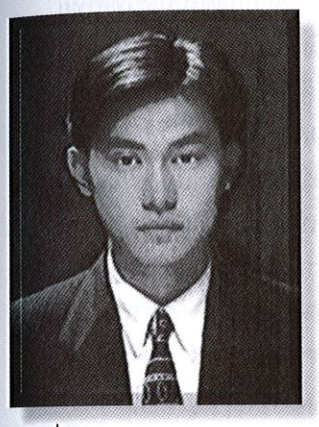


เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์
กิตติ ลีลาวณิชไชย

การหารูปแบบที่เหมาะสม ของแผ่นคลี่สังกะสี สำหรับการทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม

Optimization Layout of Galvanized Sheet Metal Developments for Rectangular Duct Construction

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาขั้นตอนการคำนวณเพื่อสร้างรูปแบบที่เหมาะสมของแผ่นคลี่สังกะสีในการขึ้นรูปท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมบนแผ่นสังกะสีขนาดมาตรฐานที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ ขนาด 8 ฟุต x 4 ฟุต พร้อมสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการคำนวณและวางรูปแบบ โดยโปรแกรมจะนำขนาดของท่อลมทั้งหมดในระบบท่อลมตามที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเข้ามา เพื่อประมวลผลหารูปแบบแผ่นคลี่ท่อลมที่ทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้และปริมาณเศษสังกะสีที่เหลือจากการขึ้นรูปมีค่าน้อยที่สุด พร้อมทั้งแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปการจัดวางแผ่นคลี่บนแผ่นสังกะสีเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ในการนำไปตัดแผ่นสังกะสีมาตราฐานตามรูปแบบแผ่นคลี่ดังกล่าว

การคำนวณอาศัยข้อมูลและมาตราฐานต่างๆ ในการทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมของ SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) ซึ่งเป็นมาตรฐานการขึ้นรูปท่อลมที่ทั่วโลกยอมรับ รวมทั้งได้เพิ่มส่วนของการคำนวณที่สอดคล้องกับลักษณะการดำเนินการขึ้นรูปท่อลมในประเทศที่ใช้ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางโปรแกรมที่สร้างขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบและประเมินผลกับการใช้งานจริง ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ โดยในบางกรณีสามารถลดจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้โดยรวมได้ถึง 35%

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศวกร
บริษัท อีอีซี จำกัด

ABSTRACT

In this research a method to calculate an optimum layout for galvanized sheet metal developments for rectangular duct construction was developed. The method was based on the standard size 8 ft x 4 ft of galvanized sheet metal that commonly used in Thailand. A computer program was developed to ease the calculation. Duct data prepared by the user is used as input data to the program. This data is then evaluated to find the optimum developments which is indicated by the minimum number of galvanized sheet metal sheets used and minimum residues. Results are presented in graphic mode. This program will facilitate users in drawing galvanized sheet metal developments.

All the information and standards for rectangular duct construction used in this program are derived from SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) standard which is worldwide accepted. The program also includes present local duct construction method to enable users for widely use of the program. The program developed was tested and the result is satisfy. In some cases the program could help reducing the overall number of galvanized sheet metal sheets up to 35%.

1. บทนำ

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันจะมีอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย อาทิเช่น ชุดเครื่องทำความเย็น, ปั๊มน้ำเย็น, เครื่องเป่าลมเย็น, ระบบท่อน้ำเย็น, อุปกรณ์ควบคุมระบบท่อเย็น, ท่อส่งลม และ อุปกรณ์ควบคุมระบบท่อส่งลม เป็นต้น สำหรับระบบการปรับภาวะอากาศในพื้นที่ขนาดใหญ่มักจะมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ ระบบท่อส่งลมเพื่อให้การกระจายของลมเย็นเป็นไปอย่างทั่วถึง การหาขนาดท่อลมของวิศวกรผู้ออกแบบสามารถคำนวณโดยวิธีการต่างๆ กัน อาทิเช่น วิธีความเสียดทานเท่ากัน (Equal Friction Method), วิธีความดันสถิตได้คืน (Static Regain Method) และวิธีความเร็วคงที่ (Constant Velocity Method) เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีที่ใช้ในการออกแบบจะได้ขนาดของท่อลมที่ไม่เท่ากัน โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้ตัดสินใจเลือกวิธีการออกแบบท่อลมที่เหมาะสมกับจุดประสงค์การใช้งานของการปรับภาวะอากาศในบริเวณนั้นๆ ดังนั้น ระบบท่อลมจึงนับเป็นระบบหนึ่งที่มีความสำคัญมากในระบบปรับอากาศ

