละสมการฟังก์ชั่นฤดประสงค์ประกอบด้วย 3 กรณีย่อย ซึ่งถูกกำหนดโดยจำนวนฤดต่อ (Joints) เป็นหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าตัวแปร X_n , Y_n ให้สมการฟังก์ชั่นฤดประสงค์

3. <u>การหาสมการเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ</u> (Constrain Functions) มีรายละเอียดดังนี้

3.1 พื้นที่ของชิ้นส่วนท่อลม ($X_n Z_{nA}$) ขนาดต่าง ๆ ที่นำมาอัดเรียงบนแผ่นสังกะสีแผ่นเดียวกันต้องมีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 96" x 48" = 4608 ตารางนิ้ว ดังนั้นสมการเงื่อนไขบังคับสมการ

ที่หนึ่งเป็นดังนี้

สำหรับจำนวนจุดต่อ 1 หรือ 2 จุด (1 or 2 Joints) $\sum_{i=1}^{n} X_i Z_{iA} \leq 4608$ (2.6)

สำหรับจำนวนจุดต่อ 4 จุด (4 Joints) $\sum_{i=1}^{n} [X_i Z_{ixA} + Y_i Z_{iyA}] \leq 4608$ (2.7)

โดย Z_{nA} = ความยาวรวมตะเข็บปลาย (Transverse Joint) ที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี

Y_n = ด้านลึก (D_n) ของหน้าตัดท่อลม (เฉพาะในกรณีจำนวนจุดต่อ 4 จุด)

3.2 ความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งคำนวณจากจำนวนชิ้นสังกะสี (จำนวนเต็ม) ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (P) คูณกับช่วงความยาวชิ้นสังกะสี ดังสมการ

สำหรับฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่มีค่าเข้าใกล้ 96"

$$48P_1 = Z_{1A}\ ,\ 48P_2 = Z_{2A}\ ,\ \cdots\ ,\ 48P_n = Z_{nA}$$

$$L_{1A} = 48P_1 - 2P_1 S_3\ ,\ L_{2A} = 48P_2 - 2P_2 S_3\ ,\ \cdots\ ,\ L_{nA} = 48P_n - 2P_n S_3 \quad (2.8)$$

สำหรับฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่มีค่าเข้าใกล้ 48"

$$96P_1 = Z_{1A}\ ,\ 96P_2 = Z_{2A}\ ,\ \cdots\ ,\ 96P_n = Z_{nA}$$

$$L_{1A} = 96P_1 - 2P_1 S_3\ ,\ L_{2A} = 96P_2 - 2P_2 S_3\ ,\ \cdots\ ,\ L_{nA} = 96P_n - 2P_n S_3 \quad (2.9)$$

โดย P_n = จำนวนชิ้นสังกะสี (จำนวนเต็ม) ต่อ 1 แผ่นสังกะสี

S_3 = ขนาดของตะเข็บปลาย (Transverse Joint)

L_{nA} = ความยาวไม่รวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี

ตัวห้อย n = จำนวนขนาดท่อลม

A = ขนาดที่ได้จริง

3.3 ตรวจสอบความยาวท่อลมที่ต้องการ โดยคำนวณจากจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ต่อหนึ่งขนาดของท่อลม (m_n) คูณกับความยาวไม่รวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (L_{nA}) ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความยาวไม่รวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (L_{nt}) ดังสมการ

สำหรับจำนวนฉุดต่อ 1 ฉุด (1 Joint)

$$\begin{aligned} m_1 L_{1A} &= L_{1tA} \geq L_{1t} \\ m_2 L_{2A} &= L_{2tA} \geq L_{2t} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ m_n L_{nA} &= L_{ntA} \geq L_{nt} \end{aligned} \qquad (2.10)$$

สำหรับจำนวนฉุดต่อ 2 ฉุด (2 Joints)

$$\begin{aligned} 2m_1 L_{1A} &= L_{1tA} \geq L_{1t} \\ 2m_2 L_{2A} &= L_{2tA} \geq L_{2t} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ 2m_n L_{nA} &= L_{ntA} \geq L_{nt} \end{aligned} \qquad (2.11)$$

สำหรับจำนวนฉุดต่อ 4 ฉุด (4 Joints)

$$\begin{aligned} 2m_{1x} L_{1xA} &= 2m_{1y} L_{1yA} = L_{1tA} \geq L_{1t} \\ 2m_{2x} L_{2xA} &= 2m_{2y} L_{2yA} = L_{2tA} \geq L_{2t} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ 2m_{nx} L_{nyA} &= 2m_{ny} L_{nyA} = L_{ntA} \geq L_{nt} \end{aligned} \qquad (2.12)$$

โดย m = จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ต่อ 1 ขนาดท่อลม

L_{ntA} = ความยาวไม่รวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ได้จริงต่อ 1ขนาดท่อลม

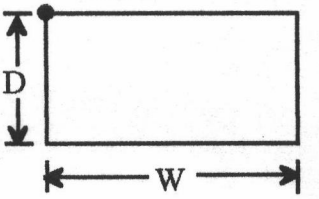
L_{nt} = ความยาวไม่รวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการต่อ 1 ขนาดท่อลม

<u>การประยุกต์ใช้สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์และสมการเงื่อนไขบังคับ</u>

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ และ สมการเงื่อนไขบังคับ ดังที่กล่าวมาแล้วจะนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อหาจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริง โดยเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ทางอินตภาพ ดังนี้

1. <u>กรณีฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function) ที่มีค่าเข้าใกล้ 96"</u>

1.1 <u>สำหรับจำนวนจุดต่อ 1 จุด</u> (1 Joint) ใช้สำหรับกรณีของท่อลมขนาดเล็กซึ่งสอดคล้องตามสมการ $2(W_n + D_n) + S_1 + S_2 \leq 48"$ แสดงรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งจุดต่อ 1 จุด

