PRO-MEC
252
2542
ก.2

34610

โปรแกรมคอมพิวเตอร์การคำนวณท่อลมของระบบการปรับอากาศ

Computer Program for Calculation Air Ducts of Air Conditioning System

18 ส.ค. 2544

นายปรเมศร์ แต้มประสิทธิ์

โครงงานวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2542

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมศาสตร์	โปรแกรมคอมพิวเตอร์การคำนวณขนาดท่อในระบบปรับอากาศ
โดย	นายปรเมศร์ แต้มประสิทธิ์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ มนัส แป้งใส

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงงานวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

_____ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมศาสตร์

_____ ประธานกรรมการ

(อาจารย์ มนัส แป้งใส)

_____ กรรมการ

(อาจารย์ กฤษณะ วัฒนศีลวัต)

_____ กรรมการ

(อาจารย์ ไพศาล นาผล)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์การคำนวณขนาดท่อในงานปรับอากาศ

ปีการศึกษา 2542

โดย
นาย ปรเมศร์ แต้มประสิทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ มนัส แป้งใส

บทคัดย่อ

โครงงานวิศวกรรมศาสตร์นี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบเกี่ยวกับการคำนวณหาขนาดท่อลมในระบบปรับอากาศโดยใช้วิธี ความดันสถิตได้คืน (Static Regain) โดยใช้โปรแกรมวิชวล เบสิก เวอร์ชัน 6 ช่วยในการออกแบบและคำนวณ

ในขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมช่วยคำนวณนี้ ตัวโปรแกรมจำเป็นจะต้องทราบค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ เช่น อัตราการไหลของอากาศ ความยาวของท่อ ชนิดของท่อและข้อต่อเพื่อที่จะนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ชนิดต่างๆได้ ดังนั้นผู้ใช้โปรแกรมจึงจำเป็นต้องป้อนค่าต่างๆ เหล่านี้ลงไปในขั้นตอนการออกแบบระบบท่อด้วย

Computer Program For Calculation Air Ducts of Air Conditioning System

Academic year 1999

BY

Mr. Porramet Tamprasith

Project Report Adviser

Mr. Manat Paengsai

ABSTRACT

This engineering project studies about calculation of air duct conditioning system with Static regain method by Microsoft Visual Basic programs

In calculation of the air duct , the program need essential properties ,volume flow rate , type of air duct and fitting in order to calculate the size of air duct . So the user must to input the value into the programs for calculate the size of air duct.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์มนัส แป้งใส อาจารย์ไพศาล นาผล อาจารย์กฤษณะ วัฒนศีลวัต อาจารย์ภาคภูมิ ศรีร่มรื่น อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาทยาลัยศรีนครินวิโรฒ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ พร้อมทั้งคำปรึกษาแก่คณะผู้จัดทำโครงงานจนโครงงานเสร็จสิ้นสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้เลี้ยงดู อบรม สั่งสอนมาโดยตลอด

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตของโครงงาน	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎี	
การปรับอากาศ	3
หลักการออกแบบระบบระบายอากาศ	4
หลักการออกแบบระบบท่ออากาศ	5
วิธีออกแบบท่อลม	18
3. การออกแบบโปรแกรม	
การออกแบบและการคำนวณ	30
4. ผลและการวิเคราะห์ผล	31
5. สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวกที่ 1 ตาราง	38
ภาคผนวกที่ 2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม	51
ภาคผนวกที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณ	59

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวกที่ (ต่อ)
ภาคผนวกที่ 4 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม 65
ภาคผนวกที่ 5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 68

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

4.1 ตารางเปรียบเทียบขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่ 1 33
4.2 ตารางเปรียบเทียบขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่ 2 33

ตารางภาคผนวกที่

1.1 การระบายอากาศของอาคารทั่วไป 39
1.2 อัตราการระบายอากาศของลักษณะการใช้งานภายในอาคารต่างๆ ที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ 40
1.3 อัตราการระบายอากาศของลักษณะการใช้งานภายในอาคารต่างๆที่ใช้เครื่องปรับอากาศ 41
1.4 ความยาวสมมูลของข้อต่อและวาล์ว (ฟุต) 42
1.5 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของข้อต่อชนิดต่างๆ 43
1.6 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อเพิ่มขนาด 44
1.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย (C) สำหรับข้อต่อกลมซึ่งต่อกับทางเข้าพัดลม 45
1.8 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อที่ต่อจากแหล่งจ่ายลมชนิด Smooth Converging Bellmouth ,Round, without End Wall 46
1.9 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อที่ต่อจากแหล่งจ่ายลมชนิด Smooth Converging Bellmouth ,Round, with End Wall 46
1.10 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด Elbow, Round, Mitered 47
1.11 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด Elbow, Smooth Radius, Round 47
1.12 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด Elbow, Round, 3 to 5 pc - 90° 48
1.13 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด 45° Conical Wye, Round, Rolled 45° with 60° Elbow, Branch 90° to Main 48
1.14 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด 45° Wye, Round, Rolled 45° with 30° Elbow, Branch 45° to Main 49
1.15 ค่าสัมประสิทธิ์(C) ของข้อต่อชนิด 90° Conical Tee, Round 49
1.16 Air Outlets & Diffusers-Total Pressure Loss Average 50

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 สมการContinuityสำหรับการไหลแบบอยู่ตัวของอากาศหรือน้ำในท่อ 5

2.2 ความเร็วของไหลจะเปลี่ยนเมื่อพื้นที่ภาคตัดของท่อเปลี่ยน 6

2.3 สมการพลังงานไหลเมื่อประยุกต์กับการไหลในท่อ 6

2.4 การต่อ manometer เพื่ออ่านความดันสถิต ความดันรวม และความดันความเร็ว 9

2.5 การใช้ท่อ pitot วัดความดันความเร็ว 10

2.6 ภาพสเก็ตสำหรับสมการ 2.8 11

2.7 การเปลี่ยนรูประหว่างความดันสถิตและความดันความเร็ว 11

2.8 ความดันตกระหว่างจุดสองจุดใดๆ ย่อมเท่ากัน 13

2.9 ขนาดท่อกลมสมมูล 15

2.10 ท่อแยกแบบที่มีความดันสูญเสียน้อย 17

2.11 ท่อแยกแบบมีความดันสูญเสียมาก 17

2.12 หัวกระจายลมแนวนอนประกอบด้วยครีบปรับทิศทางลม 2 ชุด 19

2.13 หัวกระจายลมแนวนอนประกอบด้วยครีบปรับทิศทางลม 3 ชุด 19

2.14 หัวกระจายลมแนวดิ่งแบบสี่เหลี่ยม 20

2.15 หัวกระจายลมแนวดิ่งแบบกลม 20

2.16 การปรับทิศทางลมท่อออกจากหัวกระจายลมแนวดิ่งแบบรูปกลม 20

2.17 พัดลมแบบแรงเหวี่ยงชนิดต่างๆ แสดงถึงทิศทางของลมที่ออกจากใบพัด และรูปร่างของใบพัด 21

2.18 พัดลมแบบแรงเหวี่ยงชนิดทิวบูล่า 22

2.19 พัดลมแบบแนวแกน 23

2.20 การจัดวางอุปกรณ์เพื่อทดสอบสมรรถนะของพัดลม 25

2.21 การวัดความดันทั้งหมดของพัดลม 25

2.22 การวัดความดันสถิตของพัดลม 25

4.1 จอภาพแสดงการออกแบบและผลการคำนวณขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่ 1 31

4.2 จอภาพแสดงการออกแบบและผลการคำนวณขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่ 2 32

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปภาคผนวกที่

2.1 Flow chart แสดงการออกแบบและการคำนวณหาขนาดท่อลม 54

2.2 Flow chart แสดงการหาค่าความดันสถิต 55

2.3 Flow chart แสดงการหาค่าอัตราการไหลของท่อ 56

2.4 Flow chart การหาขนาดของท่อเมื่อทราบอัตราการไหลและ P_v 57

2.5 Flow chart แสดงการหาขนาดท่อลมโดยทราบความดันความเร็ว(P_v), อัตราการไหลหรือขนาดท่อ 58

3.1 แสดงระบบท่อลมของตัวอย่างการคำนวณที่ 1 60

3.2 แสดงระบบท่อลมของตัวอย่างการคำนวณที่ 2 62

4.1 จอภาพแสดงเมนูหลักของโปรแกรมคำนวณขนาดของท่อลม 66

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
m	อัตราไหลของมวล	lb / min
Q	อัตราไหลของปริมาตร	cfm (หรือ gpm)
P_S	ความดันสถิตของของไหล	in.wg
g	ค่าคงที่ความโน้มถ่วง	ft / sec
P_V	ค่าความดันเนื่องจากความเร็ว	in.wg
P_C	ความดันเนื่องจากระดับ	in.wg
P_P	ความดันที่ได้รับเพิ่มจากปั๊มหรือพัดลม	in.wg
P_f	ความดันสูญเสียในท่อเนื่องจากความเสียดทาน	in.wg
P_t	ความดันรวม	in.wg
V	ความเร็ว	ft / sec
f	แฟคเตอร์ความเสียดทาน	-
L	ความยาวท่อ	ft
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	in
C	สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย	-
$P_{S(fan)}$	ความดันสถิตของพัดลม	in.wg
$Hp_{(fan)}$	กำลังงานที่ใช้ขับพัดลม	hp
$P_{t(fan)}$	ความดันทั้งหมดของพัดลม	in.wg

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนทำให้อากาศในช่วงรอบปีหนึ่งๆมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงอยู่ตลอด และยิ่งในบริเวณที่มีบ้านเรือนอยู่หนาแน่น อีกทั้งการจราจรที่แออัดทำให้ระบบการปรับอากาศมีความจำเป็นและสำคัญมากยิ่งขึ้น ตลอดจนการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรม อีกทั้งทำให้เกิดความสุขสบายแก่ผู้คนที่อยู่อาศัยอีกด้วย เป็นผลให้บ้านพักอาศัย ร้านค้า ห้างสรรพสินค้า รวมถึงสำนักงานต่าง ๆ มีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องปรับอากาศเข้ามาเป็นส่วนประกอบภายในมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ระบบปรับอากาศได้เข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น และอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ร่วมกับระบบทำความเย็น คือ ระบบท่อทำความเย็นและระบายอากาศ ซึ่งก็คือระบบท่อลมที่จะต้องติดตั้งเพิ่มขึ้นมาอีก จึงจะทำให้ระบบทำความเย็นสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังนั้นระบบท่อลมหรือระบบท่อทำความเย็น จึงเป็นประโยชน์ และมีความสำคัญในการที่จะนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรม ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวความคิดที่จะนำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ และคำนวณในด้านวิศวกรรม เพื่อช่วยประหยัดเวลาและเกิดความแม่นยำในการคำนวณมากยิ่งขึ้น

โดยที่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาการเขียนโปรแกรมในการคำนวณระบบท่อลม ของการปรับอากาศ โดยเน้นการออกแบบและคำนวณหาขนาดของท่อลม เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับงานได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในทางวิศวกรรม
2. เพื่อใช้ออกแบบและคำนวณระบบท่อลมให้มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

ขอบเขตของโครงงาน

สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ Microsoft Visual Basic 6 เพื่อใช้ในการออกแบบและคำนวณหาขนาดท่อและค่าต่างๆในระบบท่อลมด้วยวิธีการคำนวณแบบ static regain

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ช่วยในการศึกษาและการคำนวณระบบท่อลม

2.เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณทางวิศวกรรมเพื่อเป็นประโยชน์อื่นๆ ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎี

ระบบปรับอากาศในเกือบทุกประเภทที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่หรือการกระจายของของไหล คำว่าของไหล นั้นได้รวมถึงแก๊สต่างๆ เช่น อากาศ ไอของสาร เช่นสารความเย็นและไอน้ำ การหาขนาดเหมาะสมของท่อ (duct) เพื่ออากาศที่ถูกปรับสภาวะเดินทางจากเครื่องหรือห้องเครื่องไปยังพื้นที่ปรับอากาศ จำเป็นต้องพิจารณาต่อความต้านทานของการไหลหรือแรงต้านทานที่ต้องการ ซึ่งเป็นสาเหตุของการไหลของอากาศในท่อขนาดของพัดลมและมอเตอร์พัดลมจำเป็นต้องให้มีความดันอากาศในท่อที่ต้องการในท่อและมีเสียงรบกวนในระดับที่ยอมรับได้ในท่อด้วยการวัดปริมาณการไหลของอากาศได้กลายเป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างมากของการออกแบบและการทำงาน ขนาดของท่อ

การเคลื่อนที่ของไหลทางกลศาสตร์จริงๆ นั้นค่อนข้างซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตามข้อสมมติที่ง่ายบางอย่าง ซึ่งเหมือนกับข้อสมมติของแก๊สสมบูรณ์ยังมีผลที่ถูกต้องเพียงพอสำหรับหลักในทางวิศวกรรม ถึงแม้ว่าของไหลในอุดมคติจะไม่พบจริงในทางปฏิบัติจริงแต่ของไหลส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องในการปรับอากาศภายในช่วงอุณหภูมิและความดันปกติสามารถสมมติให้เป็นของไหลในอุดมคติได้โดยผิดพลาดไม่มากนัก

<u>การปรับอากาศ</u>

การปรับอากาศไม่ใช่เพียงแต่ที่จะหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว แต่จะครอบคลุมถึงสักษณะของอากาศที่มีผลต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ดังนี้

1. อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม หรืออุณหภูมิอากาศปกติ
2. ความชื้นอากาศ (Humidity of air)
3. ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ (Air purity)

4. การเคลื่อนที่ของอากาศ (Air movenment)

ดังนั้นการปรับอากาศที่แท้จริงนั้นได้รวมความหมายตาม 4 ลักษณะข้างต้น

การปรับอากาศสามารถจำแนกตามหน้าที่ส่วนใหญ่ที่ใช้งานได้เป็น

1. การปรับอากาศเพื่อความสะดวกสบาย (Comfort air conditioning systems) จุดประสงค์ของระบบปรับอากาศ ก็เพื่อที่จะให้บรรยากาศเหมาะสมสำหรับร่างกายและทำกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบนี้จะใช้ในบ้าน , สำนักงาน , โรงภาพยนต์ , ร้านค้า และอื่นๆ

2. การปรับอากาศอุตสาหกรรม (Industrial air conditioning system) จะใช้ในอุตสาหกรรมที่ค้นคว้าและวิจัยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความถูกต้อง เช่นอุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิค อุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นตัวอย่างที่จะต้องควบคุมทั้งอุณหภูมิ , ความชื้น , และปริมาณอากาศบริสุทธิ์

<u>หลักการออกแบบระบบระบายอากาศ</u>

ในการออกแบบระบบระบายอากาศต้องมีระบบที่ทำให้อากาศสะอาดเพียงพอเพื่อให้เข้าใจถึงหลักการออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับอาคารทั่วไป จึงได้เสนอแนวทางเป็นข้อๆไว้พิจารณาก่อนลงมือออกแบบเบื้องต้น

1.ในห้องปรับอากาศควรมีการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าไปให้น้อยที่สุดสำหรับการปรับสภาวะอากาศที่กำลังสะบายพอดี โดยมีข้อมูลแสดงในตารางท้ายบท

2. สำหรับบ้านทาวน์เฮาส์หรือตึกแถว ที่มีความลึกมากกว่า 12 ม. ควรมีระบบระบายอากาศจากด้านหน้าไปด้านหลังของอาคารในแต่ละชั้น ขนาดช่องลมควรมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 0.4 ตร.ม.