ในปัจจุบันนี้วัสดุที่นิยมใช้สร้างท่อลม คือ แผ่นสังกะสี ซึ่งวัสดุชนิดนี้มีความเหมาะสมทั้งในด้านความคงตัวของรูปร่างที่สามารถทนต่อแรงดันลมภายในท่อลม, ความสะดวกในการตัดและขึ้นรูปท่อลมได้ตามความต้องการ, ความเรียบของพื้นผิว ตลอดจนราคาที่เหมาะสม เพราะเป็นวัตถุดิบซึ่งหาได้ง่าย แผ่นสังกะสีขนาดมาตรฐานที่นิยมใช้ในประเทศไทยมีขนาด 8 ฟุต x 4 ฟุต และ ใช้มาตรฐานในการแบ่งความหนาของสังกะสีเป็นเบอร์สังกะสี คือ เบอร์ 26, 24, 22, 20, 18, 16 ตามมาตรฐานของ SMACNA [1] ซึ่งโดยทั่วไปแผ่นสังกะสีเบอร์เล็กจะมีความหนามากกว่าแผ่นสังกะสีเบอร์ใหญ่ หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกเบอร์สังกะสีเพื่อการขึ้นรูปท่อลม ขึ้นอยู่กับ

1. ความยาวของด้านที่กว้างที่สุดของหน้าตัดท่อลม
2. ความดันสแตกติกส์ของระบบท่อลม
3. ชนิดการพับ, การต่อ และการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement) ของท่อลม

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า แผ่นสังกะสีเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานที่สำคัญมากในการทำท่อลม และถึงแม้ว่าสังกะสีจะเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุด แต่ในการก่อสร้างระบบปรับอากาศของโครงการหนึ่งๆ วิศวกรผู้รับเหมามีความจำเป็นต้องใช้แผ่นสังกะสีเป็นจำนวนมากในการทำท่อลมและวิธีการคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะทำโดยการวัดจากแบบของระบบท่อลมและประมาณค่าเผื่อเหลือที่เกิดการสูญเสียอันเนื่องจากการตัดแผ่นสังกะสีตามประสบการณ์ที่ผ่านมา โดยมิได้มีหลักเกณฑ์ใดๆ มากำหนดให้แน่นอนลงไป รวมถึงไม่มีการเขียนแบบแผ่นคลี่ของท่อลมเพื่อใช้ประกอบในการตัดสังกะสีเพื่อขึ้นรูปทำท่อลม วิศวกรผู้รับเหมามักจะดำเนินการโดยให้ช่างตัดสังกะสีเป็นผู้รับผิดชอบ นอกจากนี้ การสร้างแผ่นคลี่เพื่อใช้ในการขึ้นรูปท่อลมในปัจจุบันมักจะอาศัยความชำนาญของช่างรับเหมาและความสะดวกรวดเร็วเป็นหลัก ผลเสียที่ตามมา คือ ปริมาณเศษสังกะสีที่เหลือจากการตัด รวมถึงจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จะเพิ่มมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านระบบท่อลมสูงขึ้น

ดังนั้น จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณหารูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของระบบท่อลม โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้จำนวนแผ่น

สังกะสีที่ใช้ และปริมาณเศษสังกะสีที่เหลือจากการตัดแผ่นสังกะสีทำท่อลมมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านระบบท่อลม รวมทั้งเป็นการสร้างหลักเกณฑ์ในการคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับลักษณะของการดำเนินการประกอบและติดตั้งระบบท่อลมในปัจจุบัน

2. ทฤษฎี

การคำนวนหารูปแบบแผ่นคลี่ท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมที่เหมาะสมเพื่อนำไปเป็นแบบในการตัดแผ่นสังกะสีเพื่อขึ้นรูปท่อลม จำเป็นจะต้องมีการสร้างสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function) และ สมการเงื่อนไขบังคับ (Constrain Functions) ซึ่งจะนำขนาดท่อลมทั้งหมดในระบบที่ใช้แผ่นสังกะสีเบอร์เดียวกันมาสร้างแผ่นคลี่บนแผ่นสังกะสีแต่ละแผ่นและรูปแบบแผ่นคลี่ที่ได้จากสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์จะต้องทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้และปริมาณเศษเหลือจากการตัดแผ่นสังกะสีมีค่าน้อยที่สุด การแก้สมการฟังก์ชั่นเพื่อการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method) แบบ Dynamic Programming ถูกนำมาใช้เนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากทางเลือกหลายๆ ทาง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงมีค่าเข้าใกล้จำนวนแผ่นสังกะสีทางจินตภาพมากที่สุด ทั้งนี้แผ่นสังกะสีทางจินตภาพ หมายถึงแผ่นสังกะสีที่นำมาใช้ได้ทั้งหมดโดยไม่มีเศษเหลือ หรือแผ่นสังกะสีที่มีขนาดอนันต์

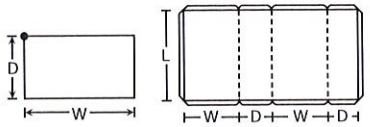
2.1 การหาสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการหาขนาดของชิ้นสังกะสี เพื่อนำมาขึ้นรูปทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดต่อ (Joints) ของหน้าตัดท่อลม ในการแบ่งจำนวนจุดต่อ (Joints) ของหน้าตัดท่อลมมีหลักเกณฑ์ ดังนี้