กำหนดให้ $X_n = 2(W_n + D_n) + S_1 + S_2$, $Z_n = L_n + 2P_nS_3$ (2.13)

คำนวณหาขนาดพื้นที่ทางอินตภาพของท่อลมแต่ละขนาด (A_n) มารวมเป็นพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำความยาวเส้นรอบรูปของท่อลม (X_n) คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (Z_{nt}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน ดังนี้

$$X_1Z_{1t} = A_1 \text{ , } X_2Z_{2t} = A_2 \text{ , ... , } X_nZ_{nt} = A_n$$

$$X_1 Z_{1t} + X_2 Z_{2t} + \text{.....} + X_nZ_{nt} = A_t \quad ; A_t = A_1 + A_2 + \text{.....} + A_n \quad (2.14)$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพ (N_t) ทั้งหมดที่ใช้ในท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4608 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_t}{4608} = N_t \quad (2.15)$$

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ :

$$P_1X_1 + P_2X_2 + \ldots\ldots + P_nX_n \quad \rightarrow \quad 96" \tag{2.4}$$

สมการเงื่อนไขบังคับ :

$$\sum_{i=1}^{n} X_i Z_{iA} \leq 4608 \tag{2.6}$$

$$48P_1 = Z_{1A} \ , \ 48P_2 = Z_{2A} \ , \ \ldots\ldots \ , \ 48P_n = Z_{nA}$$

$$L_{1A} = 48P_1 - 2P_1 S_3 \ , \ L_{2A} = 48P_2 - 2P_2 S_3 \ , \ \ldots\ldots \ , \ L_{nA} = 48P_n - 2P_n S_3 \tag{2.8}$$

$$\begin{aligned} m_1 L_1 &= L_{1tA} \geq L_{1t} \\ m_2 L_2 &= L_{2tA} \geq L_{2t} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ m_n L_n &= L_{ntA} \geq L_{nt} \end{aligned} \tag{2.10}$$

หาขนาดพื้นที่ที่ได้จริงของท่อลมแต่ละขนาด นำมารวมเป็นพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ 1 ขนาดท่อลม (m_n) คูณกับความยาวเส้นรอบรูป (X_n) และ คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน เปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ทางอินตภาพ (A_t) ดังนี้

$$m_1 Z_{1A}X_1 + m_2 Z_{2A}X_2 + \ldots\ldots + m_n Z_{nA}X_n = A_{Act} \quad \rightarrow \quad A_t \tag{2.16}$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้จริง (N_{Act}) ในระบบท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4608 ตารางนิ้ว ดังนี้

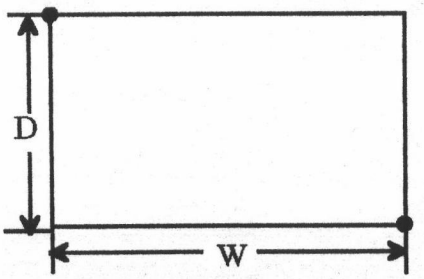
$$\frac{A_{ACT}}{4608} = N_{Act} \tag{2.17}$$

นำค่า N_{Act} ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพทั้งหมด (N_t) โดยมีเป้าหมายหลักในการจัดแบ่งชิ้นสังกะสีในแผ่นสังกะสีที่จะให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่า N_{Act} กับ N_t

มีค่าน้อยที่สุด หรือ เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \qquad (2.18)$$

1.2 <u>สำหรับจำนวนฉุดต่อ 2 ฉุด</u> (2 Joints) ใช้สำหรับกรณีของท่อลมขนาดกลาง ซึ่งสอดคล้องตามสมการ $W_n + D_n + S_1 + S_2 \leq 48"$ แสดงรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งฉุดต่อ 2 ฉุด

กำหนดให้ $X_n = W_n + D_n + S_1 + S_2$, $Z_n = L_n + 2P_n S_g$ (2.19)

คำนวณหาขนาดพื้นที่ทางอินตภาพของท่อลมแต่ละขนาด (A_n) มารวมเป็นพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) ของท่อลมที่มีจำนวนฉุดต่อ 2 ฉุด โดยนำความยาวเส้นรอบรูปของท่อลม (X_n) คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (Z_{nt}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน ดังนี้

$$2X_1 Z_{1t} = A_1 \ , \ 2X_2 Z_{2t} = A_2 \ , \ \ldots\ldots \ , \ 2X_n Z_{nt} = A_n$$

$$2[\, X_1 Z_{1t} + X_2 Z_{2t} + \ldots\ldots + X_n Z_{nt} \,] = A_t \ : A_t = A_1 + A_2 + \ldots\ldots + A_n \qquad (2.20)$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพ (N_t) ทั้งหมดที่ใช้ในท่อลมที่มีจำนวนฉุดต่อ 2 ฉุด โดยนำพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4808 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_t}{4608} = N_t \qquad (2.15)$$

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ :

$$P_1 X_1 + P_2 X_2 + \ldots\ldots + P_n X_n \rightarrow 96" \qquad (2.4)$$

สมการเงื่อนไขบังคับ :

$$\sum_{i=1}^{n} X_i Z_{iA} \leq 4608 \qquad (2.6)$$

$$48P_1 = Z_{1A} \ , \ 48P_2 = Z_{2A} \ , \ \ldots\ldots \ , 48P_n = Z_{nA}$$

$$L_{1A} = 48P_1 - 2P_1 S_3 \ , \ L_{2A} = 48P_2 - 2P_2 S_3 \ , \ \ldots\ldots \ , \ L_{nA} = 48P_n - 2P_n S_3 \qquad (2.8)$$

$$2m_1 L_{1A} = L_{1tA} \geq L_{1t}$$
$$2m_2 L_{2A} = L_{2tA} \geq L_{2t}$$
$$\vdots \qquad (2.11)$$
$$2m_n L_{nA} = L_{ntA} \geq L_{nt}$$

