การหารูปแบบที่เหมาะสมของแผ่นคลี่สังกะสีสำหรับการทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม

นาย กิตติ ลีลาวณิชไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-538-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16699142

OPTIMIZATION LAYOUT OF GALVANIZED SHEET METAL DEVELOPMENTS FOR RECTANGULAR DUCT CONSTRUCTION

Mr. Kitti Leelawanitchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Education

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-539-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหารูปแบบที่เหมาะสมของแผ่นคลื่นสังกะสีสำหรับการทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม

โดย นาย กิตติ ลีลาวณิชไชย

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี องรุ่งเรือง)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กิตติ ลีลาวณิชไชย : การหารูปแบบที่เหมาะสมของแผ่นคลี่สังกะสีสำหรับการทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม (OPTIMIZATION LAYOUT OF GALVANIZED SHEET METAL DEVELOPMENTS FOR RECTANGULAR DUCT CONSTRUCTION) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์, 296 หน้า. ISBN 974-632-539-6

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาขั้นตอนการคำนวณ เพื่อสร้างรูปแบบที่เหมาะสมของแผ่นคลี่สังกะสีในการขึ้นรูปท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมบนแผ่นสังกะสีขนาดมาตราฐานที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ ขนาด 8ฟุต x 4ฟุต พร้อมสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการคำนวณและวางรูปแบบ โดยโปรแกรมจะนำขนาดของท่อลมทั้งหมดในระบบท่อลมตามที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเข้ามา เพื่อประมวลผลหารูปแบบแผ่นคลี่ท่อลมที่ทำให้จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้และปริมาณเศษสังกะสีที่เหลือจากการขึ้นรูปมีค่าน้อยที่สุด พร้อมทั้งแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปการจัดวางแผ่นคลี่บนแผ่นสังกะสี เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ในการนำไปตัดแผ่นสังกะสีมาตราฐานตามรูปแบบแผ่นคลี่ดังกล่าว

การคำนวณอาศัยข้อมูลและมาตราฐานต่าง ๆ ในการทำท่อลมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมของ SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) ซึ่งเป็นมาตราฐานการขึ้นรูปท่อลมที่ทั่วโลกยอมรับ รวมทั้งได้เพิ่มส่วนของการคำนวณที่สอดคล้องกับลักษณะการดำเนินการขึ้นรูปท่อลมในประเทศที่ใช้ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง โปรแกรมที่สร้างขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบและประเมินผลกับการใช้งานจริง ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ โดยในบางกรณีสามารถลดจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้โดยรวมได้ถึง 35%

พลเมืองดีกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

คำชี้แจงการพิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์

นิสิตต้องปฏิบัติดังนี้

1. พิมพ์บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ (เฉพาะผลการวิจัยเท่านั้น) ลงในกรอบสีเขียวด้านหลังของกระดาษแผ่นนี้เพียงแผ่นเดียวเท่านั้น (ดูตัวอย่างข้างล่าง) ถ้าพิมพ์ไม่ถูกต้องหรือพิมพ์ล้นกรอบที่กำหนดให้ บัณฑิตวิทยาลัย จะไม่รับพิจารณา
2. ถ่ายสำเนาบทคัดย่อฯ ที่พิมพ์เสร็จแล้ว ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ เรียงไว้หน้าบทคัดย่อของต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ทุกเล่ม
3. ส่งกระดาษแผ่นนี้ (ซึ่งได้พิมพ์บทคัดย่อฯ เรียบร้อยแล้ว) พร้อมด้วยสำเนาบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและอังกฤษอีกอย่างละ 2 ชุด คืนแผนกมาตรฐานการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย ในวันส่งต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ข้อแนะนำ

1. กระดาษแผ่นนี้แจกให้ครั้งเดียวเท่านั้น เพื่อป้องกันการผิดพลาดหรือชำรุด นิสิตควรทดลองพิมพ์บทคัดย่อฯ ในกระดาษขนาด A 4 ซึ่งตีกรอบเท่าตัวอย่างให้ถูกต้องก่อนพิมพ์ลงด้านหลังของกระดาษแผ่นนี้
2. ควรใช้เครื่องพิมพ์ IBM ขนาดตัวพิมพ์ภาษาไทย "ไทย 452" ตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ "COURIER 12" (ตามตัวอย่างข้างล่าง) หรือคล้ายกัน เพื่อให้ตัวพิมพ์เป็นมาตรฐานเดียวกัน
3. การพิมพ์ชื่อผู้วิจัย ชื่อเรื่องภาษาไทย-อังกฤษ ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา จำนวนหน้า การเว้นระยะ การเว้นบรรทัด ให้ดูตัวอย่างข้างล่าง (ชื่อยศให้พิมพ์ต่อท้ายชื่อสกุลของผู้วิจัย คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ",")