2.1.1 จำนวนจุดต่อ 1 จุด (1 Joint) : ใช้สำหรับท่อลมที่มีความยาวของเส้นรอบรูปของหน้าตัดท่อลมและตะเข็บข้างรวมกันไม่เกิน 48" หรือ 4 ฟุต ดังนั้นในกรณีนี้ชิ้นส่วนของสังกะสีที่นำมาเพื่อขึ้นรูปทำท่อลมมีเพียง 1 ชิ้น ต่อ 1 ช่วงความยาว จัดเป็นท่อลมขนาดเล็ก สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$2(W_n + D_n) + S_1 + S_2 \leq 48" \qquad (1)$$

โดย W_n คือ ความยาวด้านกว้างของท่อลม, D_n คือ ความยาวด้านลึกของท่อลม, S_1 และ S_2 คือ ความยาวของตะเข็บข้างทั้งสองข้างของแผ่นคลี่ท่อลม และ n คือ จำนวนขนาดท่อลม ตำแหน่งของจุดต่อของท่อลมในกรณีนี้จะอยู่ที่มุมใดมุมหนึ่งของหน้าตัดท่อลม และลักษณะแผ่นคลี่ของขนาดท่อลมจะมี 1 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว ดังรูป

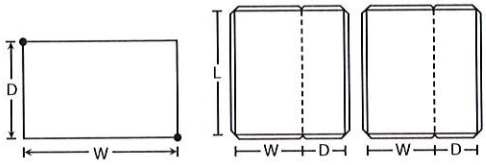


รูปที่ 2.1 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด

2.1.2 จำนวนจุดต่อ 2 จุด (2 Joints) : ใช้สำหรับท่อลมที่มีด้านกว้าง (W_n) 1 ด้าน รวมกับ ด้านลึก (D_n) 1 ด้าน และตะเข็บข้าง ยาวไม่เกิน 48" หรือ 4 ฟุต ดังนั้นในกรณีนี้ชิ้นส่วนของสังกะสีที่นำมาเพื่อขึ้นรูปทำท่อลม 1 ขนาดจะมี 2 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว จัดเป็นท่อลมขนาดกลาง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

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

ตำแหน่งของจุดต่อของท่อลมในกรณีนี้จะอยู่ที่มุมของหน้าตัดต่อท่อลมซึ่งมีลักษณะทแยงมุมกัน และลักษณะแผ่นคลี่ของขนาดท่อลมจะมี 2 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว ดังรูป

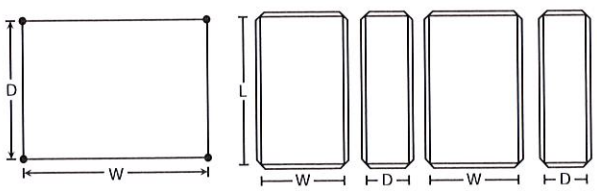


รูปที่ 2.2 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด

2.1.3 จำนวนจุดต่อ 4 จุด (4 Joints) : ใช้สำหรับท่อลมที่มีด้านกว้าง (W_n) 1 ด้าน รวมกับ ด้านลึก (D_n) 1 ด้าน และตะเข็บข้าง ยาวเกิน 48" หรือ 4 ฟุต ดังนั้น ในกรณีนี้ชิ้นส่วนของสังกะสีที่นำมาขึ้นรูปทำท่อลม 1 ขนาดจะมี 4 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว จัดเป็นท่อลมขนาดใหญ่ สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$W_n + D_n + S_1 + S_2 \geq 48" \qquad (3)$$

ตำแหน่งของจุดต่อของท่อลมในกรณีนี้จะอยู่ที่มุมทั้ง 4 มุมของหน้าตัดท่อลมและลักษณะแผ่นคลี่ของขนาดท่อลมจะมี 4 ชิ้นต่อ 1 ช่วงความยาว ดังรูป



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด

จากข้อมูลเบื้องต้นขนาดแผ่นสังกะสีมาตรฐานที่ใช้กันในประเทศไทยมีขนาด 8 ฟุต x 4 ฟุต (96"x 48") และระยะในการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement Spacing) หรือการทำจุดต่อตะเข็บปลาย (Transverse Joint) หรือจุดต่อของท่อลมแต่ละท่อนในประเทศไทย นิยมทำที่ช่วงความยาว 4 ฟุต หรือ 8 ฟุต ตามขนาดของสังกะสีที่ใช้ ดังนั้นในการคำนวณหาสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function) นอกจากจะต้องคำนึงถึงจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้และเศษสังกะสีที่เหลือให้มีค่าเข้าใกล้ค่าจินตภาพมากที่สุด ยังจำเป็นที่จะต้องรักษารูปแบบการสร้างความแข็งแรงไว้ที่ระยะ 4 ฟุต หรือ 8 ฟุต และ สอดคล้องต่อระบบการดำเนินการทำท่อลมในปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Functions) ที่เหมาะสม และสอดคล้องกับเงื่อนไขดังกล่าว คือ