หาขนาดพื้นที่ที่ได้จริงของท่อลมแต่ละขนาด นำมารวมเป็นพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด โดยนำจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ 1 ขนาดท่อลม (m_n) คูณกับความยาวเส้นรอบรูป (X_n) และ คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน เปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ทางอินดภาพ (A_t) ดังนี้

$$2[\ m_1 Z_{1A} X_1 + m_2 Z_{2A} X_2 + \ldots\ldots + m_n Z_{nA} X_n\ ] = A_{Act} \rightarrow A_t \qquad (2.21)$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้จริง (N_{Act}) ในระบบท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4608 ตารางนิ้ว ดังนี้

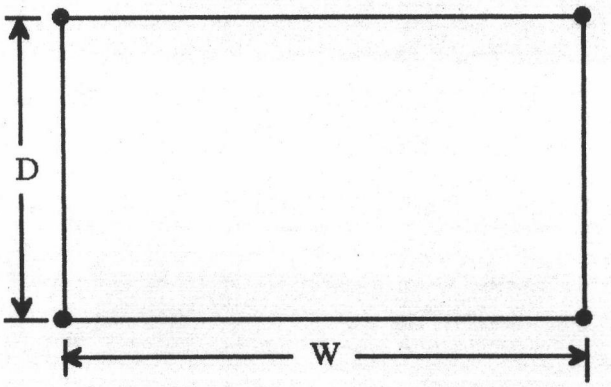
$$\frac{A_{ACT}}{4608} = N_{Act} \qquad (2.17)$$

นำค่า N_{Act} ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินดภาพทั้งหมด (N_t) โดยมีเป้าหมายหลักในการจัดแบ่งชิ้นสังกะสีในแผ่นสังกะสีที่จะให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่า N_{Act} กับ N_t

มีค่าน้อยที่สุด หรือ เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \qquad (2.18)$$

1.3 <u>สำหรับจำนวนจุดต่อ 4 จุด</u> (4 Joints) ใช้สำหรับกรณีของท่อลมขนาดใหญ่ซึ่งสอดคล้องตามสมการ $W_n + D_n + S_1 + S_2 \geq 48"$ แสดงรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งจุดต่อ 4 จุด

กำหนดให้ $X_n = W_n + S_1 + S_2$, $Y_n = D_n + S_1 + S_2$

$$Z_{nx} = L_{nx} + 2P_{nx}S_3 \text{ , } Z_{ny} = L_{ny} + 2P_{ny}S_3 \qquad (2.22)$$

คำนวณหาขนาดพื้นที่ทางอินตภาพของท่อลมแต่ละขนาด (A_n) มารวมเป็นพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำความยาวเส้นรอบรูปของท่อลม (X_n) คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (Z_{nt}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน ดังนี้

$$2(X_1 + Y_1)Z_{1t} = A_1 \text{ , } 2(X_2 + Y_2)Z_{2t} = A_2 \text{ , ... , } 2(X_n + Y_n)Z_{nt} = A_n \qquad (2.23)$$

$$2[(X_1 + Y_1)Z_{1t} + (X_2 + Y_2)Z_{2t} + ... + (X_n + Y_n)Z_{nt}] = A_t \text{ : } A_t = A_1 + A_2 + ... + A_n$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพ (N_t) ทั้งหมดที่ใช้ในท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4808 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_t}{4608} = N_t \qquad (2.15)$$

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ :

$$P_{1x} X_1 + P_{1y} Y_1 + P_{2x} X_2 + P_{2y} Y_2 + \ldots\ldots + P_{nx} X_n + P_{ny} Y_n \rightarrow 96" \qquad (2.24)$$

สมการเงื่อนไขบังคับ :

$$\sum_{i=1}^{n} [X_i Z_{ixA} + Y_i Z_{iyA}] \leq 4608 \qquad (2.7)$$

$$48P_{1x} = Z_{1xA} \ , \ 48P_{1y} = Z_{1yA} \ , \ \ldots\ldots \ , \ 48P_{nx} = Z_{nxA} \ , \ 48P_{ny} = Z_{nyA}$$

$$L_{1xA} = 48P_{1x} - 2P_{1x} S_a \ , \ L_{1yA} = 48P_{1y} - 2P_{1y} S_a \ , \ \ldots\ldots \ ,$$

$$L_{nxA} = 48P_{nx} - 2P_{nx} S_a \ , \ L_{nyA} = 48P_{ny} - 2P_{ny} S_a \qquad (2.25)$$

$$2m_{1x} L_{1xA} = 2m_{1y} L_{1yA} = L_{1tA} \geq L_{1t}$$

$$2m_{2x} L_{2xA} = 2m_{2y} L_{2yA} = L_{2tA} \geq L_{2t} \qquad (2.12)$$

$$\vdots$$

$$2m_{nx} L_{nxA} = 2m_{ny} L_{nyA} = L_{ntA} \geq L_{nt}$$

หาขนาดพื้นที่ที่ได้จริงของท่อลมแต่ละขนาด นำมารวมเป็นพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ 1 ขนาดท่อลม (m_n) คูณกับความยาวเส้นรอบรูป (X_n) และ คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน เปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ทางอินตภาพ (A_t) ดังนี้

$$2[m_{1x} Z_{1xA} X_1 + m_{1y} Z_{1yA} Y_1 + m_{2x} Z_{2xA} X_2 + m_{2y} Z_{2yA} Y_2 + ..$$
$$+ m_{nx} Z_{nxA} X_n + m_{ny} Z_{nyA} Y_n] = A_{Act} \rightarrow A_t \qquad (2.26)$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้จริง (N_{Act}) ในระบบท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4608 ตารางนิ้ว ดังนี้