3. สำหรับอาคารธุรกิจ ควรมีขนาดหน้าต่างประมาณ 15 % ของพื้นที่แต่ละชั้นเพื่อให้มีแสงสว่างและการระบายอากาศเพียงพอ โดยใน 50 % ของขนาดหน้าต่างนี้ควรเป็นลักษณะที่เปิดปิดได้สำหรับการระบายอากาศ

ในการวางแผนหรือการบริการระบบ HVAC เป็นต้องทราบความดันปั๊มและพัดลมและทราบความดันสูญเสียในท่อ อาจคำนวนสิ่งเหล่านี้ได้โดยนำหลักไหลของของไหลในท่อมาใช้กับการไหลของน้ำและอากาศในระบบปรับอากาศ

หลักการออกแบบระบบท่ออากาศ

1. สมการความต่อเนื่อง (continuity)

ปกติการไหลของของไหลในท่อมักเป็นการไหลแบบอยู่ตัว (steady flow) หมายความว่าของไหลไหลด้วยอัตราคงที่และอยู่ตัว ปริมาณของไหลที่ไหลผ่านจุดใดจุดหนึ่งจะเท่ากับที่จุดอื่น ๆ ในระบบอาจแทนการไหลแบบนี้ได้โดยสมการ 2.1 และรูปที่ 2.1

$$m = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{คงที่}$$

โดยที่ m = อัตราไหลของมวล , lb / min

ρ_1 , ρ_2 = ความหนาแน่นของไหลที่จุดใด ๆ สองจุดในท่อ , lb/ft^3

A_1 , A_2 = พื้นที่ภาคตัดของท่อ , ft^2

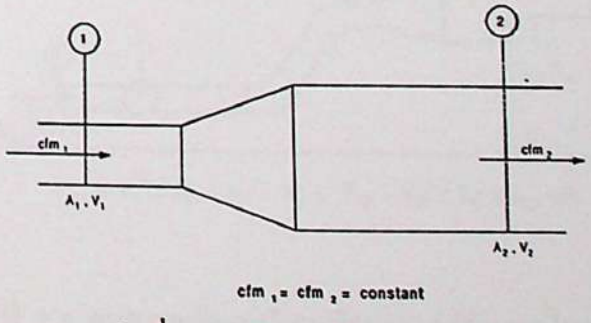
V_1 , V_2 = ความเร็วของไหล , ft/min

ถ้าในระหว่างการไหลความหนาแน่นของของไหลคงที่อาจเขียนสมการบนได้ว่า

$$m / \rho = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{ค่าคงที่} = Q \qquad (2.1)$$

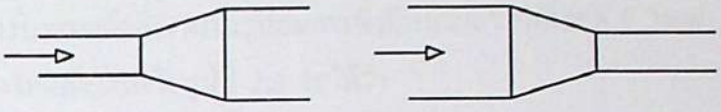
โดยที่ Q = อัตราไหลของปริมาตร , ft^3/min

อาจแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.1 ได้โดยรูปที่ 2.1 กระบวนการไหลในระบบ HVAC ส่วนใหญ่ความหนาแน่นเปลี่ยนน้อยมากจนถือได้ว่าคงที่ อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนมากความต่างของความหนาแน่นอาจมีนัยสำคัญก็ได้



รูปที่ 2.1 สมการความต่อเนื่องสำหรับการไหลแบบอยู่ตัวของอากาศหรือน้ำในท่อ

สมการความต่อเนื่องยังบอกให้ทราบว่าถ้าพื้นที่เพิ่มความเร็วจะลดลงหรือถ้าพื้นที่ลดความเร็วจะเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.2



A_1, V_1 A_2, V_2 A_1, V_1 A_2, V_2

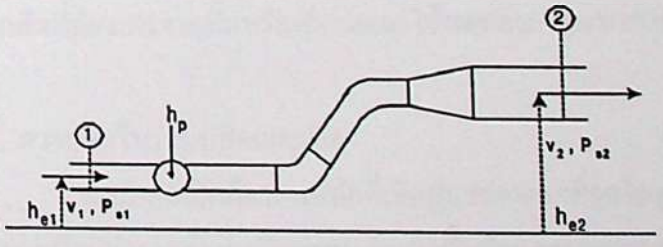
พื้นที่เพิ่ม ⟶ ความเร็วลด พื้นที่ลด ⟶ ความเร็วเพิ่ม

รูปที่ 2.2 ความเร็วของไหลจะเปลี่ยนเมื่อพื้นที่ภาคตัดของท่อเปลี่ยน

2. สมการพลังงานไหล

ถ้านำหลักการบาลานซ์พลังงานมาใช้กับการไหลของของไหลในท่อ อาจกล่าวได้ว่าระหว่างจุดสองจุดใด ๆ ในระบบท่อ

พลังงานที่จุด 1 + พลังงานเพิ่ม - พลังงานสูญเสีย = พลังงานที่จุด 2



$$P_{s1} + V_1^2 / 2g + h_{e1} + P_p = P_{s2} + V_2^2 / 2g + h_{e2} + P_l$$

รูปที่ 2.3 สมการพลังงานไหลเมื่อประยุกต์กับการไหลในท่อ

พลังงานของของไหลที่จุดใด ๆ คือพลังงานซึ่งประกอบด้วยพลังงานเนื่องจากความดัน พลังงานเนื่องจากความเร็วและพลังงานเนื่องจากระดับพลังงานเพิ่มคือพลังงานที่ได้จากปั๊มหรือพัดลม พลังงานสูญเสียคือพลังงานที่สูญหายไปเนื่องจากความเสียดทาน อาจมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานอื่น ๆ อีกเช่นการเปลี่ยนแปลงพลังงานเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแต่มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด ถ้าเขียนสมการบาลานซ์พลังงานในรูปสมการซึ่งมีหน่วยความดันเฮด (head pressure) หรือความสูงของลำของไหลดังแสดงในรูปที่ 2.3 จะได้ว่า

$$(P_{s1} + P_{v1} + P_{e1}) + P_p - P_f = (P_{s2} + P_{v2} + P_{e2}) \qquad (2.2)$$

โดยที่ P_s = ความดันสถิตของของไหล (ความดันอยู่นิ่ง) , in.wg

V = ความเร็ว , ft / min

g = ค่าคงที่ความโน้มถ่วง = 32.2 ft/sec^2

$\frac{V^2}{2g}$ = ความดันเนื่องจากความเร็ว , in.wg

P_e = ระดับ , in.wg

P_p = ความดันที่ได้รับเพิ่มจากปั๊มหรือพัดลม , in.wg

P_f = ความดันสูญเสียในท่อเนื่องจากความเสียดทาน , in.wg

เรียกสมการ 2.2 ว่าสมการพลังงานไหลหรือสมการรูปทั่วไปของเบอร์นูลี ปกติมักใช้สมการนี้หาความดันที่ต้องการจากปั๊มหรือพัดลมและใช้ทดสอบ และบาลานซ์ระบบ

3. ความดันในระบบปิดและเปิด

ระบบท่อเปิดคือระบบท่อที่เปิดสู่บรรยากาศที่จุดใดจุดหนึ่งของระบบ จะสังเกตเห็นว่าระบบท่อเปิดนำความต่างระดับมาหาเฮดของปั๊มด้วย ระบบท่อของหอลดอุณหภูมิสำหรับคอยล์ร้อนชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำคือตัวอย่างของระบบท่อเปิดอีกตัวอย่างหนึ่ง ระบบปิดคือระบบที่ไหลเวียนต่อเนื่องโดยไม่มีช่องว่างในระบบท่อ ฉะนั้นระบบปิดจึงไม่มีความต่างระดับของน้ำในวงจร ดังนั้นผลต่างของ h ในสมการพลังงานไหลจึงเท่ากับศูนย์ สำหรับระบบท่อลมนั้นแม้ว่าจะ

เป็นระบบเปิดซึ่งย่อมมีค่าความต่างระดับเสมอ แต่ค่าความต่างระดับน้อยมากจึงมักไม่นำมาคิด ตัวอย่างเช่นถ้าอากาศต่างระดับกัน 70 ฟุต ความดันจะต่างกันเพียง 1 นิ้ว เท่านั้น

สำหรับระบบท่อลมนั้นถึงแม้จะเป็นระบบเปิด แต่ไม่จำเป็นต้องนำความต่างระดับมาคิดเพราะมีค่าน้อยมาก สำหรับการเปลี่ยนความเร็วควรนำมาคิดด้วยเพราะบางครั้งมีค่าบวก ปกติจะวัดความดันอากาศในท่อลมในหน่วยนิ้วน้ำ (in . wg)

4. ความดันรวม ความดันสถิต และ ความดันจากความเร็ว

นิยามความดันรวม (P_t) ของของไหลที่ไหลในท่อว่า

$$P_t = P_s + P_v \qquad (2.3)$$

โดยที่ P_t = ความดันรวม , in.wg

P_s = ความดันสถิต , in.wg

P_v = ความดันจากความเร็ว , in.wg

ความดันสถิตคือความดันของของไหลที่อยู่นิ่งกับที่สำหรับความดันจากความเร็วนิยามว่า

$$P_v = \frac{V^2}{2g} \qquad (2.4)$$

ฉะนั้นพลังงานความดันรวมของของไหลที่จุดใด ๆ ประกอบด้วยพลังงานความดันสถิตและพลังงานความดันจากความเร็ว แนวความคิดนี้มีประโยชน์ต่อการวัดความเร็วและอัตราไหลในท่อเพราะถ้าวัดความดันจากความเร็วได้ก็จะสามารถคำนวณความเร็วได้คือ

$$V = \sqrt{2gP_v} \qquad (2.5)$$

โดยที่ V = ความเร็ว , ft / min

g = ค่าคงที่ความ โน้มถ่วง , ft / sec^2

P_v = ความดันจากความเร็วหรือเฮดความเร็ว , in.wg

เนื่องจากนิยมวัดความดันอากาศในหน่วยนิ้ว (in.) และวัดความเร็วในหน่วย ฟุต / นาที (fpm) ฉะนั้นถ้าแทนค่าตัวแปลงหน่วยลงในสมการ 4 และ 5 ตามลำดับจะสามารถคำนวณความเร็วอากาศได้ง่ายขึ้นคือ

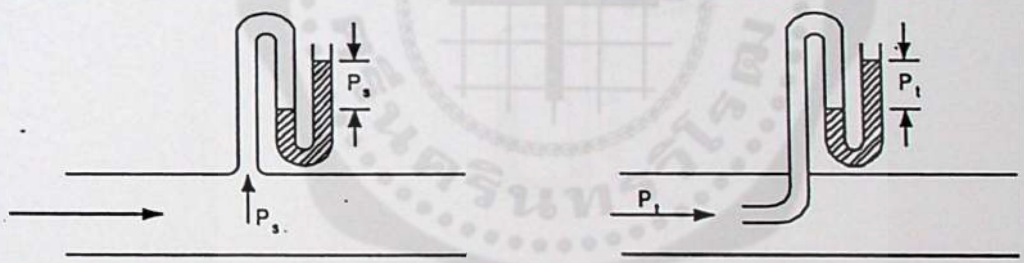
$$P_v = \left(\frac{V}{4{,}000}\right)^2 \qquad (2.6)$$

$$V = 4{,}000\sqrt{P_v} \qquad (2.7)$$

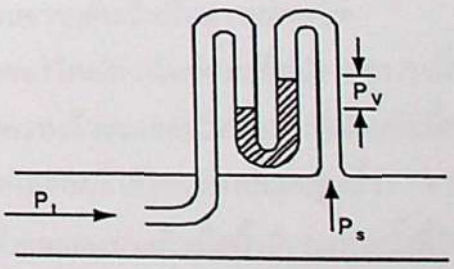
โดยที่ V = ความเร็วอากาศ , ft / min

P_v = ความดันจากความเร็ว , in.wg

เครื่องมือทดสอบและบาลานซ์ที่ใช้วัดการไหลส่วนใหญ่มักใช้หลักการความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวมความสถิตและความดันจากความเร็วดังเช่นเครื่องมือที่เรียกว่า manometer ในรูปที่ 2.4



(ก) ความดันสถิตย์ (ข) ความดันรวม

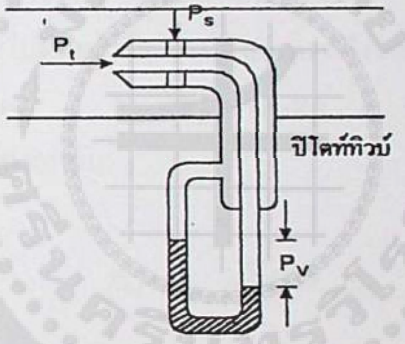


(ค) ความดันจากความเร็ว

<u>รูปที่ 2.4</u> การต่อ manometer เพื่ออ่านความดันสถิต ความดันรวม และความดันจากความเร็ว

รูปที่ 2.4 ก. manometer อ่านความดันสถิต ,รูปที่ 2.4 ข. manometer อ่านความดันรวม เนื่องเพราะนอกจากปลายท่อของ manometer จะอ่านความดันสถิตแล้ว ยังหันเข้าหาทิศลมไหลหรือได้รับพลังงานความเร็วด้วย ถ้าต่อ manometer เข้ากับท่อดังรูปที่ 2.4 ค. manometer จะอ่านค่าความต่างระหว่างความดันรวมและความดันสถิตหรือความดันจากความเร็ว

ท่อปิโตท์(pitot tube) ในรูปที่ 2.5 เป็นเครื่องมือวัดความดันอีกชนิดหนึ่งซึ่งใช้หลักการเดียวกับ manometer หัวของท่อ pitot ที่แหย่เข้าไปในท่อลมประกอบด้วยท่อเล็กๆ สองท่อซ้อนกัน รูที่ปลายหัวซึ่งหันเข้าหาทิศอากาศไหลวัดความดันรวม รูรอบๆ หัวจะวัดความดันสถิต ฉะนั้นจะอ่านความดันจากความเร็วได้โดยตรง ปกติจะวัดความเร็วที่จุดต่างๆ ตลอดพื้นที่ภาคตัดของท่อเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยที่พื้นที่ภาคตัดนั้น

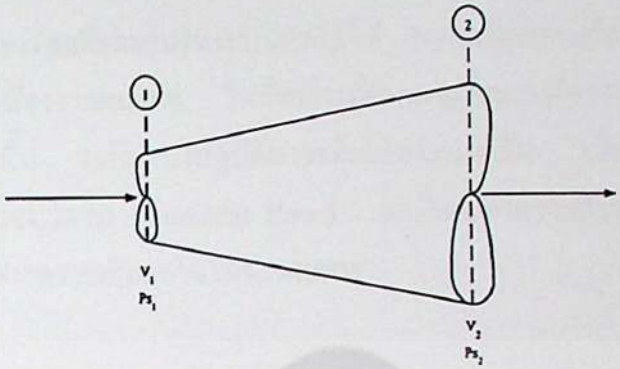


<u>รูปที่ 2.5</u> การใช้ท่อ pitot วัดความดันจากความเร็ว

5. การเปลี่ยนความดันเร็วเป็นความดันสถิต

เมื่อของไหลไหลในท่อจะเกิดปรากฏการณ์สำคัญอย่างหนึ่งคือความดันสถิตจะเพิ่มขึ้นตามทิศทางไหล ถ้าความเร็วของของไหลลดลงที่เป็นเช่นนี้เพราะหลังงานความเร็วเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานสถิต เรียกความดันสถิตที่ได้จากการเปลี่ยนรูปนี้ว่า "ความดันสถิตได้คืน(static regain)" ทุกคนคงเคยพบเหตุการณ์นี้ด้วยตนเองมาแล้วเมื่อนิ้วมืออุดสายน้ำที่ไหลออกจากสายยางหรือท่อจะรู้สึกว่าน้ำมีแรงดัน แรงดันของน้ำนี้เกิดจากพลังงานความเร็วลดลงและพลังงานสถิตหรือความดันเพิ่มขึ้นอาจหาความดันสถิตได้คืนได้โดยพิจารณาข้อต่อเพิ่มขนาดในรูปที่2.6จากสมการพลังงานไหลพบว่า

$$P_{s1}-P_{s2} = P_{v2}-P_{v1}+(P_{e1}-P_{e2})+P_p-P_f$$



<u>รูปที่ 2.6</u> ภาพสเก็ตสำหรับสมการ 2. 8

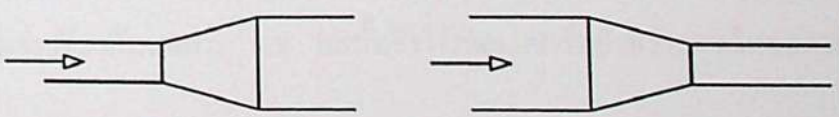
เนื่องจากการเปลี่ยนระดับไม่มีนัยสำคัญ ฉะนั้นสมการพลังงานการไหลจะเหลือเพียง

$$P_{s1} - P_{s2} = P_{v2} - P_{v1} + (P_f - P_p)$$

หรือความดันสถิตได้คืนมีค่าเท่ากับ

$$P_{s1} - P_{s2} = P_{v2} - P_{v1} + \Sigma(\Delta P_{loss})_{12} \qquad (2.8)$$

ในกรณีที่ข้อต่อเป็นข้อต่อลดขนาด (converging section) จะเกิดเหตุการณ์ตรงข้ามคือ ความดันสถิตเปลี่ยนเป็นความดันจากความเร็วหรือความดันสถิตลดลง (รูปที่ 2. 7)



(ก) ข้อต่อเพิ่มขนาด (ข) ข้อต่อลดขนาด

<u>รูปที่ 2.7</u> การเปลี่ยนรูประหว่างความดันสถิตและความดันจากความเร็ว

6. ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อ

จากสมการพลังงานไหลจะเห็นว่าอย่างน้อยปั๊มหรือพัดลมจะต้องเอาชนะความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในระบบท่อให้ได้ ความเสียดทานคือความต้านทานการไหลเนื่องจากความหนืดและเนื่องจากผนังท่อ ในตัวอย่างที่ผ่านมาแล้วสมมุติค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานขึ้นมาทั้งสิ้น แต่ในทางปฏิบัติเราจะต้องคำนวณหามัน เนื่องจากการไหลในระบบ HVAC เป็นการไหลแบบวกวน (turbulent flow) ฉะนั้นจะหาความดันสูญเสียหรือความดันตก (pressure drop) เนื่องจากความเสียดทานได้จากสมการ

$$P_f = f\frac{LV^2}{2gD} \qquad (2.9)$$

โดยที่ P_f = ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อตรง , in.wg

f = แฟคเตอร์ความเสียดทาน

L = ความยาวท่อ , in.

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ , in.