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function)

ก. ในกรณีสำหรับชิ้นส่วนของขนาดท่อลมที่สามารถตัดบนแผ่นสังกะสีเบอร์เดียวกัน ที่มีค่ารวมของความกว้าง, ความลึก และ ตะเข็บข้าง คูณกับจำนวนชิ้นสังกะสีต่อหนึ่งแผ่นสังกะสีมีค่าใกล้ 96" ในกรณีนี้ระยะการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement Spacing) หรือ 1 ช่วงความยาวมีระยะเท่ากับ 4 ฟุต สามารถแสดงให้อยู่ในรูปตัวแปรทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P_1 X_1 + P_2 X_2 + \ldots\ldots + P_n X_n \rightarrow 96" \qquad (4)$$

โดย P คือ จำนวนชิ้นสังกะสีที่พร้อมขึ้นรูปท่อลม (จำนวนเต็ม) ต่อ 1 แผ่นสังกะสี, X คือ ความยาวเส้นรอบรูปของหน้าตัดท่อลม

ข. ในกรณีสำหรับชิ้นส่วนของขนาดท่อลมที่สามารถตัดบนแผ่นสังกะสีเบอร์เดียวกัน ที่มีค่ารวมของความกว้าง, ความลึก และตะเข็บข้าง คูณกับจำนวนชิ้นสังกะสีต่อหนึ่งแผ่นสังกะสีมีค่าใกล้ 48" ในกรณีนี้ระยะการสร้างความแข็งแรง (Reinforcement Spacing) หรือ 1 ช่วงความยาวมีระยะเท่ากับ 8 ฟุต สามารถแสดงให้อยู่ในรูปตัวแปรทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P_1 X_1 + P_2 X_2 + \ldots\ldots + P_n X_n \rightarrow 48" \qquad (5)$$

2.2 การหาสมการเงื่อนไขบังคับต่างๆ Constrain Functions) มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 พื้นที่ของชิ้นส่วนท่อลม ($X_n Z_{nA}$) ขนาดต่างๆ ที่นำมาจัดเรียงบนแผ่นสังกะสีแผ่นเดียวกันต้องมีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 96"x 48" = 4608 ตารางนิ้ว ดังนั้นสมการเงื่อนไขบังคับสมการที่หนึ่งเป็นดังนี้

สำหรับจำนวนจุดต่อ 1 หรือ 2 จุด (1 or 2 Joints)

$$\sum_{i=1}^{K} X_i Z_{iA} \leq 4608 \qquad (6)$$

สำหรับจำนวนจุดต่อ 4 จุด (4 Joints)

$$\sum_{i=1}^{K} [X_i X_{ixA} + Y_j Z_{iyA}] \leq 4608 \qquad (7)$$

โดย Z_{nA} คือ ความยาวรวมตะเข็บปลาย (Transverse Joint) ที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี, Y_n คือ ด้านลึก (D_n) ของหน้าตัดท่อลม (เฉพาะในกรณีจำนวนจุดต่อ 4 จุด)

2.2.2 ความยาวรวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (Z_{nA}) เป็นจำนวนเต็มซึ่งคำนวณจากจำนวนชิ้นสังกะสี (จำนวนเต็ม) ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (P) คูณกับช่วงความยาวชิ้นสังกะสี มีรายละเอียดดังนี้

สำหรับฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่มีค่าเข้าใกล้ 96"

$$48P_1 = Z_{1A},\ 48P_2 = Z_{2A},\ \ldots,\ 48P_n = Z_{nA}$$
$$L_{1A} = 48P_1 - 2P_1 S_3,\ L_{2A} = 48P_2 - 2P_2 S_3$$
$$\ldots, L_{nA} = 48P_n - 2P_n S_3 \qquad (8)$$

สำหรับฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่มีค่าเข้าใกล้ 48"

$$96P_1 = Z_{1A},\ 96P_2 = Z_{2A},\ \ldots,\ 96P_n = Z_{nA}$$
$$L_{1A} = 96P_1 - 2P_1 S_3,\ L_{2A} = 96P_2 - 2P_2 S_3$$
$$\ldots,\ L_{nA} = 96P_n - 2P_n S_3 \qquad (9)$$

โดย S_3 คือ ขนาดของตะเข็บปลาย (Transverse Joint), L_{nA} คือ ความยาวท่อลมไม่รวมตะเข็บปลายที่ได้จริงต่อ 1 แผ่นสังกะสี และ A คือ ขนาดที่ได้จริง