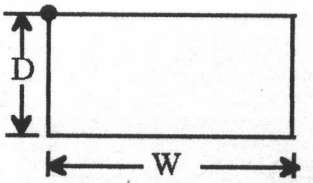
$$\frac{A_{ACT}}{4608} = N_{Act} \qquad (2.17)$$

นำค่า N_{Act} ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพทั้งหมด (N_t) โดยมีเป้าหมายหลักในการจัดแบ่งชิ้นสังกะสีในแผ่นสังกะสีที่จะให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่า N_{Act} กับ N_t มีค่าน้อยที่สุด หรือ เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \qquad (2.18)$$

2. <u>กรณีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) ที่มีค่าเข้าใกล้ด้าน 48"</u>

2.1 <u>สำหรับจำนวนจุดต่อ 1 จุด</u> (1 Joint) ใช้สำหรับกรณีของท่อลมขนาดเล็กซึ่งสอดคล้องตามสมการ $2(W_n + D_n) + S_1 + S_2 \leq 48"$ แสดงรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งจุดต่อ 1 จุด

กำหนดให้ $X_n = 2(W_n + D_n) + S_1 + S_2$, $Z_n = L_n + 2P_nS_3$ (2.13)

คำนวณหาขนาดพื้นที่ทางอินตภาพของท่อลมแต่ละขนาด (A_n) มารวมเป็นพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำความยาวเส้นรอบรูปของท่อลม (X_n) คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (Z_{nt}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน ดังนี้

$$X_1Z_{1t} = A_1 \text{ , } X_2Z_{2t} = A_2 \text{ , ... , } X_nZ_{nt} = A_n$$

$$X_1Z_{1t} + X_2Z_{2t} + \text{.....} + X_nZ_{nt} = A_t \quad ; A_t = A_1 + A_2 + \text{.....} + A_n \qquad (2.14)$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพ (N_t) ทั้งหมดที่ใช้ในท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4808 ตารางนิ้ว ดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

$$\frac{A_t}{4608} = N_t \qquad (2.15)$$

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ :

$$P_1X_1 + P_2X_2 + \ldots\ldots + P_nX_n \rightarrow 48" \qquad (2.5)$$

สมการเงื่อนไขบังคับ :

$$\sum_{i=1}^{n} X_iZ_{iA} \leq 4608 \qquad (2.6)$$

$$96P_1 = Z_{1A}\ ,\ 96P_2 = Z_{2A}\ ,\ \ldots\ldots\ ,\ 96P_n = Z_{nA}$$

$$L_{1A} = 96P_1 - 2P_1S_3\ ,\ L_{2A} = 96P_2 - 2P_2S_3\ ,\ \ldots\ldots\ ,\ L_{nA} = 96P_n - 2P_nS_3 \qquad (2.9)$$

$$\begin{aligned} m_1L_1 &= L_{1tA} \geq L_{1t} \\ m_2L_2 &= L_{2tA} \geq L_{2t} \\ &\vdots \\ m_nL_n &= L_{ntA} \geq L_{nt} \end{aligned} \qquad (2.10)$$

หาขนาดพื้นที่ที่ได้จริงของท่อลมแต่ละขนาด นำมารวมเป็นพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ 1 ขนาดท่อลม (m_n) คูณกับความยาวเส้นรอบรูป (X_n) และ คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน เปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ทางอินดภาพ (A_t) ดังนี้

$$m_1Z_{1A}X_1 + m_2Z_{2A}X_2 + \ldots\ldots + m_nZ_{nA}X_n = A_{Act} \rightarrow A_t \qquad (2.16)$$

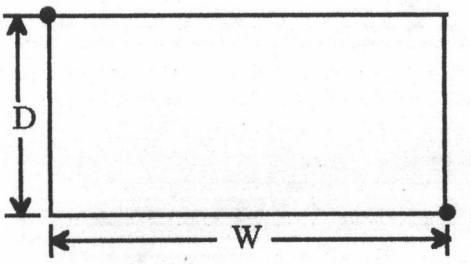
คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้จริง (N_{Act}) ในระบบท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4608 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_{ACT}}{4608} = N_{Act} \qquad (2.17)$$

นำค่า N_{Act} ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพทั้งหมด (N_t) โดยมีเป้าหมายหลักในการจัดแบ่งชิ้นสังกะสีในแผ่นสังกะสีที่จะให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่า N_{Act} กับ N_t มีค่าน้อยที่สุด หรือ เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \qquad (2.18)$$

2.2 <u>สำหรับจำนวนฤดต่อ 2 ฤด</u> (2 Joints) ใช้สำหรับกรณีของท่อลมขนาดกลางซึ่งสอดคล้องตามสมการ $W_n + D_n + S_1 + S_2 \leq 48"$ แสดงรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งฤดต่อ 2 ฤด

กำหนดให้ $X_n = W_n + D_n + S_1 + S_2$, $Z_n = L_n + 2P_n S_3$ (2.19)

คำนวณหาขนาดพื้นที่ทางอินตภาพของท่อลมแต่ละขนาด (A_n) มารวมเป็นพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) ของท่อลมที่มีจำนวนฤดต่อ 2 ฤด โดยนำความยาวเส้นรอบรูปของท่อลม (X_n) คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (Z_{nt}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน ดังนี้

$$2X_1 Z_{1t} = A_1 \ , \ 2X_2 Z_{2t} = A_2 \ , \ \ldots\ldots \ , \ 2X_n Z_{nt} = A_n$$

$$2[\, X_1 Z_{1t} + X_2 Z_{2t} + \ldots\ldots + X_n Z_{nt} \,] = A_t \ ; \ A_t = A_1 + A_2 + \ldots\ldots + A_n \qquad (2.20)$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพ (N_t) ทั้งหมดที่ใช้ในท่อลมที่มีจำนวนฤดต่อ 2 ฤด โดยนำพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4808 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_t}{4608} = N_t \qquad (2.15)$$