ตัวอย่างการพิมพ์บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย

ยุวดี คุณตะฤทธิ์ : การสร้างแบบรายงานตนเองเกี่ยวกับคุณลักษณะและการปฏิบัติงานของครูพลศึกษาในระดับมัธยมศึกษา (A CONSTRUCTION OF SELF-REPORT INVENTORY OF QAULIFICATION AND JOB PERFORMANCE OF THE PHYSICAL EDUCATION TEACHERS IN SECONDARY SCHOOLS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อนันต์ อัตชู, 120 หน้า. ISBN 974-564-159-6

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างแบบรายงานตนเองเกี่ยวกับคุณลักษณะและการปฏิบัติงานของครูพลศึกษาในระดับมัธยมศึกษา พร้อมทั้งหาปกติวิสัยเปอร์เซ็นไตล์ของแบบรายงานตนเองที่สร้างขึ้นเพื่อให้ครูพลศึกษาใช้ประเมินผลตนเอง

ผลการวิจัยพบว่า แบบรายงานตนเองที่สร้างขึ้นควรประกอบด้วยคุณลักษณะที่สำคัญ 10 ด้าน คือ 1.ด้านการสอน 2.ด้านสุขภาพทางกายและทางจิต 3.ด้านวิชาการ 4.ด้านบุคลิกภาพ 5.ด้านคุณธรรม ความประพฤติ และความมีน้ำใจนักกีฬา 6.ด้านมนุษยสัมพันธ์ 7.ด้านการอบรม ปกครอง และการเป็นผู้นำ 8.ด้านการเป็นพลเมืองดีในสังคมประชาธิปไตย 9.ด้านความเชื่อมั่นในตนเอง 10.ด้านกีฬา และความสามารถทางกีฬา

ประกอบด้วยข้อรายการต่าง ๆ 87 ข้อ โดยแบบรายงานตนเองนี้ มีความแม่นตรงตามเนื้อหามีความแม่นตรงตามสภาพความเป็นจริง โดยให้ครูพลศึกษาประเมินผลตนเอง กับหัวหน้าหมวดพลศึกษาประเมินครูพลศึกษา จำนวน 3 โรงเรียน ปรากฏว่า คะแนนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (r = .73, .78 และ .61) มีความเที่ยงสูง โดยวิธีทดสอบความแปรปรวนของคะแนนโดยวิธีของฮอยท์ (Hoyt) ได้ค่าความเที่ยง .972 และข้อสอบสามารถจำแนกบุคคลได้ในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

จากการรายงานตนเองของครูพลศึกษาจำนวน 300 คน จะได้ตารางปกติวิสัยเปอร์เซ็นไตล์ของคะแนนของครูพลศึกษาในแต่ละคุณลักษณะ และรวมทุกคุณลักษณะ

แนวกรอบสี่เหลี่ยมสำหรับพิมพ์ข้อความ

แนวพิมพ์ชื่อผู้วิจัย ชื่อวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษา

เว้นระยะ 2 บรรทัด

แนวย่อหน้าเริ่มพิมพ์ข้อความ

เว้นระยะ 1 บรรทัด

C615895 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: OPTIMIZATION / GALVANIZED / DEVELOPMENTS / RECTANGULAR / DUCT
KITTI LEELAWANITCHAI : OPTIMIZATION LAYOUT OF GALVANIZED SHEET METAL DEVELOPMENTS FOR RECTANGULAR DUCT CONSTRUCTION. THESIS ADVISOR : Dr. CHIRDPUN VITOORAPORN. 296 pp. ISBN 974-632-539-6

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%

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม —

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัยด้วยดีตลอดมา รวมถึง คุณ เกียรติศักดิ์ สิริรัตนกิจ ซึ่งเป็นผู้ตรวจสอบผลลัพธ์ และ เสนอแนวคิดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และ ขอบอบพระคุณผู้ให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ ซึ่งมิได้กล่าวถึงในที่นี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่บอกราบบอบพระคุณ บิดาและมารดา ซึ่งให้ความสนับสนุนด้านการเงิน และ เป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฏ

คำอธิบายสัญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มาของโครงการวิทยานิพนธ์ 1