2.2.3 ตรวจสอบความยาวท่อลมที่ต้องการ โดยคำนวณจากจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ หนึ่งขนาดของท่อลม (m_n) คูณกับความยาวไม่รวมตะเข็บปลายที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (L_{nA}) ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความยาวไม่รวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการ (L_{nt}) ดังสมการ

สำหรับจำนวนจุดต่อ 1 จุด (1 Joint)

$$m_1 L_{1A} = L_{1tA} \geq L_{1t}$$
$$m_2 L_{2A} = L_{2tA} \geq L_{2t} \qquad (10)$$
$$\bullet$$
$$\bullet$$
$$m_n L_{nA} = L_{ntA} \geq L_{nt}$$

สำหรับจำนวนจุดต่อ 2 จุด (2 Joints)

$$2m_1 L_{1A} = L_{1tA} \geq L_{1t}$$
$$2m_2 L_{2A} = L_{2tA} \geq L_{2t}$$
$$\bullet \qquad (11)$$
$$\bullet$$
$$2m_n L_{nA} = L_{ntA} \geq L_{nt}$$

สำหรับจำนวนจุดต่อ 4 จุด (4 Joints)

$$2m_{1x} L_{1xA} = 2m_{1y} L_{1yA} \geq L_{1tA} L_{1t}$$
$$2m_{2x} L_{2xA} = 2m_{2y} L_{2yA} \geq L_{2tA} L_{2t}$$
$$\bullet \qquad (12)$$
$$\bullet$$
$$2m_{nx} L_{nxA} = 2m_{ny} L_{nyA} \geq Ln_{ntA} L_{nt}$$

โดย m คือ จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ ต่อ 1 ขนาดท่อลม, L_{nt} คือ ความยาวไม่รวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ต้องการต่อ 1 ขนาดท่อลม และ L_{ntA} คือ ความยาวไม่รวมตะเข็บปลายทั้งหมดที่ได้จริงต่อ 1 ขนาดท่อลม

2.3 การประยุกต์ใช้สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์และสมการเงื่อนไขบังคับ

สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์และสมการเงื่อนไขบังคับจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อการคำนวณหารูปแบบแผ่นคลี่ท่อลมที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้จำนวนจุดต่อ (Joints) ของหน้าตัดท่อลมเป็นตัวกำหนดค่าของตัวแปร X_n , Y_n และ Z_n โดยมีรายละเอียดดังนี้

สำหรับจำนวนจุดต่อ 1 จุด (1 Joint)

$$X_{1n} = 2(W_{1n} + D_{1n}) + S_1 + S_2 \, , \, Z_{1n} = L_{1n} + 2P_{1n} S_3 \qquad (13)$$

สำหรับจำนวนจุดต่อ 2 จุด (2 Joint)

$$X_{2n} = W_{2n} + D_{2n} + S_1 + S_2 \, , \, Z_{2n} = L_{2n} + 2P_{2n} S_3 \qquad (14)$$

สำหรับจำนวนจุดต่อ 4 จุด (4 Joint)

$$X_{4n} = W_{4n} + S_1 + S_2 \, , \, Y_{4n} = D_{4n} + S_1 + S_2 \, ,$$
$$Z_{4nx} = L_{4nx} + 2P_{4nx} S_3 \, , \, Z_{4ny} = L_{4ny} + 2P_{4ny} S_3 \qquad (15)$$

โดย ตัวห้อยตัวแรก หมายถึง จำนวนจุดต่อ 1, 2 หรือ 4 จุด

2.3.1 การหาพื้นที่ของระบบท่อลมทั้งหมดทางจินตภาพ (A_t)คำนวณโดยนำพื้นที่ของแผ่นคลี่ท่อลมทั้งหมดที่มีจำนวนจุดต่อ 1, 2 และ 4 มารวมกัน และ คำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีทางจินตภาพ (N_t) โดยนำพื้นที่ทางจินตภาพ (A_t) หารด้วยพื้นของแผ่นสังกะสี 1 แผ่น (4608 ตารางนิ้ว) แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\sum X_{1i} Z_{1it} + 2\sum X_{2i} Z_{2it} + 2\sum [X_{4i} + Y_{4i}] Z_{4it} = A_t \qquad (16)$$
$$A_t / 4608 = N_t \qquad (17)$$