V = ความเร็วของไหล , ft/sec

แฟคเตอร์ความเสียดทาน f ขึ้นกับความเรียบของผนังท่อผนังท่อที่มีผิวหยาบจะมีความต้านทานเนื่องจากความเสียดทานสูงกว่าผนังท่อผิวเรียบ ดังนั้นถ้าใช้ท่อผิวเรียบและดูแลรักษาให้สะอาดอยู่เสมอความเสียดทานจะน้อยและต้องการพลังงานเพื่อเอาชนะน้อยลง สำหรับเทอมอื่น ๆ ในสมการ 2.9 ก็ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เช่นกัน เช่นถ้าใช้ความเร็วต่ำลงและใช้ท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางโตขึ้น P_f จะลดลง ฉะนั้นระบบท่อจะต้องการพลังงานน้อยลง (แต่ราคาท่อจะสูงขึ้น) เป็นต้น

แม้ว่าอาจใช้สมการ 2.9 คำนวณหา P_f ได้แต่ไม่สะดวกเท่าการใช้ชาร์ทซึ่งใช้ได้ง่ายกว่าและให้ผลเช่นเดียวกับสมการ 2.9 ฉะนั้นจึงได้พัฒนาชาร์ทสำหรับการไหลของน้ำและอากาศในท่อขึ้นมา

7. ความดันสูญเสียที่ข้อต่อ

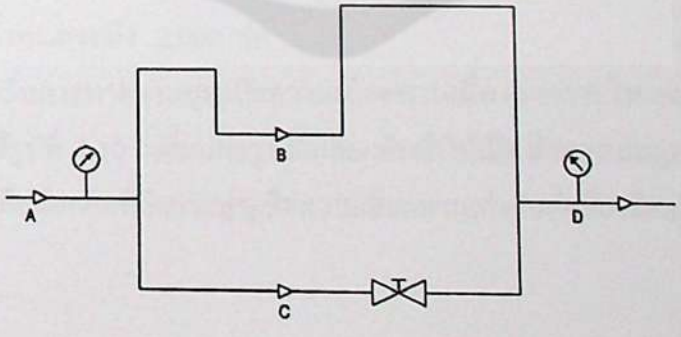
นอกจากจะเกิดความดันสูญเสียในท่อตรง ยังเกิดความดันสูญเสียเนื่องจากความวกวน(turbulence)และการเปลี่ยนทิศทางไหลที่ข้อต่อและวาล์วอีกด้วยเรียกความสูญเสียนี้ว่าความสูญเสียพลวัต (dynamic losses) ได้แสดงค่าความดันสูญเสียเหล่านี้ไว้ในภาคผนวกตารางที่ 1.4

ในหน่วยความยาวสมมูล (equivalent length ; E. L.) ซึ่งหมายถึงความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อหรือวาล์วจะเท่ากับความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อตรงซึ่งมีความยาวที่ระบุในตารางเมื่อหาค่าความยาวสมมูลได้แล้ว ก็จะสามารถหาความดันตกที่ข้อต่อหรือวาล์วนั้น ๆ ได้จากชาร์ทความดันตกเนื่องจากความเสียดทานตามปกติ

8. ความดันสูญเสีย (ความดันตก) ในระบบท่อ

ปัญหาที่พบทั่วไปได้แก่การหาความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในระบบท่อปิดเพื่อนำไปใช้หาเฮดของปั๊มที่จะนำมาติดตั้งต่อไป ความดันตกของระบบท่อจะเท่ากับผลบวกของความสูญเสียของทุกรายการตลอดเส้นทางหรือวงจรหนึ่งโดยนับจากทางส่งของปั๊มจนถึงทางดูดของปั๊มซึ่งหมายรวมถึงท่อ ข้อต่อ วาล์วและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ในวงจรนั้น สำหรับความดันตกของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะหาได้จากบริษัทผู้ผลิต

ในการหาความดันสูญเสียของระบบท่อจะหาความดันสูญเสียของวงจรใดวงจรหนึ่งเพียงวงจรเดียวเท่านั้นทั้งนี้เพราะความดันสูญเสียของทุกวงจรจะต้องเท่ากัน ซึ่งเหมือนกับวงจรไฟฟ้าคือ การสูญเสียความดันทางไฟฟ้า (Voltage loss) ของทุกวงจรที่ต่อขนานกันย่อมมีค่าเท่ากันรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าความดันตกจาก A และ D จะเท่ากับผลต่างของความดันที่อ่านได้จากมาตราวัดความดันที่จุด A และ D ดั้งนั้นความดันตกของวงจร ABD (วงจรยาว) จะเท่ากับของวงจร ACD (วงจรสั้น)



<u>รูปที่ 2.8</u> ความดันตกระหว่างจุดสองจุดใด ๆ ย่อมเท่ากัน

จากคำอธิบายข้างบนนี้ดูเหมือนว่าในการคำนวนหาความดันตกของระบบท่อสามารถเลือกวงจรไหนมาคำนวณก็ได้ เพราะจะต้องได้ค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติไม่อาจทำเช่นนี้ได้ เพราะในการออกแบบระบบท่อให้มีความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานต่อความยาวหนึ่งฟุตเท่ากัน ดังนั้นจากรูปที่ 2.8 จะดูเหมือนว่าความดันตกของวงจร ABD มากกว่าของวงจร ACD แต่เป็นไปไม่ได้ เพราะค่าความต่างของความดันที่มาตราวัด A และ D มีค่าเดียวเท่านั้น ฉะนั้นเพื่อให้ระบบบาลานซ์ ผู้รับเหมาจะติดตั้งทร๊อทเติ้ลวาล์ว (throttle valve) ในวงจร ACD เพื่อเพิ่มความดันตกและก่อให้เกิดการไหลที่ถูกต้องในวงจรนี้

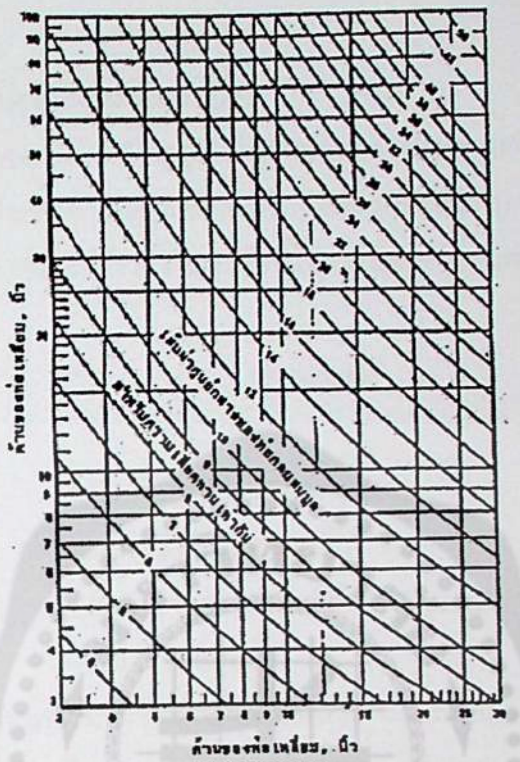
ด้วยเหตุนี้เองในการคำนวณความดันตกของระบบท่อจึงต้องเลือกวงจรที่มีความยาวมากสุด สำหรับวงจรที่สั้นกว่ามักติดตั้งวาล์วไว้และเปิดวาล์วเพียงบางส่วน ดังนั้นจึงยากที่จะคำนวณหาความดันตกในวงจรที่ติดตั้งวาล์วเหล่านี้ได้

ในการคำนวณความดันตก ขั้นแรกจะตรวจดูแบบทางเดินท่อเพื่อหาวงจรที่ยาวที่สุด แต่บางครั้งอาจเลือกวงจรที่ไม่ใช่วงจรที่ยาวที่สุด

9. ความสูญเสียความเสียดทานเนื่องจากการไหลของลม

ได้แสดงความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อลมกลมตรงโดยชาร์ทรูปที่ 2.9 ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับของท่อน้ำ ชาร์ทนี้เหมาะสำหรับท่อเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีที่สะอาดมีรอยต่อประมาณ 40 รอยต่อ ต่อความยาว 100 ฟุต และอากาศที่ไหลเป็นอากาศที่ภาวะมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม อาจใช้ชาร์ทนี้สำหรับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในระบบ HVAC ทั่วไปและใช้กับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลจนถึง 2,000 ฟุต

สำหรับการหาความสูญเสียความเสียดทานเนื่องจากการไหลของลมผ่านท่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะต้องใช้รูปที่ 2.10 เปลี่ยนท่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้เป็นท่อกลมสมมูล (equivalent round duct) ท่อกลมสมมูลคือท่อกลมที่มีความสูญเสียความเสียดทานเท่ากับท่อสี่เหลี่ยมที่ต้องการ



รูปที่ 2.9 ขนาดท่อกลมสมมูล

10. อัตราส่วนด้าน

ถ้ามองแบบผิวเผินดูเหมือนว่าท่อกลมสมมูลมีพื้นที่ภาคตัดเท่ากับสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความสูญเสียความเสียดทานเท่ากัน แต่แท้จริงแล้วไม่ใช่ ท่อกลมสมมูลจะมีพื้นที่ภาคตัดน้อยกว่าท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความสูญเสียความเสียดทานเสมอทั้งนี้เพราะท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภาคตัดมากกว่า ฉะนั้นจึงมีความเสียดทานมากกว่า ยิ่งถ้าท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้ามี " อัตราส่วนด้าน " สูงยิ่งมีค่าความสูญเสียความเสียดทานสูง อัตราส่วนด้าน (aspect ratio) คืออัตราส่วนระหว่างความยาวด้านของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองด้านที่อยู่ชิดกัน โดยทั่วไปควรออกแบบท่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีอัตราส่วนด้านต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ความสูญเสียความเสียดทานต่ำสุด ฉะนั้นจะเสียค่าวัสดุในการสร้างท่อและเสียพลังงานในการส่งลมน้อยสุด ถ้าอัตราส่วนด้านยิ่งสูงจะใช้โลหะทำท่อมากขึ้นและราคาท่อลมจะสูงขึ้น แต่ในทางปฏิบัติพื้นที่ว่างสำหรับเดินท่อในแนวระดับมักถูกจำกัดโดยระยะระหว่างเพดานแขวนกับพื้นห้องชั้นถัดไป ฉะนั้นอัตราส่วนด้านจึงมักมีค่าสูง

11. ความดันสูญเสียในข้อต่อท่อลม

อาจบอกความดันสูญเสียในข้อต่อท่อลมซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางไหลได้ 2 วิธี คือ วิธีความยาวสมมูลดังเช่นที่กล่าวมาแล้วสำหรับข้อต่อของท่อน้ำ และวิธีสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย (loss coefficient method) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อนี้โดยวิธีนี้จะคำนวณความดันสูญเสียจากสมการ

$$P_f = C_v P_v = C(V/4{,}000)^2 \qquad (2.10)$$

โดยที่ P_f = ความดันสูญเสียที่ข้อต่อ , in.wg

C_v = สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย

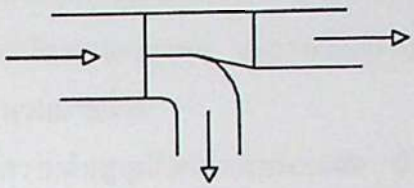
P_v = ความดันจากความเร็วที่ข้อต่อ , in.wg

V = ความเร็ว , ft / min

ได้ให้ค่า C_v สำหรับข้อต่อหลายชนิดไว้ในตารางภาคผนวก เนื่องจากความสูญเสียที่ข้อต่อขึ้นกับรูปร่างของข้อต่อ ซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ กันหลายแบบ

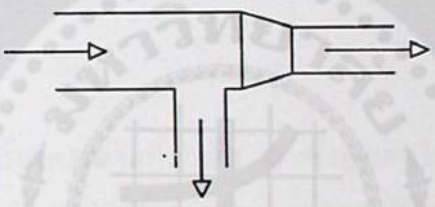
สำหรับการเปลี่ยนรูประหว่างความดันความเร็วและความดันสถิตที่ข้อต่อนั้นต้องคิดแยกต่างหากจากความดันสูญเสีย ผลของความดันสูญเสียคือความดันรวมและความดันสถิตลดลง สำหรับผลของการเปลี่ยนรูประหว่างความดันความเร็วและความดันสถิตนั้น ถ้าเป็นข้อต่อเพิ่มขนาดความดันสถิตจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็นข้อต่อลดขนาดความดันสถิตจะลดลงดังนั้นให้นำผลเนื่องจากความดันสูญเสียและเนื่องจากการเปลี่ยนรูปความดันมารวมกันทางพีชคณิตเพื่อหาความดันสถิตสุทธิ

ในกรณีที่มีข้อต่อเปลี่ยนขนาดร่วมกับท่อแยกอยู่ในระบบท่อลม ให้คิดความดันสูญเสียในท่อเส้นประธานและท่อแยกแยกจากกัน โดยค่าความดันสูญเสียทั้งในท่อเส้นประธานและท่อแยกต่างขึ้นกับรูปร่างของมัน ในกรณีที่จำเป็นต้องลดความสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุดควรจะทำท่อแยกให้มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในกรณีนี้ความดันสูญเสียในท่อตรงจะมีค่าน้อยมากจนตัดทิ้งได้ สำหรับความดันสูญเสียในท่อแยกอาจคำนวณโดยถือว่าเป็นข้องอธรรมดา



รูปที่ 2.10 ท่อแยกแบบที่มีความดันสูญเสียน้อย

ในกรณีที่ต้องการลดค่าแรงในการทำข้อต่ออาจสร้างข้อต่อดังรูปที่ 2.11 ก็ได้ แต่ความดันสูญเสียในท่อแยกจะสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความเร็วลมสูงด้วย



รูปที่ 2.11 ท่อแยกแบบมีความดันสูญเสียมาก

12. ความดันสูญเสียที่ทางเข้าและทางออกของท่อลม

ความดันสูญเสียที่ทางเข้าและทางออกของพัดลมขึ้นกับรูปร่างของข้อต่อระหว่างตัวเรือนพัดลมและท่อลม เรียกความสูญเสียนี้ว่าอิทธิพลระบบ (system effects) ซึ่งได้แสดงสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย C_v ของมันไว้ในตารางภาคผนวก ถ้าพิจารณาข้อต่อชนิดต่างๆ ในตารางภาคผนวกที่เป็นข้อต่อชนิดต่างๆ จะเห็นความสำคัญของอิทธิพลระบบและการเลือกใช้ข้อต่อที่ดีสำหรับต่อกับพัดลม อาจหาอิทธิพลระบบเพิ่มเติมได้จาก Air Moving and Conditioning Association (AMCA) manuals

13. ความดันสูญเสียของระบบท่อลม

เนื่องจากในการหาความจุ (capacity) ของพัดลม ควรสอบสมรรถนะของอุปกรณ์และการบาลานซ์ปริมาณลมจำเป็นต้องทราบความดันสูญเสียของระบบท่อลม นิยามความดัน

สูญเสียรวมของระบบท่อลมว่าคือความดันสูญเสียตลอดเส้นท่อที่มีความดันสูญเสียสูงสุดในระบบท่อลม ปกติเส้นท่อนี้มักเป็นเส้นท่อที่มีความยาวสูงสุด แต่อาจเป็นเส้นท่อที่มีความยาวน้อยกว่าและมีข้อต่อที่มีค่าความดันสูญเสียสูงอยู่จำนวนมากก็ได้

ในการวิเคราะห์ความดันสูญเสียของระบบท่อลม ถ้าวิเคราะห์ความดันรวมสูญเสียจะวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์ความดันสถิตสูญเสีย เพราะเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ ขึ้นมาจะสามารถหาความดันรวมที่จุดใดๆได้ดีกว่า อาจหาความดันรวมสูญเสียของระบบท่อลมได้โดยบวกความดันสูญเสียในท่อตรงและข้อต่อทุกท่อนที่มีอยู่ในเส้นท่อเข้าด้วยกัน ถ้ามีอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอยล์ กรองอากาศ หัวจ่ายลมอยู่ในเส้นท่อเหล่านี้ จะต้องบวกความดันตกของอุปกรณ์เหล่านี้เข้าไปด้วยโดยจะหาค่าความดันตกของอุปกรณ์เหล่านี้ได้จากบริษัทผู้ผลิต

<u>วิธีออกแบบท่อลม</u>

อาจแก้ปัญหาเรื่องความดันที่หัวจ่าย G ซึ่งสูงเกินไปได้ โดยติดตั้งบานปรับลม (damper) ไว้ที่ท่อแยก และหรี่บานปรับลมบางส่วน แต่การแก้ปัญหาโดยวิธีนี้ อาจก่อปัญหาเรื่องเสียงรบกวนตามมา มีวิธีการแก้ปัญหาที่ดีกว่าคือออกแบบระบบท่อให้ความดันส่วนเกินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปความดันสูญเสียดังจะได้อธิบายข้างล่างนี้ข้อที่แล้วแสดงให้เห็นว่าถ้าทราบขนาดท่อลมแล้วจะหาความดันสูญเสียได้อย่างไร แต่ในทางปฏิบัติ ในการวางแผนผังการเดินท่อลมมักจะต้องกำหนดขนาดท่อเป็นอันดับแรกแล้วจึงหาความดันสูญเสียให้ภายหลัง ในที่นี้จะอธิบายวิธีการออกแบบระบบท่อสองวิธีคือ วิธีความเสียดทานเท่ากัน และวิธีความดันสถิตได้คืน (static regain method)

ท่อลมเป็นอุปกรณ์ที่จะอำนวยให้ลมจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง เช่น จากคอยล์เย็นไปยังหัวกระจายลมในห้อง หรือลมกลับผ่านช่องลมกลับคืนไปยังคอยล์เย็น เป็นต้น

ในการออกแบบท่อลม สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณามีอยู่ 4 ประการ คือ

1. เนื้อที่และสถานที่ติดตั้ง ท่อลมปกติมักจะติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน ดังนั้น ต้องพิจารณาถึงเนื้อที่เป็น ฝ้าเพดานประกอบด้วย ขนาดของท่อลมจะเปลี่ยนไปตามเนื้อที่ช่องว่างที่จะติดตั้ง เช่น ท่อลมอาจจะมีรูปร่างกว้างและแบน หรืออาจจะต้องงอขึ้นลง และถ้าหากเป็นท่อตั้งที่จะต้องผ่านพื้นที่ที่สำคัญและใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้มาก ก็จำต้องทำให้เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ บางครั้งถึงกับต้องมีความจำเป็นติดตั้งท่อลมนอกอาคาร