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ :

$$P_1 X_1 + P_2 X_2 + \ldots\ldots + P_n X_n \rightarrow 48" \qquad (2.5)$$

สมการเงื่อนไขบังคับ :

$$\sum_{i=1}^{n} X_i Z_{iA} \leq 4608 \qquad (2.6)$$

$$96P_1 = Z_{1A} \ , \ 96P_2 = Z_{2A} \ , \ \ldots\ldots \ , 96P_n = Z_{nA}$$

$$L_{1A} = 96P_1 - 2P_1 S_3 \ , \ L_{2A} = 96P_2 - 2P_2 S_3 \ , \ \ldots\ldots \ , \ L_{nA} = 96P_n - 2P_n S_3 \qquad (2.9)$$

$$2m_1 L_{1A} = L_{1tA} \geq L_{1t}$$
$$2m_2 L_{2A} = L_{2tA} \geq L_{2t}$$
$$\vdots \qquad (2.11)$$
$$2m_n L_{nA} = L_{ntA} \geq L_{nt}$$

หาขนาดพื้นที่ที่ได้จริงของท่อลมแต่ละขนาด นำมารวมเป็นพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด โดยนำจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ 1 ขนาดท่อลม (m_n) คูณกับความยาวเส้นรอบรูป (X_n) และ คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน เปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ทางอินตภาพ (A_t) ดังนี้

$$2[\ m_1 Z_{1A} X_1 + m_2 Z_{2A} X_2 + \ldots\ldots + m_n Z_{nA} X_n\ ] = A_{Act} \rightarrow A_t \qquad (2.21)$$

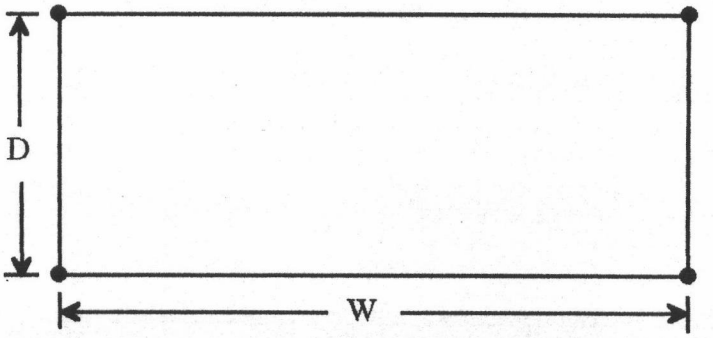
คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้จริง (N_{Act}) ในระบบท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4608 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_{ACT}}{4608} = N_{Act} \qquad (2.17)$$

นำค่า N_{Act} ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพทั้งหมด (N_t) โดยมีเป้าหมายหลักในการจัดแบ่งชิ้นสังกะสีในแผ่นสังกะสีที่จะให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่า N_{Act} กับ N_t มีค่าน้อยที่สุด หรือ เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \qquad (2.18)$$

2.3 <u>สำหรับจำนวนจุดต่อ 4 จุด</u> (4 Joints) ใช้สำหรับกรณีของท่อลมขนาดใหญ่ซึ่งสอดคล้องตามสมการ $W_n + D_n + S_1 + S_2 \geq 48"$ แสดงรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 2.11 ตำแหน่งจุดต่อ 4 จุด

กำหนดให้ $X_n = W_n + S_1 + S_2$, $Y_n = D_n + S_1 + S_2$

$$Z_{nx} = L_{nx} + 2P_{nx}S_3 \text{ , } Z_{ny} = L_{ny} + 2P_{ny}S_3 \qquad (2.22)$$

คำนวณหาขนาดพื้นที่ทางอินตภาพของท่อลมแต่ละขนาด (A_n) มารวมเป็นพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำความยาวเส้นรอบรูปของท่อลม (X_n) คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (Z_{nt}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน ดังนี้

$$2(X_1 + Y_1)Z_{1t} = A_1 \text{ , } 2(X_2 + Y_2)Z_{2t} = A_2 \text{ , ... , } 2(X_n + Y_n)Z_{nt} = A_n \qquad (2.23)$$

$$2[(X_1 + Y_1)Z_{1t} + (X_2 + Y_2)Z_{2t} + ... + (X_n + Y_n)Z_{nt}] = A_t \text{ ; } A_t = A_1 + A_2 + ... + A_n$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพ (N_t) ทั้งหมดที่ใช้ในท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำพื้นที่ทางอินตภาพทั้งหมด (A_t) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4808 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_t}{4608} = N_t \qquad (2.15)$$

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ :

$$P_{1x} X_1 + P_{1y} Y_1 + P_{2x} X_2 + P_{2y} Y_2 + \ldots\ldots + P_{nx} X_n + P_{ny} Y_n \quad \rightarrow \quad \text{MIN} \qquad (2.24)$$

สมการเงื่อนไขบังคับ :

$$\sum_{i=1}^{n} [X_i Z_{ixA} + Y_i Z_{iyA}] \leq 4608 \qquad (2.7)$$

$$98P_{1x} = Z_{1xA} \ , \ 98P_{1y} = Z_{1yA} \ , \ \ldots\ldots \ , \ 98P_{nx} = Z_{nxA} \ , \ 98P_{ny} = Z_{nyA}$$

$$L_{1xA} = 98P_{1x} - 2P_{1x} S_g \ , \ L_{1yA} = 98P_{1y} - 2P_{1y} S_g \ , \ \ldots\ldots \ ,$$

$$L_{nxA} = 98P_{nx} - 2P_{nx} S_g \ , \ L_{nyA} = 98P_{ny} - 2P_{ny} S_g \qquad (2.25)$$

$$2m_{1x} L_{1xA} = 2m_{1y} L_{1yA} = L_{1tA} \geq L_{1t}$$

$$2m_{2x} L_{2xA} = 2m_{2y} L_{2yA} = L_{2tA} \geq L_{2t}$$

.