2.3.2 คำนวณหาสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Functions) โดยรวมสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่มีค่าเข้าใกล้ 96" และ 48" ของจำนวนจุดต่อ 1, 2 และ 4 จุดต่อ เข้าด้วยกัน ในกรณีนี้มีความจำเป็นที่จะต้องลำดับความยาวเส้นรอบรูป (X_n , Y_n) ของชิ้นสังกะสี (P) เพื่อใช้เป็นลำดับในการคำนวณ โดยใช้ตัวห้อย k ในการกำหนดลำดับดังกล่าว สามารถแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P_{11k} X_{11} + P_{12k} X_{12} + ... + P_{1nk} X_{1n} + P_{21k} X_{21} + P_{22k} X_{22} + ... +$$
$$P_{2nk} X_{2n} + P_{41xk} X_{41} + P_{41yk} Y_{41} + P_{42xk} X_{42} + P_{42yk} Y_{42} + ... +$$
$$P_{4nxk} X_{4n} + P_{4nyk} Y_{4n} \rightarrow 96" \qquad (18)$$

$$P_{11k} X_{11} + P_{12K} X_{12} + ... + P_{1nk} X_{1n} + P_{21k} X_{21} + P_{22k} X_{22} + ... +$$
$$P_{2nk} X_{2n} + P_{41xk} X_{41} + P_{41yk} Y_{41} + P_{42xk} X_{42}$$
$$+ P_{42yk} Y_{42} + ... + P_{4nxk} X_{4n} + P_{4nyk} Y_{4n} \rightarrow 48" \qquad (19)$$

2.3.3 การหาสมการเงื่อนไขบังคับต่างๆ (Constrain Functions) โดยรวมสมการเงื่อนไขบังคับที่กล่าวไว้ข้างต้นเข้าด้วยกัน ในกรณีนี้มีความจำเป็นในการนับลำดับค่า Z, L และ P เพื่อใช้เป็นลำดับในการคำนวณ โดยใช้ตัวห้อย k ในการกำหนดลำดับนั้น สามารถแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{n} X_{1i} Z_{1ikA} + \sum_{i=1}^{n} X_{2i} Z_{2ikA} + \sum_{i=1}^{n} [X_{4i} Z_{4ixkA} + Y_{4i} Z_{4iykA}] \leq 4608 \qquad (20)$$

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 96"

$$48P_{1nk} = Z_{1nkA} \, , \, 48P_{2nk} = Z_{2nkA} \, , \, 48P_{4nxk} = Z_{4nxkA} \, , \, 48P_{4nyk} = Z_{4nykA}$$
$$L_{1nkA} = 48P_{1nk} - 2P_{1nk} S_3 \, , \, L_{2nkA} = 48P_{2nk} - 2P_{2nk} S_3 \, ,$$
$$L_{4nxkA} = 48P_{4nxk} - 2P_{4nxk} S_3 \, , \, L_{4nykA} = 48P_{4nyk} - 2P_{4nyk} S_3 \qquad (21)$$
$$\sum_{j=1}^{K} m_{1nj} L_{1njA} = L_{1ntA} \geq L_{1nt} \, , \, \sum_{j=1}^{K} 2m_{2nj} L_{2njA} = L_{2ntA} \geq L_{2nt} \, ,$$
$$\sum_{j=1}^{K} 2m_{4nxj} L_{4nxjA} = \sum_{j=1}^{K} 2m_{4nyj} L_{4nyjA} = L_{4ntA} \geq L_{4nt} \qquad (22)$$

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 48"

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

$$L_{1nkA} = 96P_{1nk} - 2P_{1nk}\,S_3\,,\ L_{2nkA} = 96P_{2nk} - 2P_{2nk}\,S_3\,,$$
$$L_{4nxkA} = 96P_{4nxk} - 2P_{4nxk}\,S_3\,,\ L_{4nykA} = 96P_{4nyk} - 2P_{4nyk}\,S_3 \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^{K} m_{1nj}\,L_{1njA} = L_{1ntA} \geq L_{1nt}\,,\ \sum_{j=1}^{K} 2m_{2nj}\,L_{2njA} = L_{2ntA} \geq L_{2nt}\,,$$
$$\sum_{j=1}^{K} 2m_{4nxj}\,L_{4nXjA} = \sum_{j=1}^{K} 2m_{4nyj}\,L_{4njA} = L_{4ntA} \geq L_{4nt} \quad (24)$$

2.3.4 คำนวณหาขนาดพื้นที่ของท่อลมที่ได้จริง (A_{Act}) คำนวณโดยนำพื้นที่ของท่อลมทั้งหมดที่มีจำนวนจุดต่อ 1, 2 และ 4 มารวมกัน หรือ คำนวณจากจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ในแต่ละลำดับของค่า k และคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริง (N_{Act}) โดยนำพื้นที่ทั้งหมดที่ได้จริง (A_{Act}) หารด้วยพื้นที่ของแผ่นสังกะสี 1 แผ่น และทำการเปรียบเทียบค่า N_{Act} และ N_t ให้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังสมการ ต่อไปนี้

กรณี $L_{ntA} \geq L_{nt}$:

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 96"

$$4608\ [(\sum_{j=1}^{K} m)_j - 1] + 48 \times (\text{length used})_{\text{last plate}} = A_{Act} \quad (25)$$

สำหรับกรณีสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์มีค่าเข้าใกล้ด้าน 48"

$$4608\ [(\sum_{j=1}^{K} m)_j - 1] + 96 \times (\text{length used})_{\text{last plate}} = A_{Act} \quad (26)$$