2. สถานที่ที่จะติดตั้งท่อลมต้องนำมาพิจารณาด้วยเพราะถ้าท่อลมเป็นที่ติดตั้งในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะต้องใช้ฉนวนหุ้มหนาเพื่อป้องกันความร้อนที่จะรั่วเข้าในท่อลมเย็นด้วยความต้านทานแรงพัดลม ท่อลมขนาดเล็กมีความเสียดทานสูงทำให้ความเย็นของลมตกลงมาก จึงต้องใช้พัดลมที่มีความดันสูงแต่ขณะเดียวกันจะเสียค่าใช้จ่ายค่ากระแสไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์พัดลมสูงขึ้นด้วย

3. ความดังของเสียง ถ้าความเร็วลมในท่อลมสูงจะทำให้เกิดเสียงดังเป็นเสียงหวีดหวิว หรือเสียงดังหึ่งเช่นเดียวกับเสียงที่เกิดจากพัดลม ดังนั้นถ้าใช้ท่อลมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นความเร็วลมจะลดลง ซึ่งสามารถขจัดเสียงดังที่เกิดขึ้นได้

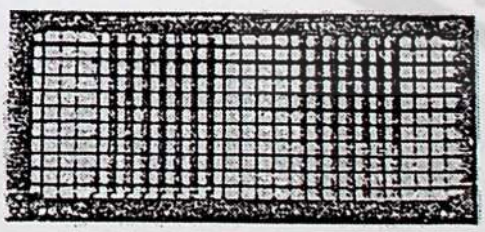
4. ค่าใช้จ่ายในการสร้างท่อลม ค่าใช้จ่ายขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ระบบและขนาดท่อลมขนาดเล็กทำให้เกิดเสียงดัง แต่จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างวัสดุที่ใช้ทำท่อลมและวัสดุฉนวนที่ใช้หุ้มท่อลม ท่อลมขนาดใหญ่สามารถลดเสียงดังได้แต่เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง

อุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบท่อลมมีดังนี้

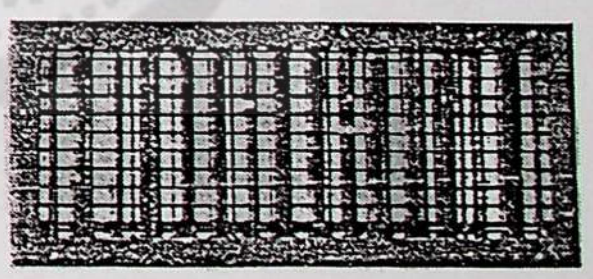
1. หัวกระจายลม

หัวกระจายลมหมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้กระจายลมเข้าไปในบริเวณปรับอากาศ ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือ

1). หัวกระจายลมแนวนอน หมายถึง หัวกระจายลมที่ติดตั้งอยู่กับผนังห้องเพื่อการกระจายลมออกทางแนวนอน

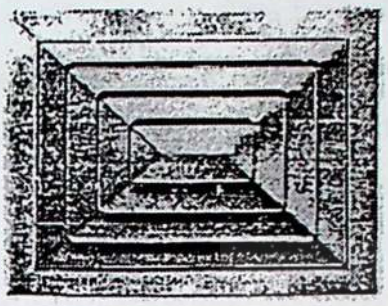


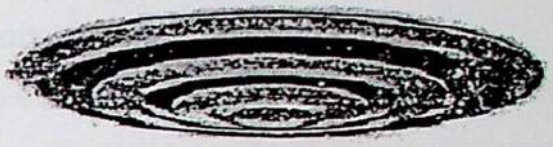
<u>รูปที่ 2.12</u> หัวกระจายลมแนวนอนประกอบด้วยครีบปรับทิศทางลมสองชุด ชุดชั้นนอกติดตั้งในแนวดิ่งเพื่อปรับให้ลมไปทางซ้ายและขวา ชุดชั้นในติดตั้งในแนวนอนเพื่อปรับให้ลมขึ้นบนหรือลงล่าง



<u>รูปที่ 2.13</u> หัวกระจายลมแนวนอนประกอบด้วยครีบปรับทิศทางลมสามชุดชุดชั้นนอกสุดและในสุดติดตั้งในแนวดิ่งเพื่อจ่ายลมไปทางซ้ายและขวา ชุดชั้นกลางติดตั้งในแนวนอนเพื่อปรับให้ลมขึ้น

2). หัวกระจายลมแนวดิ่ง หมายถึงหัวกระจายลมที่ติดตั้งอยู่บนเพดานห้อง เพื่อจ่ายลมลงไปในแนวดิ่ง แต่ในความเป็นจริงหัวกระจายลมจะมีครีบทำให้ลมไม่ลงในแนวดิ่งเลยทีเดียวแต่จะเกิดการกระจายไปทั่วห้อง

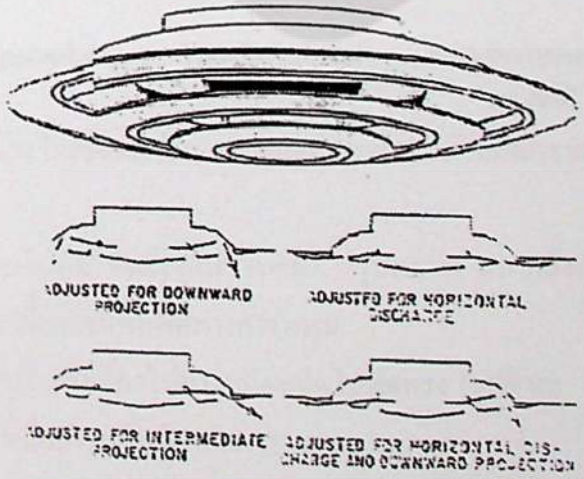




<u>รูปที่ 2.14</u> หัวกระจายลมแนวดิ่งแบบสี่เหลี่ยม <u>รูปที่ 2.15</u> หัวกระจายลมแนวดิ่งแบบกลม

การเลือกหัวกระจายลม ขั้นแรกของการเลือกขนาดของหัวกระจายลม ต้องทราบปริมาณลมที่จะต้องจ่ายก่อน ปริมาณลมปกติจะทราบจากข้อมูลการคำนวณหาภาระของการทำความเย็น แต่ถ้าไม่มีข้อมูลดังกล่าวสามารถจะประมาณได้ดังนี้ สำหรับบ้านพักอาศัยหรือห้องทำงานให้คิดปริมาณลม 1 ft^3 / min ต่อพื้นที่ 1 ตารางฟุตสำหรับพื้นที่มุมห้อง แต่ถ้าเป็นพื้นที่ทั่วไปคิด 0.8 ft^3 /min ต่อพื้นที่ 1 ตารางฟุต

สำหรับปริมาณอากาศที่จะดูดกลับในแต่ละนาทีให้คิดปริมาตรของห้องหารด้วย 12 เช่นปริมาตรห้องเท่ากับ 1200 ลูกบาศก์ฟุต ปริมาณของอากาศที่จะดูดกลับเท่ากับ 100 ft^3 / min



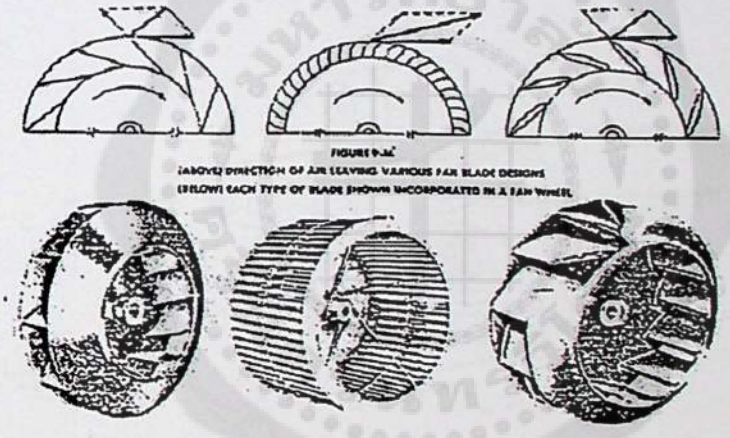
<u>รูปที่ 2.16</u> การปรับทิศทางลมของหัวกระจายลมแนวดิ่งแบบรูปกลม

หอสมุดมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
107 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

2. พัดลม

พัดลมที่ใช้ในงานปรับอากาศ แบ่งออกเป็นสองชนิดคือ พัดลมแบบแรงเหวี่ยงและพัดลมแบบแนวแกน การเคลื่อนที่ของลมในพัดลมแบบแรงเหวี่ยงจะเคลื่อนที่แนวรัศมีตั้งฉากกับเพลา ส่วนการเคลื่อนที่ของลมในพัดลมแบบแนวแกนจะเคลื่อนที่ในแนวขนานกับเพลา

1). พัดลมแบบแรงเหวี่ยง ในงานจริงพัดลมแบบแรงเหวี่ยงยังแบ่งย่อยออกไปอีกหลายอย่างแต่ทุกแบบยังคงใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกัน พัดลมแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในงานปรับอากาศแบ่งเป็น แบบใบพัดโค้งเอียงไปข้างหน้า, ใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดใบตรง, และใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดแอร์ฟอยล์



ใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดใบตรง ใบพัดเอียงไปข้างหน้า ใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดแอร์ฟอยล์

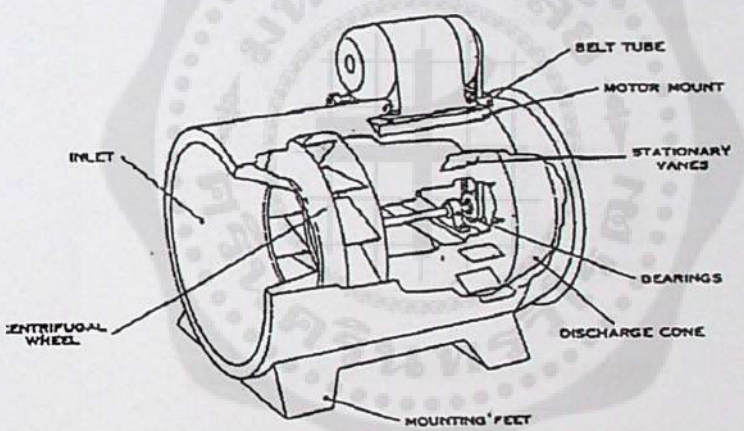
<u>รูปที่ 2.17</u> พัดลมแบบแรงเหวี่ยงชนิดต่าง ๆ แสดงถึงทิศทางของลมที่ออกจากใบพัดและรูปร่างใบพัด

พัดลมแบบใบพัดโค้งเอียงไปข้างหน้า (รูปกลาง) หมายถึงพัดลมที่มีใบพัดโค้งโดยที่ปลายของใบพัดอยู่ด้านหน้าเมื่อเทียบกับทิศทางการหมุน

พัดลมแบบใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดใบพัดตรง (รูปซ้าย) หมายถึงพัดลมที่มีใบพัดปลายของใบพัดอยู่ด้านหลังเมื่อเทียบกับทิศทางการหมุน

พัดลมใบพัดเอียงไปข้างหลังชนิดแอร์ฟอยล์ หมายถึงพัดลมที่ปลายของใบพัดอยู่ด้านหลังเมื่อเทียบกับทิศทางการหมุนเช่นเดียวกัน และลักษณะของใบพัดมีความโค้งคล้ายกับ ความโค้งของปีกเครื่องบิน พัดลมแบบดังกล่าวสามารถลดความปั่นป่วนของกระแสลมภายในพัดลมจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและลดเสียงดังได้ด้วย

ในงานปรับอากาศโดยทั่วไปจะใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงทั่งสามแบบ พัดลมแบบใบพัดเอียงไปข้างหลังทั้งชนิดใบพัดตรงและใบพัดชนิดแอร์ฟอยล์ นิยมใช้กับพัดลมขนาดใหญ่คือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเกิน 24 นิ้วขึ้นไป ทั้งนี้เพราะพัดลมแบบดังกล่าวใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนน้อยและมีเสียงที่เกิดขึ้นเบากว่าแบบใบพัดเอียงไปข้างหน้า ในทางกลับกันพัดลมแบบใบพัดเอียงไปข้างหน้านิยมใช้กับพัดลมขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะสามารถใช้ความเร็วรอบต่ำได้ ขณะเดียวกันยังสามารถใช้พัดลมหลาย ๆ ตัวร่วมบนเพลาเดียวกันได้

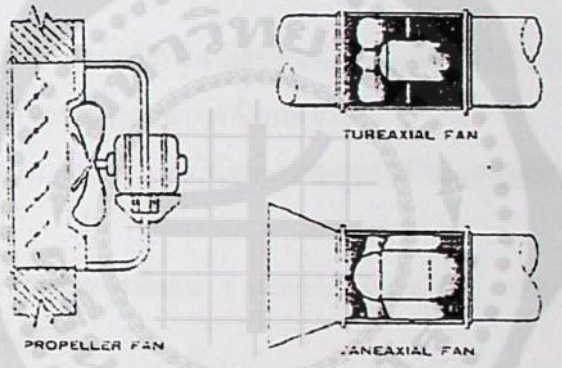


<u>รูปที่ 2.18</u> พัดลมแบบแรงเหวี่ยงชนิดทิวบูล่า

ในงานปรับอากาศบางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้งพัดลมเป็นอย่างมาก ไม่มีเนื้อที่พอที่จะติดตั้งพัดลมแบบแรงเหวี่ยง ชนิดธรรมดาที่มีการส่งลมออกทางแนวรัศมีหรือตั้งฉากกับเพลาของพัดลม จะสามารถทำได้ก็แต่เพียงส่งลมออกในแนวเพลาของพัดลมหรือในกรณีที่ใช้ท่อลมแบบกลม ในกรณีดังกล่าวนี้จึงต้องใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงชนิดทิวบูล่า

พัดลมแบบแรงเหวี่ยงชนิดทิวบูล่า เป็นพัดลมที่ออกแบบให้ดูดและจ่ายลมในแนวเดียวกับเพลาโดยการดัดแปลงและ ติดตั้งพัดลมแบบแรงเหวี่ยงภายในตัวเรือนพัดลม ซึ่งมีครีบสำหรับปรับทิศทางลมที่ออกจากพัดลม จากแนวตั้งฉากกับเพลาเป็นขนานกับเพลา (สังเกตจากรูปที่ 2.20)

2). พัดลมแบบแนวแกน หมายถึง พัดลมที่มีทิศทางดูดและเป่าลมขนานกับเพลาโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อย่างอื่นช่วยในการปรับทิศทางแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิด propellor, tube axial และ vane axial ดังแสดง ในรูปที่ 2.19 พัดลม propeller เป็นพัดลมที่ให้ความดันต่ำ, ปริมาณลมมาก ปกติใช้ในงานที่ต้องการความดันสแตติคส์ไม่เกิน 10 นิ้ว (ความสูงของน้ำ) การส่งกำลังขับพัดลมชนิดดังกล่าวมีทั้งต่อเข้าโดยตรงกับเพลาของมอเตอร์หรือใช้สายพานตัววี



<u>รูปที่ 2.19</u> พัดลมแบบแนวแกนชนิดต่างๆ

คุณสมบัติของความต้องการกำลังงานขับพัดลม propeller จะตรงกันข้ามกับพัดลมแบบแรงเหวี่ยง กล่าวคือ พัดลม propeller ต้องการกำลังงานขับน้อยที่สุดเมื่อพัดลมส่งจ่ายลมในปริมาณที่มากที่สุด ซึ่งถ้าเป็นพัดลมแบบแรงเหวี่ยงแล้วจะไม่ต้องการกำลังงานในการขับเมื่อไม่ต้องส่งลมเลย เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะในการใช้งานของพัดลม propeller และพัดลมแบบแรงเหวี่ยงจะปรากฏว่า ในงานที่ต้องการปริมาณลมมากและความดันต่ำ พัดลม propeller จะใช้กำลังงานในการขับน้อยกว่าพัดลมแบบแรงเหวี่ยง

พัดลม tube axial เป็นพัดลมงานหนักและเป็นพัดลมที่ติดตั้งอยู่ระหว่างท่อลมเพื่อเพิ่มกำลังลมในท่อลม แต่ในความเป็นจริงแล้วการใช้ทั้งพัดลม propeller และพัดลม tube axial เพื่อส่งลมไปตามท่อลมเป็นสิ่งที่ไม่ถูกต้องนัก ทั้งนี้เพราะลมที่ออกจากพัดลมจะมีการเคลื่อนที่ในลักษณะ

หมุนเป็นรูปเกลียว ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้จะทำให้ความเสียดทานในท่อลมมากกว่าการเคลื่อนที่แบบเป็นเส้นตรง พัดลม tube axial ใช้งานที่ต้องการความดันไม่เกิน 2 หรือ 3 นิ้ว (ความสูงของน้ำ) และต้องเป็นงานที่ไม่คำนึงถึงเสียงรบกวนที่เกิดจากพัดลม

พัดลม vane axial เป็นพัดลมที่ปรับปรุงมาจากพัดลม tube axial โดยการเพิ่มครีบนำลมติดอยู่ในด้านทางออกของลม ซึ่งปรับลักษณะการเคลื่อนที่ของลมที่ออกจากพัดลมในรูปเกลียวให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงทั้งนี้เป็นการเพิ่มความดันสถิต,ลดความเสียดทานในท่อลม และลดเสียงดังด้วย