วัตถุประสงค์ของโครงการวิทยานิพนธ์ 2

การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

ขอบเขตของโครงการวิทยานิพนธ์ 6

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 6

ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิทยานิพนธ์ 7

บทที่ 2 ทฤษฎี 8

การหาสมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์ 10

การประยุกต์ใช้สมการฟังก์ชั่นจุดประสงค์และสมการเงื่อนไขบังคับ 16

วิธีการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization Method) 31

บทที่ 3 รายละเอียดแผ่นคลี่ของชิ้นส่วนท่อลม 34

ท่อลมตรง (Straight Duct) 34

ข้อต่อเปลี่ยนขนาด (Transition Joint) 35

ข้อต่อเปลี่ยนรูป (Transformer Joint) 44

คอหัวจ่ายลม (Booting) 48

ท่อโค้งและท่อแยก (Elbow & Branch) 56

หน้า

บทที่ 4 การเปรียบเทียบและประเมินผล 59
ลักษณะของวิธีการคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีในปัจจุบัน 59
ลักษณะของวิธีการคำนวณหาจำนวนแผ่นสังกะสีโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 60
ตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 61
การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 71
ตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 75
การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 86
ตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 88
การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 96
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 98
บทสรุป 98
ข้อเสนอแนะ 98
รายการอ้างอิง 102
ภาคผนวก ก ไดอะแกรมแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 105
ภาคผนวก ข ตารางมาตราฐานต่าง ๆ ในการสร้างความแข็งแรงของท่อลม 116
ภาคผนวก ค ชนิดและรูปแบบการพับตะเข็บของท่อลม 129
ภาคผนวก ง แบบแปลนท่อลม และ รูปแบบแผ่นคลี่ท่อลมของตัวอย่างระบบท่อลม
ทั้ง 3 ตัวอย่าง 136
ประวัติผู้เขียน 294

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 รายละเอียดของข้อมูลระบบท่อลมจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 62

4.2 รายละเอียดของข้อมูลท่อลมตรงจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 65

4.3 รายละเอียดของข้อมูลข้อต่อเปลี่ยนขนาดจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 67

4.4 รายละเอียดของข้อมูลคอหัวจ่ายลมจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 68

4.5 รายละเอียดของข้อมูลท่อโค้งและท่อแยกจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 69

4.6 จำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1
ซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 71

4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงซึ่งคำนวณโดยวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน
กับ จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
สำหรับตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 72

4.8 การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากตารางที่ 4.7 โดยแยกการเปรียบเทียบออกเป็น 2 ส่วน คือ
จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้สำหรับท่อลมตรงเพียงอย่างเดียว และจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมด
ที่ใช้ สำหรับตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 73

4.9 หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกเบอร์สังกะสีสำหรับตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 75

4.10 จำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ผู้รับเหมาเสนอมา เพื่อใช้สำหรับตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 76

4.11 รายละเอียดของข้อมูลท่อลมตรงจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 76

4.12 รายละเอียดของข้อมูลข้อต่อเปลี่ยนขนาดจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 78

4.13 รายละเอียดของข้อมูลคอหัวจ่ายลมจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 80

4.14 รายละเอียดของข้อมูลท่อโค้งและท่อแยกจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 83

4.15 จำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2
ซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 86

4.16 ผลการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ผู้รับเหมาเสนอมา
กับ จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงซึ่งคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
สำหรับตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 87

ตารางที่ หน้า

4.17 รายละเอียดของข้อมูลระบบท่อลมจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 89
4.18 รายละเอียดของข้อมูลหน้ากากดูดควันจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 90
4.19 จำนวนแผ่นสังกะสีทางอินตภาพทั้งหมดที่ใช้ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 91
4.20 รายละเอียดของข้อมูลท่อลมตรงจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 91
4.21 รายละเอียดของข้อมูลข้อต่อเปลี่ยนขนาดจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 92
4.22 รายละเอียดของข้อมูลข้อต่อเปลี่ยนรูปจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 93
4.23 รายละเอียดของข้อมูลหน้ากากดูดควันจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 94
4.24 รายละเอียดของข้อมูลท่อโค้งและท่อแยกจากตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 95
4.25 จำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3
ซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 96
4.26 ผลการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงซึ่งคำนวณโดยวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน
กับ จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
สำหรับตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 97
ข.1 1/2" W.G. Rectangular Duct Reinforcement 117
ข.2 1" W.G. Rectangular Duct Reinforcement 118
ข.3 2" W.G. Rectangular Duct Reinforcement 119
ข.4 Intermediate Reinforcement 120
ข.5 Transverse Joint Reinforcement 121
ข.6 Galvanized Sheet Thickness Tolerances 124
ข.7 1" W.G. Narrow Scope Duct Construction 125
ข.8 2" W.G. Narrow Scope Duct Construction 126
ข.9 1/2", 1", 2" As Composite 127