กรณี $L_{ntA} > L_{nt}$:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{K} m_{1ij}\,Z_{1ijA}\,X_{1i} + 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{K} m_{2ij}\,Z_{2ijA}\,X_{2i} + 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{K}[m_{4ixj}\,Z_{4ixjA}\,X_{4i} + m_{4iyj}\,Z_{4iyjA}\,Y_{4i}]\ A_{Act} \rightarrow A_t \quad (27)$$

$$A_{Act} / 4608 = N_{Act} \quad (28)$$

จากค่า N_{Act} และ N_t ที่ได้ ถ้าผลต่างของค่าทั้งสองยังมีค่ามาก การคำนวณจะย้อนกลับไปเพื่อหาวิธีการจัดวางรูปแบบใหม่เพื่อทำให้ผลต่างระหว่างค่าทั้งสองมีค่าน้อยที่สุดหรือเป็นตามสมการ

$$N_{Act} - N_t \rightarrow 0 \quad (29)$$

จากสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function) และ สมการเงื่อนไขบังคับ (Constrain Functions) ข้างต้นแสดงถึงลักษณะการดำเนินการในรูปแบบที่มีเส้นทางให้เลือกหลายเส้นทาง และ การดำเนินการในการคำนวณมีลักษณะเป็นลำดับขั้นตอน ดังนั้นวิธีการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method) ที่เหมาะสมที่สุดในการคำนวณหาหารูปแบบแผ่นคลี่ของท่อลม ที่จะทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงมีค่าเข้าใกล้จำนวนแผ่นสังกะสีทางจินตภาพมากที่สุด คือ วิธี Dynamic Programming เพราะลักษณะเด่นของวิธีนี้เหมาะสำหรับสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่มีกระบวนการคำนวณเป็นลำดับขั้นตอนตามเส้นทางเลือกต่างๆ และเลือกเส้นทางที่เหมาะสมมากที่สุด

2.4 ลักษณะการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วน คือ

2.4.1. ท่อลมตรง (Straight Duct)

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ คือ ความกว้าง (W_n), ความลึก (D_n), ความยาว (L_{nt}) ของลม สำหรับความยาวที่ใช้ป้อนข้อมูลให้โปรแกรมจะเป็นความยาวของท่อลมตรงเท่านั้น และหากผู้ใช้ต้องการความถูกต้องและแม่นยำในการคำนวณมากขึ้น ผู้ใช้ควรป้อนข้อมูลความยาวในส่วนของท่อลมที่มีขนาดหน้าตัดท่อลมเท่ากันแต่ไม่ต่อเนื่องกันในลักษณะที่แยกจากกันเพื่อให้ได้แผ่นคลี่ที่ถูกต้องตามแบบแปลนทุกประการ สำหรับการเลือกเบอร์สังกะสีในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้กำหนดหลักเกณฑ์ตามมาตรฐานของ SMACNA หรือ ผู้ใช้สามารถกำหนดหลักเกณฑ์การเลือกเบอร์สังกะสีตามหลักเกณฑ์ที่เหมาะสมของผู้ใช้รวมทั้งรูปแบบและความยาวของตะเข็บข้าง (Longituditional Seam) และตะเข็บปลาย (Transverse Seam) ได้มีการกำหนดไว้ตามมาตรฐานการขึ้นรูปทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม รูปแบบและลักษณะในการพับตะเข็บดังกล่าวผู้ใช้สามารถดูได้ทางหน้าจอภาพ เพื่อให้เข้าใจและสามารถเลือกรูปแบบให้เหมาะสมกับลักษณะของการดำเนินการระบบท่อลม

2.4.2. ข้อต่อเปลี่ยนขนาด, ข้อต่อเปลี่ยนรูป และ คอหัวจ่ายลม (Transition, Transformer and Booting)

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาดและข้อต่อเปลี่ยนรูป คือ ความกว้างของท่อลมใหญ่ (W_1), ความลึกของท่อลมใหญ่ (D_1), ความกว้างของท่อลมเล็ก (W_2) และ ความลึกของท่อลมเล็ก (D_2) รวมทั้งชนิดข้อต่อที่ต้องการในการคำนวณหาความยาวของข้อต่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่ามาตราฐานของอัตราส่วนการเปลี่ยนขนาด คือ 4 เท่าของผลต่างระหว่าง $W_1 - W_2$ หรือ $D_1 - D_2$ ซึ่งเป็นค่ามาตราฐานที่เหมาะสม และถูกต้องตามหลักการของ SMACNA สำหรับข้อมูลของคอหัวจ่ายลมที่ใช้ในการคำนวณหารูปแบบแผ่นคลี่ คือ ความยาว (L), ความกว้าง (W), ความสูง (H), รัศมี (R) และ ชนิดของคอหัวจ่ายลมที่ใช้

2.4.3. ท่อโค้งและท่อแยก (Elbow & Branch)