พัดลม vane axial และ tube axial ใช้กับงานที่ต้องการประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง ดังนั้นส่วนใหญ่จึงใช้ในยานพาหนะ เช่น รถยนต์ , รถไฟและเรือ

สมรรถนะของพัดลม

ความจุของพัดลม หมายถึงปริมาตรของลมที่ผ่านพัดลมในหนึ่งหน่วยเวลา ปกติจะถือว่าปริมาตรของลมที่ผ่านทางเข้าและทางออกของพัดลมเท่ากัน

ความเร็วลมด้านทางออก หาได้จากความจุของพัดลมหารด้วยพื้นที่หน้าตัดด้านทางออกของพัดลม

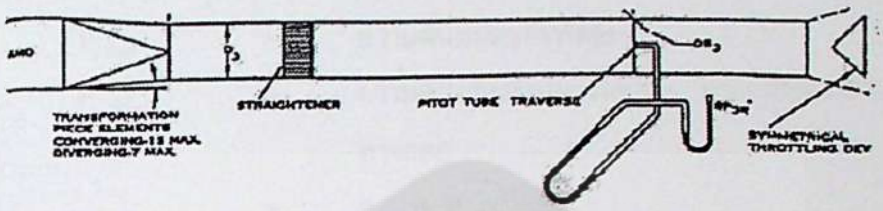
ความดันจากความเร็วของพัดลม (velocity pressure) หมายถึงความดันที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมที่ออกจากพัดลม

$$P_v = \left(\frac{V}{4{,}000}\right)^2 \qquad (2.11)$$

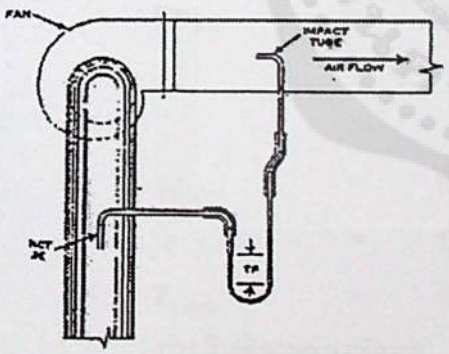
เมื่อ P_v = ความดันจากความเร็วของพัดลม , in.wg

V = ความเร็วลม , ft / min

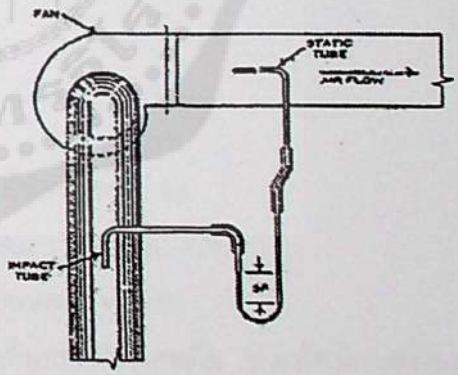
ความดันทั้งหมดของพัดลม (Total pressure) หมายถึงความดันแตกต่างที่เกิดจากความดันทั้งหมดที่ด้านทางออกของพัดลม และความดันทั้งหมดที่ด้านทางเข้าของพัดลม วิธีการวัดความดันของพัดลมดังแสดงในรูป



<u>รูปที่ 2.20</u> การจัดวางอุปกรณ์เพื่อทดสอบสมรรถนะของพัดลม



<u>รูปที่ 2.21</u> การวัดความดันทั้งหมดของพัดลม



<u>รูปที่ 2.22</u> การวัดความดันสถิตของพัดลม

ความดันสถิตของพัดลม หมายถึง ความดันทั้งหมดของพัดลมลบด้วยความดันจากความเร็วของพัดลม ดังสมการ

$$P_{s\,(fan)} = P_{t(0)} - P_{t(I)} - P_{v(0)} \qquad (2.12)$$

โดยที่ $P_{s\,(fan)}$ = ความดันสถิตของพัดลม

$P_{t\,(0)}$ = ความดันสถิตด้านทางออก + ความดันจากความเร็วด้านทางออก

= $P_{s(0)} + P_{v(0)}$

$P_{t\,(I)}$ = ความดันทั้งหมดด้านทางเข้าของพัดลม

= ความดันสถิตด้านทางเข้า + ความดันจากความเร็วด้านทางเข้า

= $P_{s(I)} + P_{v(I)}$

กำลังงานที่ใช้ขับพัดลม หาได้จากสูตร

$$Hp_{(fan)} = Q \times Fan\ P_t \qquad (2.13)$$

เมื่อ

$Hp_{(fan)}$ = กำลังงานที่ใช้ขับพัดลม , hp

Q = ปริมาณของลม , ft^3 / min

$P_{t\,(fan)}$ = ความดันทั้งหมดของพัดลม

ประสิทธิภาพของพัดลม แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ ประสิทธิภาพทั้งหมดและประสิทธิภาพสถิต ประสิทธิภาพทั้งหมดของพัดลม หรือประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม คือ พลังงานที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดหารด้วยพลังงานที่ให้แก่พัดลม หาได้โดยอาศัยความดันทั้งหมดของพัดลม

ประสิทธิภาพทั้งหมดของพัดลม $= \frac{QP_{t\,(fan)}}{HP_{(break)}}$ (2.14)

ประสิทธิภาพสถิตของพัดลม คือ พลังงานสถิตที่ได้หารด้วยพลังงานที่ให้แก่พัดลม หาได้โดยอาศัยความดันสถิตของพัดลม

ประสิทธิภาพสถิตของพัดลม $= \frac{QP_{s\,(fan)}}{HP_{(break)}}$ (2.15)

ประสิทธิภาพทั้งหมดของพัดลมและประสิทธิภาพสถิตของพัดลมโดยทั่วไปแล้วจะใช้หา brake hp ของพัดลม โดยใช้สูตรใดสูตรหนึ่งกล่าวคือ ค่าประสิทธิภาพของพัดลมทั้งสองแบบปกติจะกำหนดไว้โดยบริษัทผู้ผลิต เมื่อนำมาใช้งานถ้าทราบค่า ความดันทั้งหมดของพัดลม (Fan P_t) หรือ ความดันสถิตของพัดลมก็จะสามารถหาค่ากำลังงานที่ใช้ขับพัดลมได้

กฎของพัดลม

ในกรณีที่ความเร็วของพัดลม หรือความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงจะทำให้สมรรถนะของพัดลมเปลี่ยนแปลงไปด้วย การเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของพัดลม เป็นไปตามกฎของพัดลม ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

ถ้า Q = ความจุของพัดลม

P = ความดันสถิต , ความดันทั้งหมดหรือความดันจากความเร็วของพัดลม

กรณีที่ 1. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของพัดลม โดยที่ความหนาแน่นของอากาศคงที่กฎของพัดลมจะเป็นไปดังนี้

ก) Q : แปรผันกับ ความเร็วของพัดลม

ข) P : แปรผันกับ ความเร็วของพัดลมกำลังสอง

ค) กำลังงาน : แปรผันกับ ความเร็วของพัดลมกำลังสาม

กรณีที่ 2. เมื่อความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงโดยที่ความเร็วของพัดลมคงที่ กฎของพัดลมจะเป็นไปดังนี้

ก) Q : คงที่

ข) P : แปรผันกับความหนาแน่น

ค) กำลังงาน : แปรผันกับความหนาแน่น

เนื่องจากว่าสมรรถนะของพัดลมเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาแน่น ดังนั้น เมื่อจะพูดถึงสมรรถนะของพัดลมจึงต้องพูดถึงที่ความหนาแน่นของอากาศอันเดียวกัน มาตราฐานของความหนาแน่นที่ใช้คือ $1b/ft^3$ และปริมาตรจำเพาะ $13.33\ ft^3/1b$

วิธีความเสียดทานเท่ากัน

การกำหนดขนาดท่อด้วยวิธีความเสียดทานเท่ากันมีขั้นตอนดังนี้คือ อันดับแรกเลือกความสูญเสียความเสียดทานขึ้นมาแล้วใช้ค่านี้หาขนาดท่อทั้งระบบ ปกติจะเลือกความสูญเสียความเสียดทานที่ท่อประธานท่อนที่ต่อกับทางออกพัดลม โดยเลือกความเร็วลมสูงสุดที่ยอมให้ซึ่งเป็นความเร็วที่จะไม่เกิดเสียงรบกวนเกินไป

ในกรณีที่เลือกใช้อุปกรณ์ส่งลมเย็นชนิดที่ประกอบเสร็จทั้งชุดจากโรงงาน อุปกรณ์ประเภทนี้มักติดตั้งพัดลมมาให้ด้วยแล้ว ดังนั้น capacity ความดันของพัดลมจึงมีค่าแน่นอนหรือถูกจำกัดไว้ที่ค่าหนึ่ง ดังนั้นการออกแบบท่อในกรณีนี้แทนที่จะเริ่มโดยเลือกความเร็วกลับต้องหาความยาวสม-มูลของระบบท่อลมก่อน แล้วนำไปหาความดันพัดลมเพื่อหาความดันสูญเสียสูงสุดสำหรับใช้ออกแบบกรณีดังกล่าวนี้อาจพบได้ไม่บ่อยนัก เพราะระบบท่อลมที่ใช้อุปกรณ์ประเภทที่ประกอบเสร็จทั้งชุดจากโรงงานมักเป็นระบบท่อขนาดเล็กแต่ก็ควรที่จะต้องตรวจสอบดูด้วย

การออกแบบระบบท่อโดยวิธีความดันสูญเสียเท่ากันเป็นวิธีที่ง่ายและเป็นวิธีที่กล่าวได้ว่านิยมใช้มากที่สุด วิธีนี้ใช้ได้ดีกับระบบท่อลมที่ระยะระหว่างหัวจ่ายหัวแรกและหัวจ่ายหัวสุดท้ายไม่ห่างกันมากนัก แต่ถ้าเป็นระบบที่มีระยะห่างกันมากหัวจ่ายลมที่อยู่ใกล้พัดลมจะมีความดันมากเกินไปซึ่งเป็นผลให้บาลานซ์ปริมาณลมได้ยากและอาจก่อให้เกิดเสียงรบกวน

ถ้าหัวจ่ายตัวที่อยู่ใกล้พัดลมที่สุดอยู่บนท่อแยกซึ่งมีความยาว อาจแก้ปัญหาได้โดยปรับปรุงวิธีความเสียดทานเท่ากันเสียใหม่ โดยออกแบบท่อช่วงที่ยาวที่สุดโดยใช้ความสูญเสียความเสียดทานออกแบบและเลือกความสูญเสียความเสียดทานให้สูงขึ้นสำหรับกำหนดขนาดท่อแยกเพื่อกำจัดความเสียดทานส่วนเกินให้หมดไป อาจลดความแตกต่างความดันของทั้งระบบซึ่งมากเกินไปให้น้อยลงได้ โดยออกแบบท่อด้วยวิธีความดันสถิตได้คืน (static regain)

การคำนวณโดยวิธีความดันสถิตได้คืน (static regain)

มักใช้วิธีนี้ออกแบบระบบท่อลมความเร็วสูง (สูงกว่า 2,500 - 3,200 fpm) วิธีความดันสถิตได้คืนจะหาขนาดท่อโดยลดความเร็วลมในท่อแต่ละท่อนลง เพื่อให้ความดันสถิตที่ได้กลับคืนสูงพอที่จะชดเชยกับความสูญเสียความเสียดทานในท่อท่อนถัดไป ดังนั้น ความดันสถิตที่แต่ละทางแยกในท่อเส้นประธานจะมีค่าเท่ากันทั้งระบบ

เมื่ออากาศไหลผ่านส่วนของท่อลดความดัน ความเร็วของอากาศจะลดลงพลังงานจลน์ของลำอากาศจะขึ้นอยู่กับความเร็ว ความดันที่ลดลงรวมทั้งการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานหรือการไหลวน ทั้งหมดนี้จะถูกส่งผ่านไปด้วยความดันสถิตของลำอากาศซึ่งสูงขึ้นเป็นลำดับ ความดันสถิตที่สูงขึ้นนี้จะหาได้จากความเสียดทานและการสูญเสียอื่นๆในท่อที่ลดขนาดลง วิธีนี้จะใช้ได้ดีที่สุดกับระบบที่อากาศไหลด้วยความเร็วปานกลางและความเร็วสูงและมีพลังงานจลมากพอที่หาค่าได้ตั้งแต่ต้น แต่ความเร็วท่ลดลงอย่างต่อเนื่องจะทำให้อากาศไหลด้วยพลังงานที่ต่ำมากจึงทำให้ขนาดของท่อมีแนวโน้มที่ใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ดังเหตุผลข้างต้นนี้จึงเป็นไปได้เพียงอย่างเดียวว่าขนาดของระบบที่ความดันสถิตได้คืนที่แจกจ่ายออกไปจะเล็กลง

ถ้าความเร็วและความดันพิจารณาถึงพลังงานจลน์ต่อหน่วยปริมาตร (unit volume) โดยให้ v แทน mean velocity ของอากาศที่ไหล m แทนมวล และ ρ แทนความหนาแน่น ทั้งหมดนี้เราสามารถ derive สมการได้ดังนี้

$$P_v = (0.5\,mv^2)/(\text{Volume}) = 0.5\rho v^2 \qquad (2.16)$$

ถ้าความหนาแน่นของอากาศเป็น 1.2 kg/m^3 สมการจะกลายเป็น

$$P_v = 0.6v^2 \qquad (2.17)$$

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

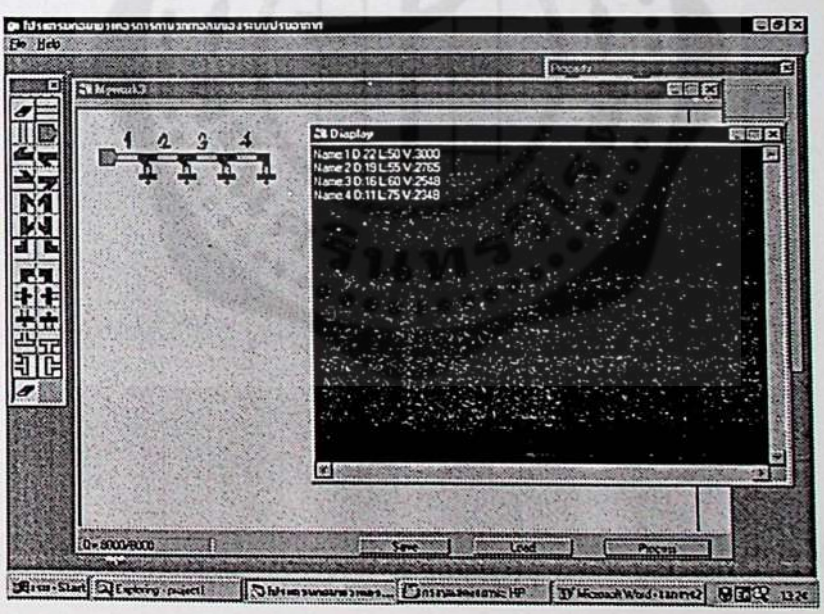
ขั้นตอนการทำงาน

1. กำหนดลักษณะการทำงานให้อยู่ในรูป เมนูหลัก ซึ่งประกอบด้วย
   - การหาขนาดของท่อลม (diameter)
2. ถ้าเลือกการทำงานในส่วนของการหาขนาดท่อลมก็จะมีเมนูย่อยคือ
   - หน้าต่างเลือกสถานที่ติดตั้งระบบท่อ
   - หน้าต่างเลือกอุปกรณ์
   - หน้าต่างสำหรับออกแบบระบบท่อ
   - หน้าต่างสำหรับป้อนค่าต่างๆของอุปกรณ์
3. ถ้าเลือกการทำงานในส่วนของปุ่มอุปกรณ์ ก็จะมีอุปกรณ์ชนิดต่างๆให้เลือกเช่น
   - ข้อต่อชนิดต่างๆ
   - ท่อกลมสมมูล
   - บานปรับลม (damper) ชนิดต่างๆ
4. ลากอุปกรณ์ที่เลือกในหัวข้อ 3 มาต่อกันในหน้าต่างสำหรับออกแบบระบบท่อ
5. จากนั้นโปรแกรมจะถามหาค่าต่างๆของอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณในหน้าต่างสำหรับป้อนค่า เช่น
   - อัตราการไหลของอากาศ
   - ความยาวท่อ
   - ขนาดต่างๆของข้อต่อ