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะของแผ่นสังกะสีที่ใช้ในประเทศไทย 9

2.2 ลักษณะของท่อลมตรงหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม 9

2.3 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด 10

2.4 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด 11

2.5 ตำแหน่งจุดต่อและลักษณะแผ่นคลี่ของท่อลมที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด 12

2.6 ตำแหน่งจุดต่อ 1 จุด 16

2.7 ตำแหน่งจุดต่อ 2 จุด 18

2.8 ตำแหน่งจุดต่อ 4 จุด 20

2.9 ตำแหน่งจุดต่อ 1 จุด 22

2.10 ตำแหน่งจุดต่อ 2 จุด 24

2.11 ตำแหน่งจุดต่อ 4 จุด 26

2.12 ตัวอย่างไดอะแกรมการดำเนินการของวิธี Dynamic Programming 32

3.1 ลักษณะของท่อลมตรง 34

3.2 ลักษณะแผ่นคลี่สำหรับท่อลมตรงที่มีจำนวนจุดต่อ 1 จุด 34

3.3 ลักษณะแผ่นคลี่สำหรับท่อลมตรงที่มีจำนวนจุดต่อ 2 จุด 35

3.4 ลักษณะแผ่นคลี่สำหรับท่อลมตรงที่มีจำนวนจุดต่อ 4 จุด 35

3.5 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาดที่มีด้านตรง 1 ด้าน 36

3.6 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาดที่มีด้านตรง 2 ด้าน ชนิด F.O.T & F.O.B 37

3.7 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาดที่มีด้านตรง 2 ด้าน ชนิด F.O.B
& One Side Straight 39

3.8 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาดที่มีด้านตรง 2 ด้าน ชนิด F.O.T
& One Side Straight 40

3.9 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาดที่มีด้านตรง 3 ด้าน 42

3.10 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาดที่มีด้านทุกด้านเป็นด้านเอียง 43

รูปที่ หน้า

3.11 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนรูปที่มีด้านตรง 1 ด้าน 45
3.12 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนรูปที่มีด้านตรง 2 ด้าน 46
3.13 แผ่นคลี่สำหรับข้อต่อเปลี่ยนรูปที่มีด้านทุกด้านเป็นด้านเอียง 47
3.14 แผ่นคลี่คอหัวจ่ายลมแบบเปลี่ยนจากสี่เหลี่ยมเป็นวงกลม 49
3.15 แผ่นคลี่คอหัวจ่ายลมแบบเปลี่ยนจากสี่เหลี่ยมเป็นสี่เหลี่ยม 52
3.16 แผ่นคลี่คอหัวจ่ายลมแบบข้องอด้านเอียง 54
3.17 ลักษณะของท่อโค้งหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม 56
3.18 ลักษณะของท่อแยก 2 ทิศทาง ชนิด Tee Diverging และ Wye Dovetail 57
3.19 ลักษณะของท่อแยก 3 ทิศทาง 58
4.1 ลักษณะของคอหัวจ่ายลมแบบแถบยาว (Slot Diffuser) 79
4.2 ลักษณะของหน้ากากดูดควัน (Hood) 88
ค.1 Plate 1, Grooved Lock Seam 130
ค.2 Plate 2, Hammer Grooved Lock Seam 130
ค.3 Plate 3, Riveted Lap Seam 131
ค.4 Plate 4, Riveted Corner Seam with The Lap on The Outside 131
ค.5 Plate 5, Riveted Corner Seam with The Lap on The Inside 132
ค.6 Plate 6, Corner Double Seam Lock 132
ค.7 Plate 7, Pocket Solder Lock Seam 133
ค.8 Plate 8, Pittsburgh Corner Lock Seam 133
ค.9 Plate 9, 1- in, Standing Seam 134
ค.10 Plate 10, 1- in, Drive Cleat 134
ค.11 Plate 11, 1- in, Flat Slip S Cleat 135
ค.12 Plate 12, Angle Slip S Cleat 135
ง.1 แบบแปลนตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 137
ง.2 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 26 สำหรับท่อลมตรง
ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 138