การคำนวณในหัวข้อนี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์มิได้แสดงรูปแบบแผ่นคลี่ท่อโค้ง และ ท่อแยกไว้เนื่องจากการติดตั้งท่อลมในส่วนของหน้างานจริง ช่างสังกะสีจะดำเนินการโดยติดตั้งท่อลมตรง, ข้อต่อเปลี่ยนขนาด และข้อต่อเปลี่ยนรูป ตามแบบของระบบท่อลม ความยาวส่วนที่เหลือจะเป็นความยาวของท่อโค้ง และท่อแยก ซึ่งช่างสังกะสีจะทำการตัดสังกะสีและขึ้นรูปท่อลมในส่วนนี้ตามลักษณะหน้างานจริง ดังนั้น ในจุดนี้จึงเป็นจุดยืดหยุ่น และจุดร่วมระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการทำงานจริงที่ต้องรักษาไว้ ซึ่งในโปรแกรมได้คำนวณจำนวนของแผ่นสังกะสีที่ใช้ในส่วนนี้ไว้อย่างพอเพียงและเหมาะสม โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ คือ ความกว้างของหน้าตัดท่อลม (W_1, W_2, W_3, W_4) และ ความลึกของหน้าตัดท่อลม (D) รวมทั้งชนิดของท่อโค้งและท่อแยก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้แสดงถึงรูปแบบต่างๆ ของท่อโค้งและท่อแยกโดยผู้ใช้สามารถเรียกดูได้ทางจอภาพเพื่อความถูกต้องในการคำนวณ

เมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลได้ครบตามต้องการ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ที่ได้ออกมาทางจอภาพ และผู้ใช้สามารถพิมพ์ผลลัพธ์ดังกล่าวออกมาทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งมาตราส่วนของแผ่นคลี่ที่ได้ต่อแผ่นคลี่จริง คือ 1 เซนติเมตร ต่อ 6 นิ้ว และในผลลัพธ์ดังกล่าวได้บอกถึงรายละเอียดต่างๆ ที่จำเป็นในการนำไปสร้างแผ่นคลี่ลงบนแผ่นสังกะสีจริง เพื่ออำนวยความสะดวกในการสร้างท่อลม

3. บทสรุป

การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการหารูปแบบแผ่นคลี่ท่อลมที่เหมาะสม เพื่อนำไปตัดบนแผ่นสังกะสีและนำไปขึ้นรูปทำท่อลม จะทำให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

1. สร้างระบบ และ หลักการที่แน่นอน ในการสร้างแผ่นคลี่ท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมให้มีประสิทธิภาพรวมทั้งเป็นที่ยอมรับ และ สอดคล้องกับการดำเนินการระบบท่อลมในปัจจุบัน

2. เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ เพื่อหารูปแบบของแผ่นคลี่ท่อลมที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้ และปริมาณเศษสังกะสีที่เหลือ ในระบบท่อลมมีค่าน้อยที่สุด

3. สามารถควบคุม และ ลดค่าใช้จ่าย รวมทั้งเวลาในการดำเนินการประกอบและติดตั้งระบบท่อลม

4. ลดปริมาณวัตถุดิบ และนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่า

5. ใช้เป็นเครื่องมือในการหาข้อสรุปในการประสานงานระหว่างผู้รับเหมา, วิศวกร และเจ้าของโครงการในการดำเนินการระบบท่อลม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปนี้สามารถใช้งานกับคอมพิวเตอร์ชนิด 16 บิท โดยทั่วไป ภายใต้ระบบควบคุมที่เรียกว่า Window ซึ่งระบบนี้สามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ได้เป็นอย่างดี ในส่วนรายละเอียดของโปรแกรมได้กำหนดข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการทำท่อลมตามมาตรฐานของ SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) แสดงไว้บนจอภาพเป็นข้อมูลเบื้องต้น หรือผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้สอดคล้อง และสะดวกในการใช้งาน ผลลัพธ์จากการคำนวณจะแสดงออกมาทางจอภาพในรูปกราฟฟิคของแผ่นคลี่ และสามารถพิมพ์ออกมาได้ทางเครื่องพิมพ์เพื่อให้เกิดความถูกต้องเพื่อให้เกิดความถูกต้อง และสะดวกในการประสานงาน

เอกสารอ้างอิง :

1. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association Inc. (SMACNA). HVAC Duct construction standards metal and flexible. 1 st ed. Vienna : 8224 Old Courthouse Rd., Tysons Corner., 1985.

2. Stoecker, W.F. Design of Thermal Systems 3rd ed., New York ; The McGraw-Hill Book Co., Inc., 1989

3. Kaberlein, J.J. Air Conditioning Metal Layout, Chicago ; The Bruce Publishing Co., 1954

4. Kernigham, B.W. & Ritchie, D.M. The C Programming Language Bell Laboratory, Murray Hill, New Jersey

5. Meyer, L.A. Sheet Metal Layout New York ; The McGraw-Hill Book Co., Inc., 1961