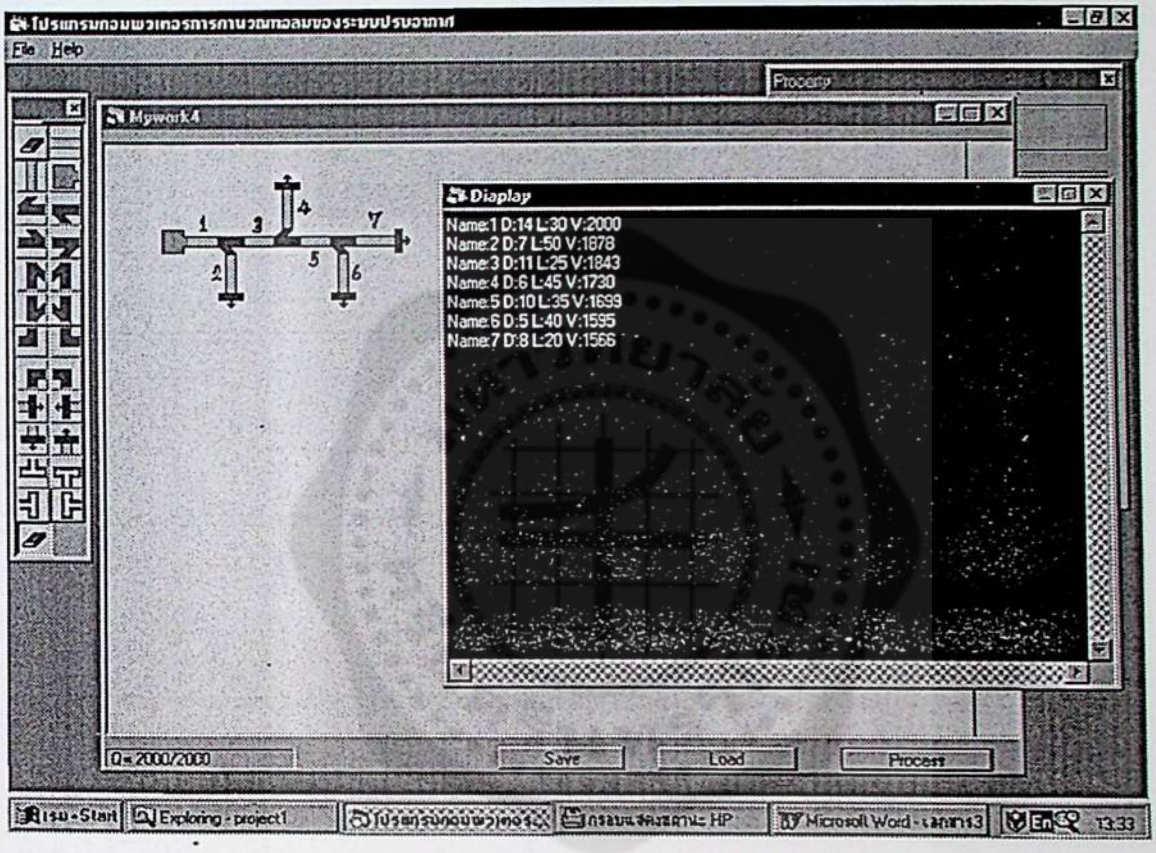
บทที่ 4

ผล และวิเคราะห์ผล

จากบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณหา ขนาดของท่อลมในงานปรับอากาศ ส่วนในบทนี้จะเป็นการแสดงตัวอย่างการออกแบบระบบท่อลม และแสดงผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยตรง (วิธีการคำนวณโดยละเอียดสามารถดูได้ที่ ภาคผนวกตัวอย่างการคำนวณ) ในรูปแบบตาราง ดังต่อไปนี้



<u>รูปที่ 4.1</u> จอภาพแสดงการออกแบบและผลการคำนวณขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.2 จอภาพแสดงการออกแบบและผลการคำนวณขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่2

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่ 1

ท่อที่	ค่าที่ได้จากการคำนวณ (in.)	ค่าที่ได้จากโปรแกรม (in.)	เปอร์เซ็นความผิดพลาด (%)
1	22	22	0
2	19	19	0
3	16	16	0
4	11	11	0

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบขนาดของท่อลม ตัวอย่างที่ 2

ท่อที่	ค่าที่ได้จากการคำนวณ (in.)	ค่าที่ได้จากโปรแกรม (in.)	เปอร์เซ็นความผิดพลาด (%)
1	14	14	0
2	7	7	0
3	11	11	0
4	6	6	0
5	10	10	0
6	5	5	0
7	8	8	0

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลอง ใส่ข้อมูลในการคำนวณ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยตรงด้วยโปรแกรมคำนวณอย่างง่ายจะพบว่าในบทที่ 4 ตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้มีผลลัพธ์ที่เท่ากัน เพราะ เป็นการใช้ข้อมูล วิธีการ และสมการในการคำนวณที่เหมือนกัน เพียงแต่การใช้โปรแกรมออกแบบและคำนวณขนาดของท่อลมนั้นสะดวกและรวดเร็วกว่าเป็นอันมาก เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีขั้นตอนการทำงานและทำการคำนวณแบบซ้ำๆกันได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วเป็นอย่างยิ่ง

จากการทดลองนำค่าที่ได้จากการคำนวณโดยตรงมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรม ดังที่ได้แสดงไว้นั้น จะเห็นว่าค่าทั้งสองนี้มีค่าเท่ากัน เป็นที่น่าเชื่อถือได้ แต่ในการนำไปใช้งานจริงนั้นควรนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์อย่างรอบคอบ เพราะว่าในงานจริงนั้นมีรายละเอียดปลีกย่อยเป็นอย่างมาก

ส่วนวิธีการคำนวณโดยละเอียดสามารถดูได้ที่ ภาคผนวกตัวอย่างการคำนวณ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

จะได้โปรแกรมที่ใช้คำนวณหาขนาดท่อลมในระบบปรับอากาศโดยที่ โปรแกรมนี้จะช่วยออกแบบและคำนวณให้ได้ผลอย่างรวดเร็ว เพราะว่าการคำนวณขนาดท่อลมโดยใช้การคำนวณมือจะยุ่งยากและใช้เวลามาก

ข้อเสนอแนะ

1. ขอบเขตในการใช้งานยังน้อยอยู่ เพราะในการใช้งานจริงจะต้องใช้อุปกรณ์มากกว่านี้

2. ค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ จะตรงกับค่าที่คำนวณโดยตรงด้วยโปรแกรมคำนวณอย่างง่าย

3. ค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรมคำนวณจะละเอียดกว่า ค่าที่ได้จากการคำนวณมือ เพราะว่าโปรแกรมคำนวณจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอุปกรณ์ต่างๆ ละเอียดกว่า ซึ่งการคำนวณมือจะใช้เพียงค่าประมาณเท่านั้น

4. การจะนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยคำนวณนี้ไปใช้หาขนาดท่อลมในงานจริงนั้น จำเป็นต้องทำฐานข้อมูลเพิ่มเติมเนื่องจากเป็นงานที่มีขอบเขตกว้างและรายละเอียดจำนวนมาก

บรรณานุกรม

1. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , ดร. การออกแบบระบบท่ออากาศ. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2533
2. สุรพล พฤกษพานิช , ผศ. การปรับอากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , 2529
3. อัครเดช สินธุภัค. การปรับอากาศ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2535

4. ASHARE. Handbook of Fundamentals. Atlanta : ASHARE , 1985
5. Faye C. McQuilton , Jerald D. Parker . Heating , Ventilating , and Air Condition. Fourth edition : John Wiley & Sons .Inc , 1994
6. Frank M. White. Fluid Mechanics. Third Edition : McGraw-Hill .Inc , 1994
7. SMACNA. HVAC Systems Duct Design. Second Edition : Smacna .Inc , 1981

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

ตาราง

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 การระบายอากาศของอาคารทั่วไป

ลักษณะการใช้งานของอาคาร	ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่น้อยที่สุด	
	ลบ.ม.ต่อชม.ต่อคน	ลบ.ม.ต่อชม.ต่อตร.ม
ภัตตาคาร	17	10
ห้องทำงานหรือสำนักงาน	13	1.2
ห้างสรรพสินค้าหรือร้านค้า	13	2.3
ห้องโถง	13	0.9
ห้องนอนและห้องพัก	13	-
ห้องปฏิบัติการและโรงงาน	13	1.8
ห้องเรียนและโรงภาพยนตร์	8.5	6.0

ตารางภาคผนวกที่ 1.2 อัตราการระบายอากาศของลักษณะการใช้งานภายในอาคารต่างๆที่ไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ

ลักษณะการใช้งานของอาคาร	ลักษณะการระบายอากาศออกในหนึ่งชั่วโมงไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้อง
ห้องน้ำ ห้องส้วมของที่พักอาศัยหรือสำนักงาน	2
ห้องน้ำ ห้องส้วมของอาคารสาธารณะ	4
ที่จอดรถที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน	4
โรงงาน	4
โรงมหรสพ	4
ร้านอาหารทั่วไป	7
สำนักงาน	7
ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด	7
ห้องครัวของที่พักอาศัย	12
ห้องครัวของร้านอาหารทั่วไป	24
ลิฟต์ทั่วไป	30

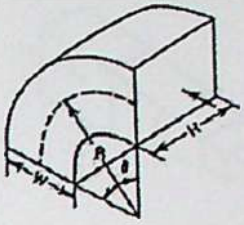
ตารางภาคผนวกที่ 1.3 อัตราการระบายอากาศของลักษณะการใช้งานภายในอาคารต่างๆที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ

ลักษณะการใช้งานของอาคาร	อัตราการระบายอากาศออก (ลบ.ม. / ชม. ตร.ม.)
ห้างสรรพสินค้า	2
โรงงาน	2
สำนักงาน	2
สถานอาบอบนวด	2
ธนาคาร	2
ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด	2
ห้องปฏิบัติการ	2
ร้านตัดผม	3
สถานโบว์ลิง	4
โรงมหรสพ	4
ห้องเรียน	4
สถานบริหารร่างกาย	5
ร้านเสริมสวย	5
ห้องประชุม	6
ห้องน้ำ ห้องส้วม	10
ร้านอาหารทั่วไป	10
ไนต์คลับ บาร์หรือสถานลีลาศ	10
ห้องครัว	30
โรงพยาบาล	
- ห้องคนไข้	2
- ห้องผ่าตัด และห้องคลอด	8
- ห้องไอซียู	5

ตารางภาคผนวกที่ 1.4 ความยาวสมมูลของข้อต่อและวาล์ว (ฟุต)

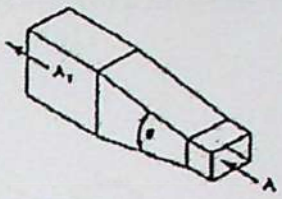
	Nominal Size (inches)												
	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
45°Elbow	0.8	0.9	1.3	1.7	2.2	2.8	3.3	4.0	5.5	6.6	8.0	11.0	13.2
90°Elbow standard	1.6	2.0	2.6	3.3	4.3	5.5	6.5	8.0	11.0	13.0	16.0	22.0	26.0
90°Elbow long	1.0	1.4	1.7	2.3	2.7	3.5	4.2	5.2	7.2	8.4	10.4	14.0	16.8
Gate valve Open	0.7	0.9	1.0	1.5	1.8	2.3	2.8	3.2	4.5	6.0	7.0	9.0	12.0
Globe valve Open	7	22	27	36	43	55	67	82	110	134	164	220	268
Angle Valve	7	9	12	15	18	24	-	-	-	-	-	-	-
Tee side Flow	3	4	5	7	9	12	14	17	22	28	34	44	56
Swing check Valve	6	8	10	14	16	20	25	30	40	50	60	80	100

ตารางภาคผนวกที่ 1.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย (C) ของข้อต่อ (ข้องอ 90°)



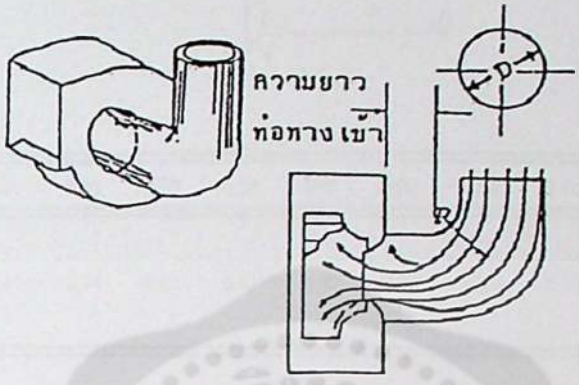
สัมประสิทธิ์ C											
R/W	H/W										
	0.25	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8
0.5	1.3	1	0.93	0.95	0.99	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6
0.75	0.61	0.46	0.39	0.38	0.39	0.41	0.43	0.46	0.51	0.54	0.54
1	0.36	0.26	0.21	0.2	0.2	0.2	0.21	0.22	0.23	0.24	0.24
1.5	0.18	0.12	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
2	0.11	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
2.5	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
3	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

ตารางภาคผนวกที่ 1.6 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อเพิ่มขนาด



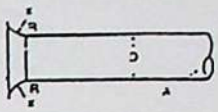
	สัมประสิทธิ์ C											
θ	8°	10°	12°	14°	16°	20°	24°	30°	40°	60°	90°	180°
A_1/A												
∞	0.11	0.15	0.19	0.23	0.27	0.36	0.47	0.65	0.92	1.15	1.10	1.02
20	0.10	0.14	0.16	0.20	0.24	0.32	0.42	0.58	0.83	1.04	0.99	0.92
13.3	0.09	0.13	0.16	0.19	0.23	0.30	0.40	0.55	0.79	0.99	0.95	0.88
10	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.29	0.38	0.52	0.75	0.93	0.89	0.83
6.7	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.26	0.34	0.46	0.67	0.84	0.79	0.74
5.0	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.23	0.30	0.41	0.59	0.74	0.70	0.65
4.0	0.06	0.08	0.10	0.13	0.15	0.20	0.26	0.35	0.47	0.65	0.62	0.58
3.3	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.18	0.23	0.31	0.40	0.57	0.54	0.50
2.5	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.13	0.17	0.23	0.33	0.41	0.39	0.37
2.0	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.12	0.16	0.23	0.29	0.28	0.26
1.7	0.02	0.03	0.03	0.14	0.05	0.06	0.08	0.10	0.15	0.18	0.17	0.16

ตารางภาคผนวกที่ 1.7 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) สำหรับข้อต่อกลมตรงซึ่งต่อกับทางเข้าพัดลม



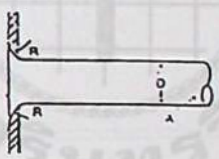
R/D	สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย C ความยาวท่อทางเข้า(จำนวนเท่าของ D)		
	0	2D	5D
0.75	1.6	0.8	0.4
1.0	1.3	0.7	0.3
2.0	1.2	0.5	0.25
3.0	0.7	0.4	0.20

ตารางภาคผนวกที่ 1.8 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อที่ต่อจากแหล่งจ่ายลมชนิด Smooth Converging Bellmouth ,Round, without End Wall



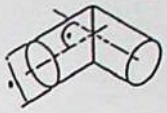
R/D	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20
C	1.0	0.87	0.74	0.61	0.51	0.40	0.32	0.20	0.15	0.10	0.06	0.03

ตารางภาคผนวกที่ 1.9 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อที่ต่อจากแหล่งจ่ายลมชนิด Smooth Converging Bellmouth ,Round, with End Wall



R/D	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20
C	0.50	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.20	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03

ตารางภาคผนวกที่ 1.10 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด Elbow, Round, Mitered



θ	20°	30°	45°	60°	75°	90°
C	0.08	0.16	0.34	0.55	0.81	1.2

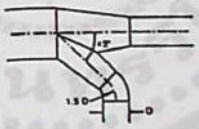
ตารางภาคผนวกที่ 1.11 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด Elbow, Smooth Radius, Round

R/D	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
C	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12

ตารางภาคผนวกที่ 1.12 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด Elbow, Round, 3 to 5 pc - 90°

No. of pieces	R/D				
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
5	-	0.46	0.33	0.24	0.19
4	-	0.50	0.37	0.27	0.24
3	0.98	0.54	0.42	0.34	0.33

ตารางภาคผนวกที่ 1.13 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด 45° Conical Wye, Round, Rolled 45° with 60° Elbow, Branch 90° to Main



Main ,Coefficient C

V_s/V_c	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
C	0.85	0.74	0.62	0.52	0.42	0.36	0.32	0.32	0.37	0.52

Branch, Coefficient C

V_b/V_c	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
C	0.14	0.06	0.05	0.09	0.18	0.30	0.46	0.64	0.84	1.0

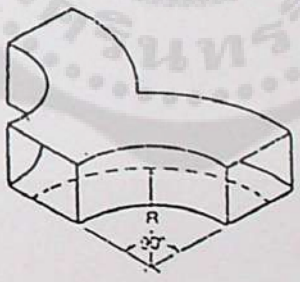
ตารางภาคผนวกที่ 1.14 ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ของข้อต่อชนิด 45° Wye. Round, Rolled 45° with 30° Elbow, Branch 45° to Main

Branch, Coefficient C

V_b/V_c	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
C	0.14	0.06	0.05	0.09	0.18	0.30	0.46	0.64	0.84	1.0