. (2.12)

$$2m_{nx} L_{nxA} = 2m_{ny} L_{nyA} = L_{ntA} \geq L_{nt}$$

หาขนาดพื้นที่ที่ได้จริงของท่อลมแต่ละขนาด นำมารวมเป็นพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ 1 ขนาดท่อลม (m_n) คูณกับความยาวเส้นรอบรูป (X_n) และ คูณกับความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) และ นำผลที่ได้ในแต่ละขนาดท่อลมมารวมกัน เปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ทางอินตภาพ (A_t) ดังนี้

$$2[m_{1x} Z_{1xA} X_1 + m_{1y} Z_{1yA} Y_1 + m_{2x} Z_{2xA} X_2 + m_{2y} Z_{2yA} Y_2 + \ldots$$
$$+ m_{nx} Z_{nxA} X_n + m_{ny} Z_{nyA} Y_n] = A_{Act} \rightarrow A_t \qquad (2.26)$$

คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้จริง (N_{Act}) ในระบบท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยขนาดของแผ่นสังกะสีที่ใช้ คือ 4608 ตารางนิ้ว ดังนี้

$$\frac{A_{ACT}}{4608} = N_{Act} \qquad (2.17)$$

นำค่า N_{Act} ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพทั้งหมด (N_t) โดยมีเป้าหมายหลักในการจัดแบ่งชิ้นสังกะสีในแผ่นสังกะสีที่จะให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่า N_{Act} กับ N_t มีค่าน้อยที่สุด หรือ เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \qquad (2.18)$$

3. <u>วิธีการคำนวณ</u>

จากสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Functions) และ เงื่อนไขบังคับต่าง ๆ (Constrain Function) ในกรณีย่อยทั้ง 6 กรณีที่กล่าวมาแล้ว เราสามารถนำมารวมกันเหลือเพียง 2 สมการหลัก เพื่อใช้ในการคำนวณหารูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมที่สุด ดังมีรายละเอียด ดังนี้

จากสมการ (2.13), (2.19) และ (2.22) ซึ่งเป็นสมการสำหรับวัตถุต่อแต่ละกรณี

1 Joint : $X_{1n} = 2(W_{1n} + D_{1n}) + S_1 + S_2$, $Z_{1n} = L_{1n} + 2P_{1n}S_3$ (2.13)

2 Joints : $X_{2n} = W_{2n} + D_{2n} + S_1 + S_2$, $Z_{2n} = L_{2n} + 2P_{2n}S_3$ (2.19)

4 Joints : $X_{4n} = W_{4n} + S_1 + S_2$, $Y_{4n} = D_{4n} + S_1 + S_2$,

$Z_{4nx} = L_{4nx} + 2P_{4nx}S_3$, $Z_{4ny} = L_{4ny} + 2P_{4ny}S_3$ (2.22)

โดย ตัวห้อยตัวแรก หมายถึง จำนวนวัตถุต่อ 1, 2 หรือ 4 วัตถุ

3.1 <u>การหาพื้นที่ของระบบท่อลมทั้งหมดทางอินตภาพ</u> (A_t) คำนวณโดยนำพื้นที่บองท่อลมทั้งหมดที่มีจำนวนวัตถุต่อ 1 ,2 และ 4 มารวมกัน และคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพ (N_t) โดยนำพื้นที่ทางอินตภาพ (A_t) หารด้วยพื้นที่บองแผ่นสังกะสี 1 แผ่น (4608 ตารางนิ้ว) แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{n} X_{1i} Z_{1it} + 2\sum_{i=1}^{n} X_{2i} Z_{2it} + 2\sum_{i=1}^{n} [X_{4i} + Y_{4i}] Z_{4it} = A_t \qquad (2.27)$$

$$\frac{A_t}{4608} = N_t \qquad (2.15)$$

3.2 <u>คำนวณหาสมการฟังก์ชั่นอุดประสงค์</u> (Objective Functions) โดยรวมสมการฟังก์ชั่นอุดประสงค์ (Objective Functions) ทั้ง 8 กรณีเข้าด้วยกัน ในกรณีนี้มีความจำเป็นที่จะต้องลำดับความยาวเส้นรอบรูป (X_n, Y_n) ของชิ้นสังกะสี (P) เพื่อใช้เป็นลำดับในการคำนวณโดยใช้ตัวห้อย k ในการกำหนดลำดับ สามารถแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P_{11k} X_{11} + P_{12k} X_{12} +...+ P_{1nk} X_{1n} + P_{21k} X_{21} + P_{22k} X_{22} +...+ P_{2nk} X_{2n}$$
$$+ P_{41xk} X_{41} + P_{41yk} Y_{41} + P_{42xk} X_{42} + P_{42yk} Y_{42} +...+ P_{4nxk} X_{4n} + P_{4nyk} Y_{4n} \rightarrow 96" \quad (2.28)$$

$$P_{11k} X_{11} + P_{12k} X_{12} +...+ P_{1nk} X_{1n} + P_{21k} X_{21} + P_{22k} X_{22} +...+ P_{2nk} X_{2n}$$
$$+ P_{41xk} X_{41} + P_{41yk} Y_{41} + P_{42xk} X_{42} + P_{42yk} Y_{42} +...+ P_{4nxk} X_{4n} + P_{4nyk} Y_{4n} \rightarrow 48" \quad (2.29)$$