รูปที่ หน้า

ง.3 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 24 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 162
ง.4 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 22 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 178
ง.5 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 26 สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาด ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 194
ง.6 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 24 สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาด และ คอหัวจ่ายลม ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 196
ง.7 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 22 สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาด ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 1 207
ง.8 แบบแปลนตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 210
ง.9 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 26 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 211
ง.10 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 24 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 216
ง.11 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 22 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 233
ง.12 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 26 สำหรับคอหัวจ่ายลม ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 254
ง.13 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 22 สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาด ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 2 259
ง.14 แบบแปลนตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 262
ง.15 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 26 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 263
ง.16 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 24 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 265

รูปที่ หน้า

ง.17 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 22 สำหรับท่อลมตรง ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 277

ง.18 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 24 สำหรับข้อต่อเปลี่ยนขนาด ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 282

ง.19 รูปแบบแผ่นคลี่ที่เหมาะสมของแผ่นสังกะสีเบอร์ 22 สำหรับข้อต่อเปลี่ยนรูป และ หน้ากากดูดควัน ในตัวอย่างระบบท่อลมที่ 3 284

คำอธิบายสัญลักษณ์

<u>ตัวแปร</u>

n	จำนวนของขนาดท่อลม
W_n	ความกว้างของหน้าตัดในแต่ละขนาดท่อลม ,นิ้ว
D_n	ความลึกของหน้าตัดในแต่ละขนาดท่อลม ,นิ้ว
L_n	ความยาวไม่รวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลมทางอินตภาพ ต่อ 1 แผ่นสังกะสี ,นิ้ว
L_{nA}	ความยาวไม่รวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลมที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี ,นิ้ว
Z_n	ความยาวรวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลมทางอินตภาพ ต่อ 1 แผ่นสังกะสี ,นิ้ว
Z_{nA}	ความยาวรวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลมที่ได้จริง ต่อ 1 แผ่นสังกะสี ,นิ้ว
L_{nt}	ความยาวทั้งหมดที่ไม่รวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลม(ทางอินตภาพ) ,นิ้ว
L_{ntA}	ความยาวทั้งหมดที่ไม่รวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลมที่ได้จริง ,นิ้ว
Z_{nt}	ความยาวทั้งหมดที่รวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลมทางอินตภาพ ,นิ้ว
Z_{ntA}	ความยาวทั้งหมดที่รวมตะเข็บปลายในแต่ละขนาดท่อลมที่ได้จริง , นิ้ว
S_1	ความกว้างของตะเข็บข้างส่วนที่หนึ่ง (Longitudinal Seam 1) , นิ้ว
S_2	ความกว้างของตะเข็บข้างส่วนที่สอง (Longitudinal Seam 2) ,นิ้ว
S_3	ความกว้างของตะเข็บปลาย (Transverse Joint Seam) , นิ้ว
A_n	พื้นที่ในแต่ละขนาดท่อลมทางอินตภาพ , ตารางนิ้ว
A_t	พื้นที่ทั้งหมดของท่อลมทางอินตภาพ , ตารางนิ้ว
A_{Act}	พื้นที่ทั้งหมดของท่อลมที่ได้จริง , ตารางนิ้ว
N_t	จำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดทางอินตภาพ , แผ่น
N_{Act}	จำนวนแผ่นสังกะสีทั้งหมดที่ใช้จริง , แผ่น
P_n	จำนวนชิ้นสังกะสีในแต่ละขนาดท่อลม ต่อ 1 แผ่นสังกะสี (จำนวนเต็ม) ,ชิ้น
m_n	จำนวนแผ่นสังกะสีที่ใช้จริงในแต่ละขนาดท่อลม (จำนวนเต็ม) , แผ่น
k	ลำดับตำแหน่งของ X_n ,Y_n ในแต่ละเบอร์สังกะสี
X_n	ตัวแปรที่ใช้แทนความยาวเส้นรอบรูปของหน้าตัดท่อลม
Y_n	ตัวแปรที่ใช้แทนความยาวเส้นรอบรูปด้านลึก 1 ด้านของหน้าตัดท่อลม เฉพาะกรณีซึ่งหน้าตัดท่อลมมีจำนวนจุดต่อ 4 จุด

<u>ตัวลำดับ</u>

i การนับลำดับของขนาดท่อลม

j การนับลำดับตำแหน่งของ X_n ,Y_n