สำหรับ Main Loss Coefficient(C) ดูตารางภาคผนวกที่1.11

ตารางภาคผนวกที่ 1.15 ค่าสัมประสิทธิ์(C) ของข้อต่อชนิด 90° Conical Tee, Round



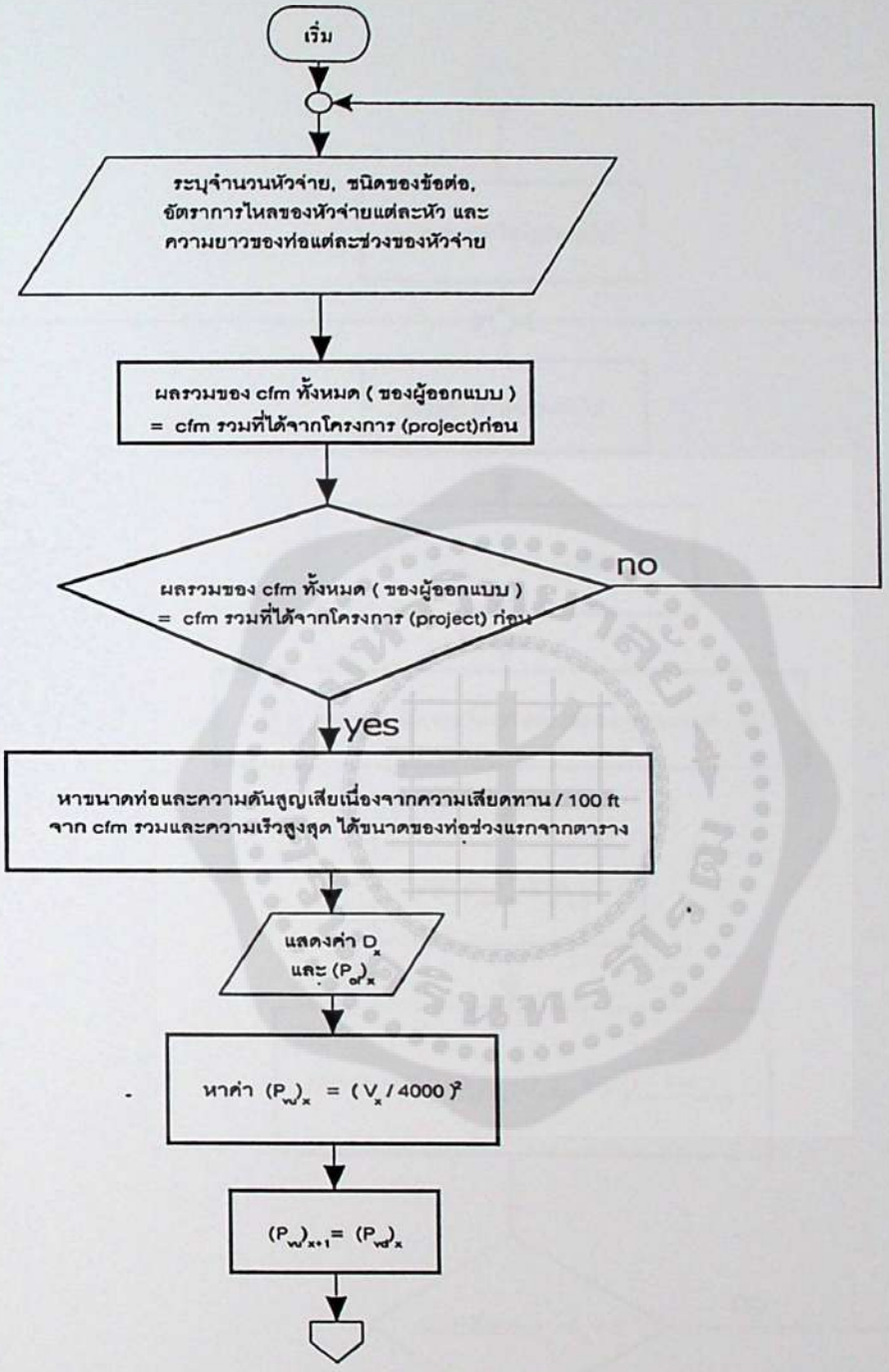
V_b/V_c	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
C	1.0	0.84	0.61	0.41	0.27	0.17	0.12	0.12	0.14	0.18	0.27

ตารางภาคผนวกที่ 1.16 Air Outlets & Diffusers-Total Pressure Loss Average

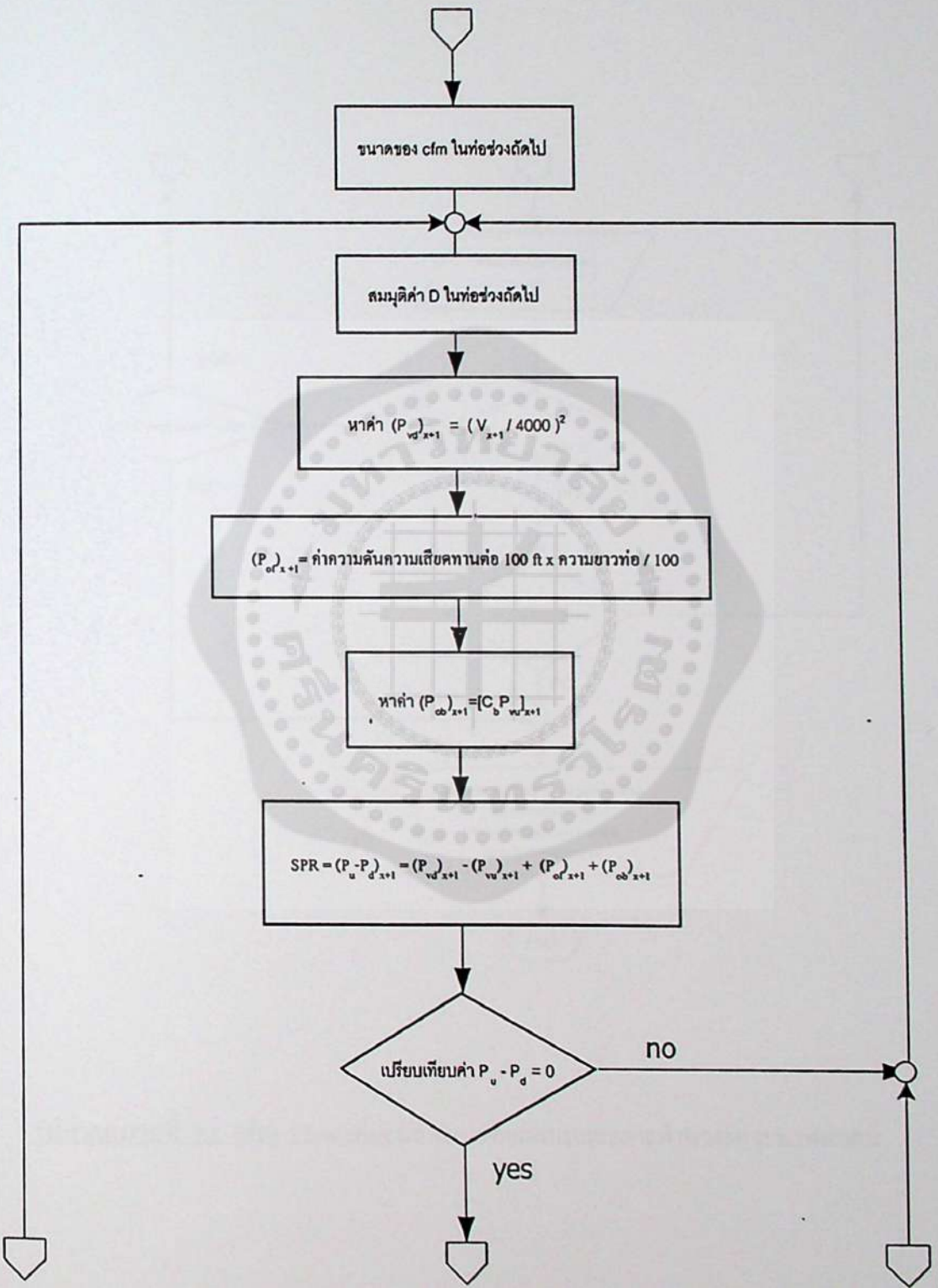
Neck Velocity (fpm)	400	500	600	700	800	1000
Round Diffuser	.024	.039	.056	.075	.096	.152
Half Round Diffuser	.035	.054	.080	.107	.141	.219
Curved Blade Diffuser	.010	.015	.022	.028	.040	.063
High Capacity Diffuser	-	-	.030	.050	.060	.100

ภาคผนวกที่ 2

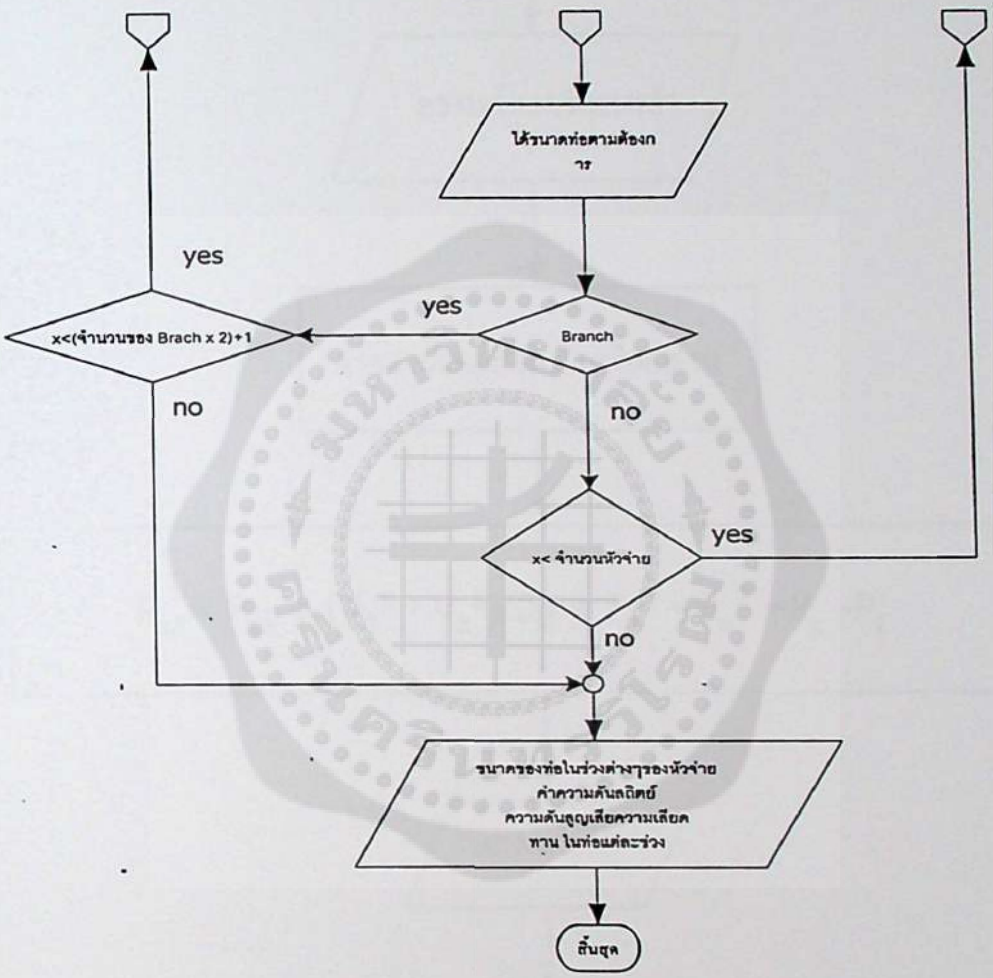
แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม



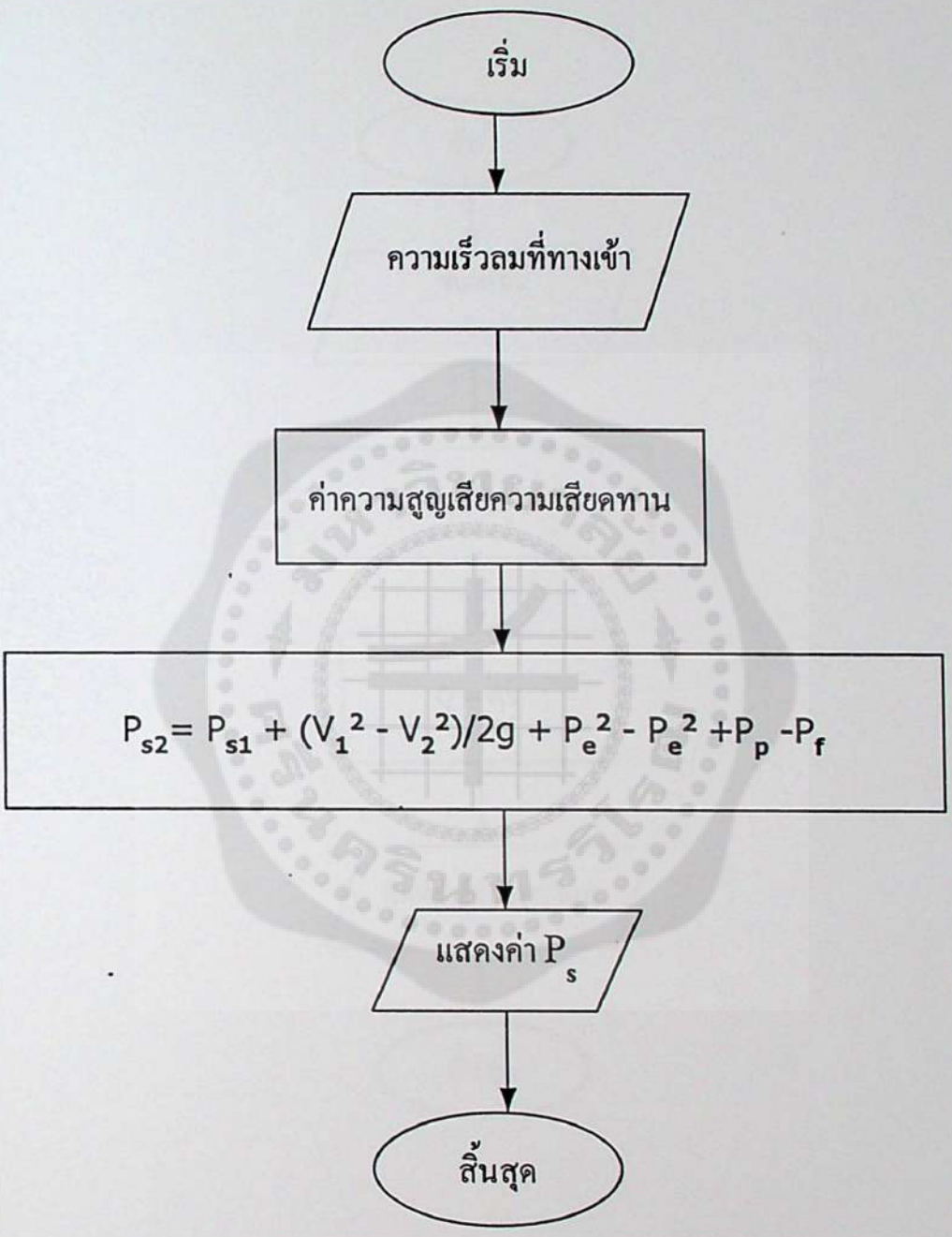
<u>รูปภาคผนวกที่ 2.1</u> Flow chart แสดงการออกแบบและการคำนวณหาขนาดท่อลม



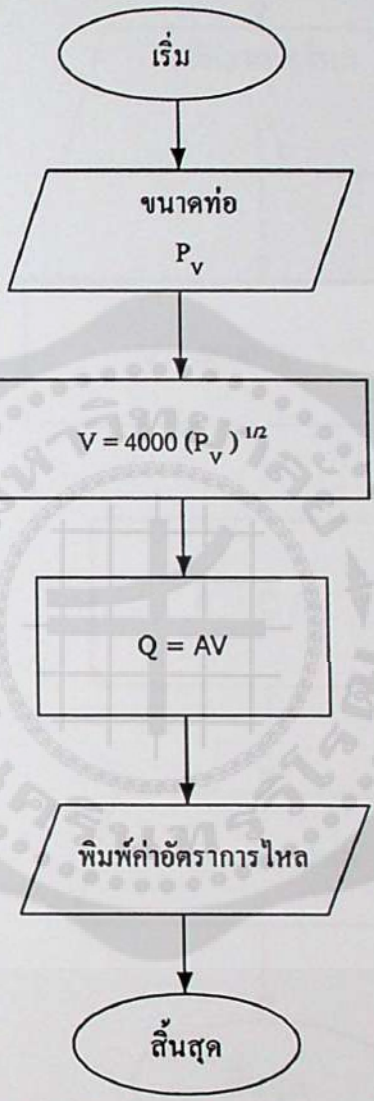
รูปภาคผนวกที่ 2.1 (ต่อ) Flow chart แสดงการออกแบบและการคำนวณหาขนาดท่อลม



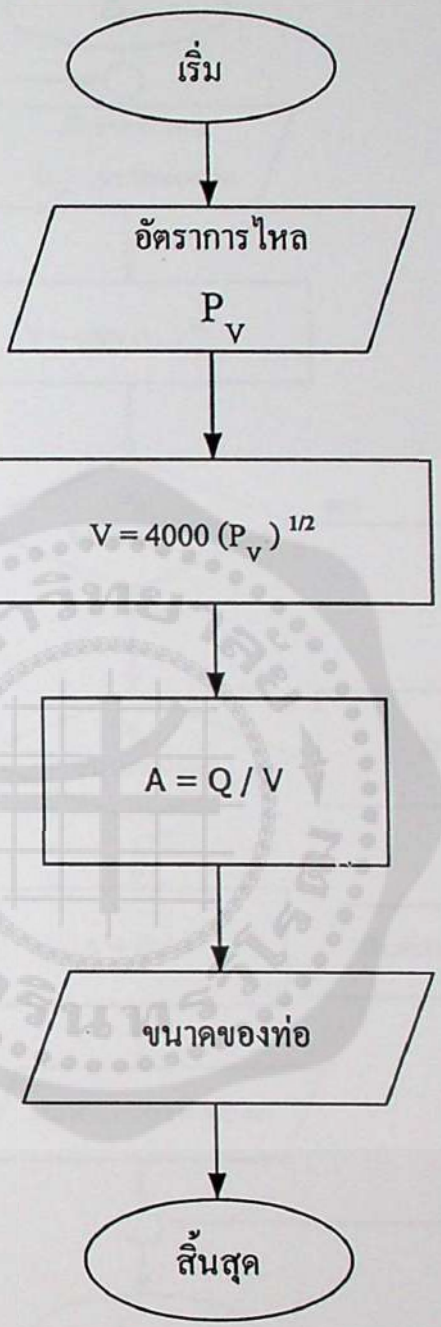
<u>รูปภาคผนวกที่ 2.1</u> (ต่อ) Flow chart แสดงการออกแบบและการคำนวณหาขนาดท่อลม