3.3 <u>การหาเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ</u> (Constrain Functions) โดยรวมเงื่อนไขบังคับทั้ง 8 สมการเข้าด้วยกัน ในกรณีนี้มีความจำเป็นในการนับลำดับค่า Z , L และ P เพื่อใช้เป็นลำดับในการคำนวณ โดยใช้ตัวห้อย k ในการกำหนดลำดับนั้น สามารถแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{n} X_{1i} Z_{1ikA} + \sum_{i=1}^{n} X_{2i} Z_{2ikA} + \sum_{i=1}^{n} [X_{4i} Z_{4ixkA} + Y_{4i} Z_{4iykA}] \leq 4608 \quad (2.30)$$

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นอุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 96"

$$48P_{1nk} = Z_{1nkA} \ , \ 48P_{2nk} = Z_{2nkA} \ , \ 48P_{4nxk} = Z_{4nxkA} \ , \ 48P_{4nyk} = Z_{4nykA}$$
$$L_{1nkA} = 48P_{1nk} - 2P_{1nk} S_3 \ , \ L_{2nkA} = 48P_{2nk} - 2P_{2nk} S_3 \ ,$$
$$L_{4nxkA} = 48P_{4nxk} - 2P_{4nxk} S_3 \ , \ L_{4nykA} = 48P_{4nyk} - 2P_{4nyk} S_3 \quad (2.31)$$

$$\sum_{j=1}^{k} m_{1nj} L_{1njA} = L_{1ntA} \geq L_{1nt} \ , \ 2\sum_{j=1}^{k} m_{2nj} L_{2njA} = L_{2ntA} \geq L_{2nt} \ ,$$

$$2\sum_{j=1}^{k} m_{4nxj} L_{4nxjA} = 2\sum_{j=1}^{k} m_{4nyj} L_{4nyjA} = L_{4ntA} \geq L_{4nt} \quad (2.32)$$

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นอุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 48"

$$96P_{1nk} = Z_{1nkA} \ , \ 96P_{2nk} = Z_{2nkA} \ , \ 96P_{4nxk} = Z_{4nx\,kA} \ , \ 96P_{4nyk} = Z_{4nykA}$$

$$L_{1nkA} = 96P_{1nk} - 2P_{1nk}S_g \ , \ L_{2nkA} = 96P_{2nk} - 2P_{2nk}S_g \ ,$$

$$L_{4nxkA} = 96P_{4nxk} - 2P_{4nxk}S_g \ , \ L_{4nykA} = 96P_{4nyk} - 2P_{4ny\,k}S_g \qquad (2.33)$$

$$\sum_{j=1}^{k} m_{1nj} L_{1njA} = L_{1ntA} \geq L_{1nt} \ , \ 2\sum_{j=1}^{k} m_{2nj} L_{2njA} = L_{2ntA} \geq L_{2nt} \ ,$$

$$2\sum_{j=1}^{k} m_{4nxj} L_{4nxjA} = 2\sum_{j=1}^{k} m_{4nyj} L_{4nyjA} = L_{4ntA} \geq L_{4nt} \qquad (2.34)$$

3.4 <u>คำนวณหาขนาดพื้นที่ของท่อลมที่ได้จริง</u> (A_{Act}) คำนวณโดยนำพื้นที่ของท่อลมทั้งหมดที่มีจำนวนจุดต่อ 1 , 2 และ 4 มารวมกัน หรือ คำนวณจากจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ในแต่ละลำดับของค่า k และคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริง (N_{Act}) โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยพื้นที่ของแผ่นสังกะสี 1 แผ่น (96" × 48" = 4608 in^2) และ ทำการเปรียบเทียบค่า N_{Act} และ N_t ให้มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

กรณี $L_{ntA} \geq L_{nt}$:

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 96"

$$4608[(\sum_{j=1}^{k} m_j) - 1] + 48 \times \text{Length used}_{\text{last plate}} = A_{Act} \qquad (2.35)$$

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 48"

$$4608[(\sum_{j=1}^{k} m_j) - 1] + 96 \times \text{Length used}_{\text{last plate}} = A_{Act} \qquad (2.36)$$

กรณี $L_{ntA} > L_{nt}$:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} m_{1ij} Z_{1ijA} X_{1i} + 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} m_{2ij} Z_{2ijA} X_{2i} + 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} [m_{4ixj} Z_{4ixjA} X_{4i} + m_{4iyj} Z_{4iyjA} Y_{4i}] = A_{Act} \rightarrow A_t$$

(2.37)

$$\frac{A_{ACT}}{4608} = N_{Act} \qquad (2.17)$$

จากค่า N_{Act} และ N_t ที่ได้ ถ้าผลต่างของค่าทั้ง 2 ยังมีค่ามาก การคำนวณจะย้อนกลับไปเพื่อหาวิธีการจัดวางรูปแบบใหม่เพื่อทำให้ผลต่างระหว่างค่าทั้งสองมีค่าน้อยที่สุด หรือ เป็นตามสมการ

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \qquad (2.18)$$

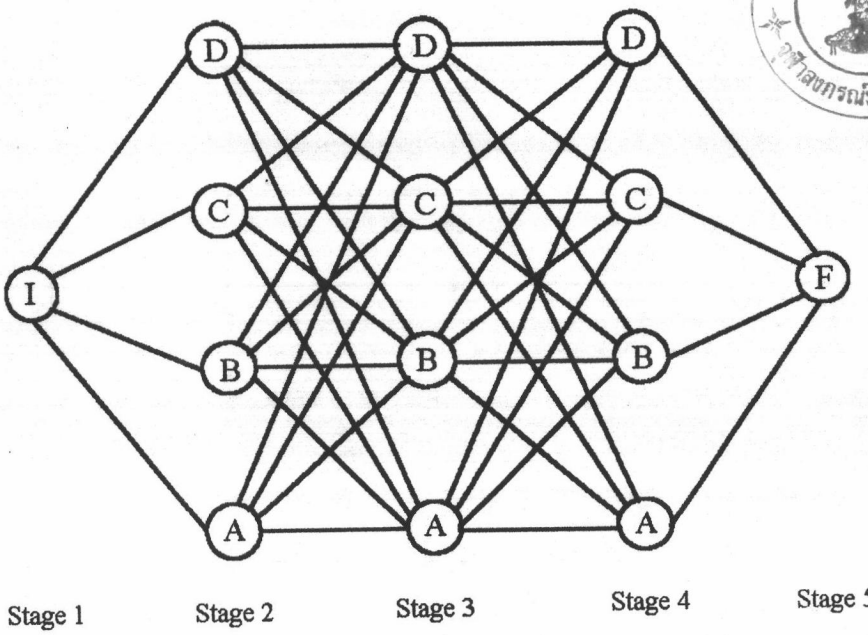
<u>วิธีการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method)</u>

เนื่องจากเป้าหมายหลักในการคำนวณอยู่ที่ความพยายามในการจัดวางรูปแบบแผ่นคลี่ลงบนแผ่นสังกะสี เพื่อให้ได้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงมีค่าเข้าใกล้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ในทางอินตภาพให้มากที่สุด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method) มาเป็นเครื่องมือในการคำนวณ วิธีการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method) ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี อาทิเช่น Geometric Programming , Linear Programming , Dynamic Programming Lagrange Multipliers , Search Method เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีลักษณะเด่นแตกต่างกันออกไป โดยหลักเกณฑ์ในการเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นกับลักษณะรูปแบบของสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) และ เงื่อนไขบังคับต่าง ๆ (Constrain Functions) เป็นตัวกำหนด เช่น Lagrange Multipliers เหมาะสมกับลักษณะสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) ที่เป็นสมการทางแคลคูลัสในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Function) และ สมการเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ เป็นสมการเงื่อนไขบังคับแบบเท่ากัน (Equality Constrain Functions) เป็นต้น.

ในการหาวิธี Optimization เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมของแผ่นคลี่สำหรับการทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม เราจะพิจารณาถึงสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (2.28) และ (2.29) เป็นสมการผลรวมของความยาวเส้นรอบรูปของชิ้นส่วนท่อลม ซึ่งการดำเนินการเพื่อให้สมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (2.28) และ (2.29) มีค่าเข้าใกล้ 96"และ 48"ตามลำดับ กระทำโดยการนำความยาวเส้นรอบรูปของชิ้นส่วนขนาดท่อลมในระบบมาแทนลงในสมการและแทนค่าจำนวนชิ้นสังกะสี (P) ต่อ 1 แผ่นสังกะสีของแต่ละขนาดท่อลมลงไปตามลำดับค่า k และได้รูปแบบชิ้นสังกะสีที่ทำให้สมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

(2.28) หรือ (2.29) เข้าใกล้ค่า 98" หรือ 48" มากที่สุดจึงดำเนินการลักษณะเดียวกันในค่า k ลำดับต่อไป เมื่อสามารถคำนวณหารูปแบบชิ้นสังกะสีที่เหมาะสมในทุกลำดับค่า k การดำเนินการขั้นต่อไปคือ การนำรูปแบบชิ้นสังกะสีที่เหมาะสมในแต่ละค่า k มาเลือกลำดับการคำนวณซึ่งลำดับการคำนวณที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์ของรูปแบบแผ่นคลี่ที่ต่างกัน การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดจะพิจารณาจากจำนวนแผ่นสังกะสีที่น้อยที่สุดเป็นหลัก

จากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น แสดงถึงลักษณะการดำเนินการในรูปแบบที่มีเส้นทางให้เลือกหลายเส้นทาง และการดำเนินการในการคำนวณมีลักษณะเป็นลำดับขั้นตอน ดังนั้นวิธีการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method) ที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินการ คือ วิธี Dynamic Programming เพราะลักษณะเด่นของวิธีนี้ เหมาะสำหรับสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่มีกระบวนการคำนวณเป็นลำดับขั้นตอนตามเส้นทางเลือกต่าง ๆ และ เลือกเส้นทางที่เหมาะสมมากที่สุด รวมทั้งลักษณะของสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function) และ สมการเงื่อนไขบังคับ (Constrain Function) อยู่ในรูปแบบที่เอื้ออำนวยต่อการดำเนินวิธี Dynamic Programming ซึ่งรูปแบบและลักษณะของวิธีดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของไดอะแกรมการดำเนินการ ดังนี้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างไดอะแกรมการดำเนินการของวิธี Dynamic Programming

จากรูป 2.12 โครงสร้างของระบบที่ต้องการคำนวณด้วยวิธี Dynamic Programming จะมีลักษณะเป็นขั้นตอน (Stage 1, 2, 3, 4, 5) และในแต่ละขั้นตอนจะแบ่งออกเป็นลำดับ (A, B, C, D) เพื่อใช้เป็นเส้นทางเลือก ซึ่งเส้นทางเลือกจากลำดับต่าง ๆ ในขั้นตอนหนึ่งไปยังลำดับต่าง ๆ ในขั้นตอนถัดไปจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีเส้นทางเลือกได้หลายเส้นทาง จำนวนเส้นทางที่สามารถเลือกได้จะถูกกำหนดโดยสมการเงื่อนไขบังคับในแต่ละขั้นตอน หรือโดยสมการเงื่อนไขบังคับของระบบ โดยเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด คือ เส้นทางซึ่งสอดคล้องตามสมการเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ และทำให้เกิดผลลัพธ์ที่เหมาะสม ซึ่งสามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ของระบบหรือปัญหาดังกล่าว