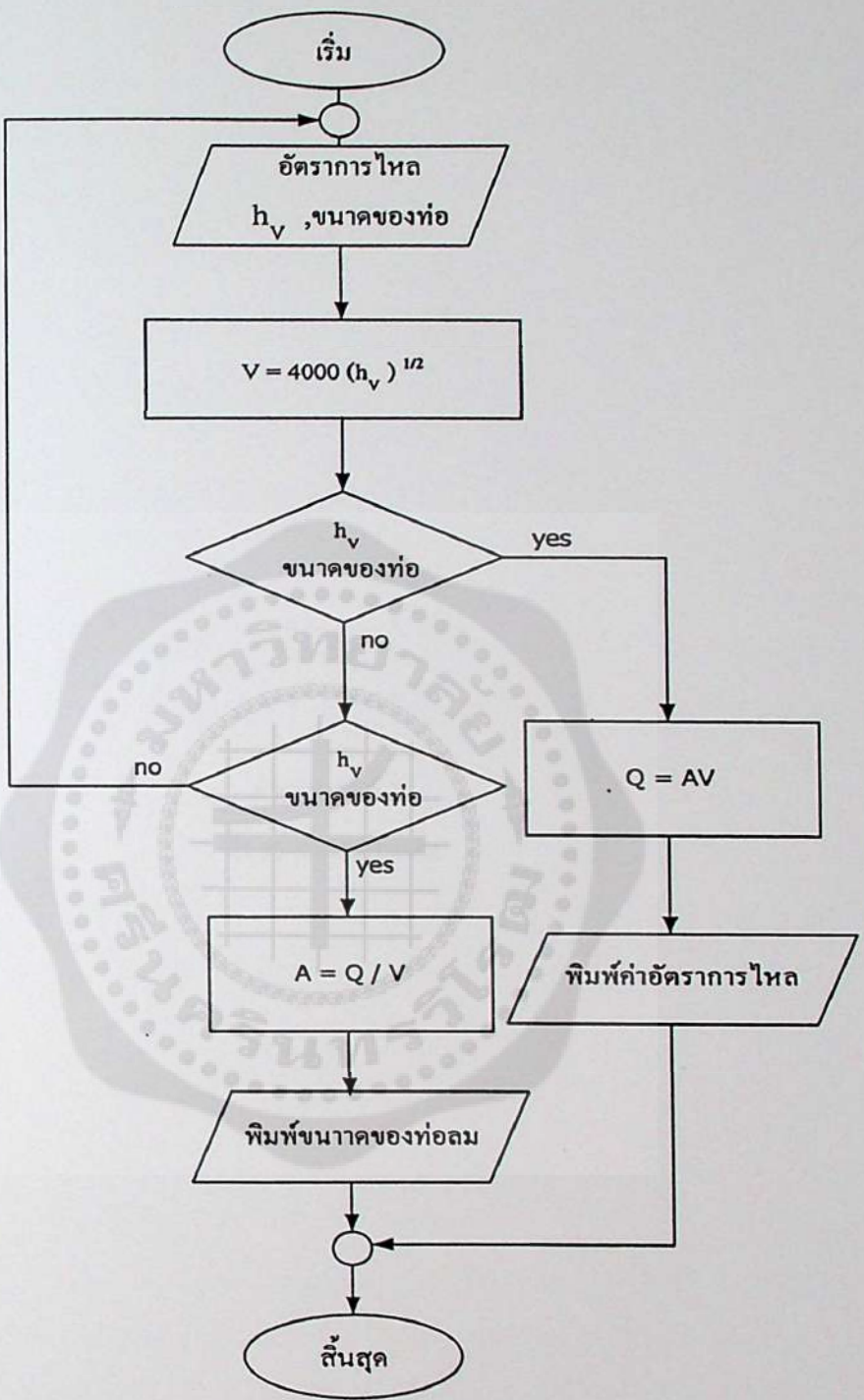
<u>รูปภาคผนวกที่ 2.2</u> Flow chart แสดงการหาค่าความดันสถิต



<u>รูปภาคผนวกที่ 2.3</u> Flow chart แสดงการหาค่าอัตราการไหลของท่อ



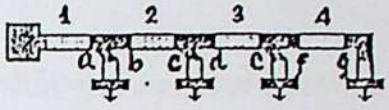
<u>รูปภาคผนวกที่ 2.4</u> Flow chart การหาขนาดของท่อเมื่อทราบอัตราการไหลและ P_V



<u>รูปภาคผนวกที่ 2.5</u> Flow chart แสดงการหาขนาดท่อลมโดยทราบความดันความเร็ว(P_v), อัตราการไหลหรือขนาดท่อ

ภาคผนวกที่ 3
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 จงหาขนาดท่อสำหรับระบบท่อลมในรูปข้างล่างโดยใช้วิธีความดันสถิตได้คืน ซึ่งสมมติว่าเป็นระบบท่อลมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม (มีความเร็วลมสูงสุด 3000 fpm จากแหล่งจ่าย) แต่ละหัวจ่ายมีอัตราการไหลอันละ 2000 cfm ความยาวของท่อท่อนที่ 1 = 50 ft, ท่อนที่ 2 = 55 ft, ท่อนที่ 3 = 50 ft, ท่อนที่ 4 = 75 ft ตามลำดับ ดังรูปข้างล่าง



รูปภาคผนวกที่ 3.1 แสดงระบบท่อลมของตัวอย่างการคำนวณที่ 1

วิธีทำ

1) หาขนาดท่อท่อนที่ 1 โดยใช้ความเร็วลมในท่อท่อนแรกเท่ากับความเร็วลมสูงสุดของแหล่งจ่าย คือ 3000 fpm (เนื่องจากเป็นท่อนที่ต่อจากแหล่งจ่ายโดยตรง ความเร็วลมจึงยังไม่เปลี่ยนแปลง)

จากสมการ : $Q_1 = A_1 v_1$; $A_1 = \frac{\pi d_1^{\,2}}{4}$, $Q_1 = 8000$ cfm , $v_1 = 3000$ fpm

จะได้ $d_1 = 22$ in.

2) หาขนาดท่อท่อนที่ 2 ซึ่งความดันสถิตที่เพิ่มขึ้น (เนื่องจากความดันความเร็วที่ลดลง) จากจุด a ไปยังจุด b ต้องเท่ากับ ความดันสูญเสีย จากจุด b ไปยังจุด c. ดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$P_a - P_c = P_{v2} - P_{v1} + \Sigma(\Delta P_o)_{ac} = 0 \qquad (1)$$

$$P_{v1} = (\frac{v_1}{4005})^2 = 0.56 \text{ in.wg}$$

ส่วนค่าอื่นๆ หาได้โดยทำการสมมติค่า d_2 ขึ้นมาโดยลดลงทีละ 1 นิ้ว จากค่า d_1 แล้วนำไปหาค่า ต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับขนาดท่อแล้วแทนกลับเข้าไปในสมการ (1) ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าสมการจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ก็จะได้ขนาดท่อในส่วนนั้นๆ ดังนี้

(ในที่นี้ได้ทดลองสมมติและแทนค่าดูแล้วจะได้ $d_2 = 19$ in.)

$v_2 = \frac{Q_2}{A_2}$ $\qquad Q_2 = 6000$ fpm $\qquad A_2 = \frac{\pi d_2^{\,2}}{4}$

$v_2 = 2765$ fpm $\qquad P_{v2} = (\frac{v_2}{4005})^2 = 0.27$ in.wg

ความดันสูญเสียของท่อต่อ 100 ft เป็น 0.56 in.wg /100 ft

ดังนั้นความดันสูญเสียในท่อท่อนที่ 2 = (0.56 in.wg /100 ft) (50 ft) = 0.28 in.wg

ความดันสูญเสียเนื่องจากข้อต่อ = (C^*Pv_2) = 0.042 in.wg (ดูตาราง)

$$\Sigma(\Delta P_o)_{ac} = 0.28+0.042 = 0.322$$

แทนค่าต่างๆที่หาได้กลับเข้าไปในสมการ (1) ดังนี้

$$P_s - P_c = 0.27 - 0.56 + 0.322 = 0.032$$

จะเห็นว่าสมการมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าค่าที่สมมตินั้นใช้ได้

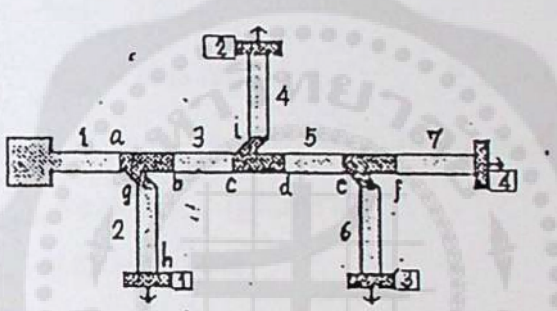
ดังนั้น : ท่อท่อนที่ 2 มีขนาด = 19 นิ้ว

3) ท่อท่อนที่ 3 และท่อนที่ 4 ก็จะทำการคำนวณได้ในลักษณะเดียวกันนี้ ซึ่งจากวิธีการข้างต้นจะได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางข้างล่าง

<u>ตารางภาคผนวกที่ 3.1</u> ผลการคำนวณของตัวอย่างการคำนวณที่ 1

Section	Q (cfm)	L (ft)	D (in.)	V (fpm)
1	8000	50	22	3000
2	6000	55	19	2765
3	4000	60	16	2548
4	2000	75	11	2348

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> จงหาขนาดท่อลมของระบบท่อ ดังแสดงในรูป โดยใช้วิธี static regain ซึ่งสมมติว่าเป็นระบบท่อลมที่ใช้ในอาคารของธนาคารทั่วไป (มีความเร็วลมสูงสุด 2000 fpm จากแหล่งจ่าย) อัตราการไหลของอากาศของหัวจ่ายที่ 1 = 600 cfm , หัวจ่ายที่ 2 = 400 cfm , หัวจ่ายที่ 3 = 300 cfm , หัวจ่ายที่ 4 = 700 cfm ตามลำดับ ; ความยาวของท่อท่อนที่ 1= 30 ft , ท่อนที่ 2 = 50 ft , ท่อนที่ 3 = 25 ft , ท่อนที่ 4 = 45 ft , ท่อนที่ 5 = 35 ft , ท่อนที่ 6 = 40 ft , ท่อนที่ 7 = 20 ft ตามลำดับ ดังรูปข้างล่าง



<u>รูปภาคผนวกที่ 3.2</u> แสดงระบบท่อลมของตัวอย่างการคำนวณที่ 2

วิธีทำ

1) หาขนาดท่อท่อนที่ 1 โดยใช้ความเร็วลมในท่อท่อนแรกเท่ากับความเร็วลมสูงสุดของแหล่งจ่าย คือ 2000 fpm (เนื่องจากเป็นท่อนที่ต่อจากแหล่งจ่ายโดยตรง ความเร็วลมจึงยังไม่เปลี่ยนแปลง)

จากสมการ : $Q_1 = A_1 v_1$; $A_1 = \frac{\pi d_1^{\,2}}{4}$, $Q_1 = 2000$ cfm , $v_1 = 2000$ fpm

จะได้ : $d_1 = 14$ in.

2) หาขนาดท่อท่อนที่ 3 (จะหาท่อนที่ 2 หรือ 3 ก่อนก็ได้ เพราะเป็นท่อที่ต่อจากท่อนที่ 1 เหมือนกัน) ซึ่งความดันสถิตที่เพิ่มขึ้น (เนื่องจากความดันความเร็วที่ลดลง) จากจุด a ไปยังจุด b ต้องเท่ากับ ความดันสูญเสีย จากจุด b ไปยังจุด c. ดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$P_a - P_c = P_{v2(3)} - P_{v1(1)} + \Sigma(\Delta P_o)_{ac} = 0 \qquad (1)$$

$$P_{v1(1)} = (\frac{v_1}{4005})^2 = 0.405 \text{ in.wg} \; ; P_{v1(1)} = \text{ค่า } P_{v1} \text{ ของท่อท่อนที่1}$$

ส่วนค่าอื่นๆ หาได้โดยทำการสมมติค่า d_2 ขึ้นมาโดยลดลงทีละ 1 นิ้ว จากค่า d_1 แล้วนำไปหาค่าต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับขนาดท่อแล้วแทนกลับเข้าไปในสมการ(1) ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าสมการจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ก็จะได้ขนาดท่อในส่วนนั้นๆ ดังนี้

(ในที่นี้ได้ทดลองสมมติและแทนค่าดูแล้วจะได้ $d_{2(3)} = 11$ in.)

หมายเหตุ : $d_{2(3)}$ คือ ขนาดของท่อท่อนที่ 3 ที่สมมติขึ้นเพื่อนำไปหาค่าต่างๆที่มีความสัมพันธ์กับขนาดท่อ ดังข้างล่าง *เพื่อแทนในสมการ(1)* ซึ่งในตัวอย่างนี้ ค่า $d_{2(3)}$ ก็คือ d_{bc}

$$v_{2(3)} = \frac{Q_{2(3)}}{A_{2(3)}} \qquad Q_{2(3)} = 1400 \text{ fpm} \qquad A_{2(3)} = \frac{\pi d_{2(3)}^2}{4}$$

$$v_{2(3)} = 1843 \text{ fpm} \qquad P_{v2(3)} = (\frac{v_{2(3)}}{4005})^2 = 0.25 \text{ in.wg}$$

\# $P_{v2(3)}$ = ค่า P_{v2} ของท่อท่อนที่ 3 #

$(\Delta P_o)_{ab} = 0.03$ in.wg (ดูในตาราง)

$(P'_0)_{bc} = 0.53$ in.wg /100ft

$(\Delta P_o)_{bc} = 0.53(25)/100 = 0.106$ in.wg

$\Sigma(\Delta P_o)_{ac} = 0.106+0.03 = 0.136$ in.wg

แทนค่าที่ได้ข้างต้นลงในสมการ(1) จะได้

$$P_a - P_c = 0.25 - 0.405 + 0.136 = -0.019$$

จะเห็นว่าสมการมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าค่าที่สมมุตินั้นใช้ได้

ดังนั้น : แสดงว่าท่อท่อนที่ 3 มีขนาด 11 นิ้ว

3) ท่อท่อนที่ 2 ก็ดำเนินการในทำนองเดียวกัน

ลองสมมติให้ $d_{2(2)} = 11$ in. ; $d_{2(2)}$ = ขนาดของท่อท่อนที่ 2 ที่สมมติขึ้น จะได้

$$v_{2(2)} = \frac{Q_{2(2)}}{A_{2(2)}} \qquad Q_{2(2)} = 600 \text{ fpm} \qquad A_{2(2)} = \frac{\pi d_{2(2)}^2}{4}$$

$$v_{2(2)} = 1944 \text{ fpm} \qquad P_{v2(2)} = (\frac{v_{2(2)}}{4005})^2 = 0.213 \text{ in.wg}$$

\# $P_{v2(2)}$ = ค่า P_{v2} ของท่อท่อนที่ 2 #

$(\Delta P_o)_{ag} = 0.015$ in.wg (ดูตาราง)

$(P'_0)_{gh} = 0.3$ in.wg /100 ft

$(\Delta P_o)_{gh} = 0.3(50)/100 = 0.15$ in.wg

$$\Sigma(\Delta P_o)_{ah} = 0.015 + 0.15 = 0.165 \text{ in.wg}$$

แทนค่าที่ได้ข้างต้นลงในสมการ $P_a - P_h = P_{v2(2)} - P_{v1(1)} + \Sigma(\Delta P_o)_{ah}$ (2)

จะได้ : $P_a - P_h = 0.213 - 0.25 + 0.165 = 0.128$ in.wg

ยังไม่ใกล้เคียงศูนย์ ใช้ไม่ได้ ต้องลองใหม่

(ในที่นี้ได้ทดลองสมมติและแทนค่าดูแล้วจะได้ $d_{2(2)} = 7$ in.)

$$v_{2(2)} = \frac{Q_{2(2)}}{A_{2(2)}} \qquad Q_{2(2)} = 600 \text{ fpm} \qquad A_{2(2)} = \frac{\pi d_{2(2)}^{\,2}}{4}$$

$$v_{2(2)} = 1878 \text{ fpm} \qquad P_{v2(2)} = \left(\frac{v_{2(2)}}{4005}\right)^2 = 0.144 \text{ in.wg}$$

$(\Delta P_o)_{ag} = 0.017$ in.wg (ดูตาราง)

$(P'_0)_{gh} = 0.36$ in.wg /100 ft

$(\Delta P_o)_{gh} = 0.36(50)/100 = 0.093$ in.wg

$\Sigma(\Delta P_o)_{ah} = 0.017 + 0.093 = 0.11$ in.wg

แทนค่าที่ได้ข้างต้นลงในสมการ (2) จะได้

$P_a - P_h = 0.144 - 0.25 + 0.11 = 0.004$ in.wg

จากสมการจะเห็นว่าเป็นค่าที่ใช้ได้ดีทีเดียว แสดงว่าท่อท่อนที่ 2 มีขนาดเป็น 7 นิ้ว

4) ดังนั้นในทำนองเดียวกัน ท่อท่อนอื่นๆก็จะทำการคำนวณในลักษณะเดียวกันนี้ ไปจนครบตามจำนวนที่ผู้ออกแบบต้องการ ซึ่งในตัวอย่างนี้จะได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางข้างล่าง

ตารางภาคผนวกที่ 3.2 ผลการคำนวณของตัวอย่างการคำนวณที่ 2

SECTION	Q (cfm)	L (ft)	D (in.)	V (fpm)
1	2000	30	14	2000
2	600	50	7	1878
3	1400	25	11	1843
4	400	45	6	1730
5	1000	35	10	1699
6	300	40	5	1595
7	700	20	8	1566

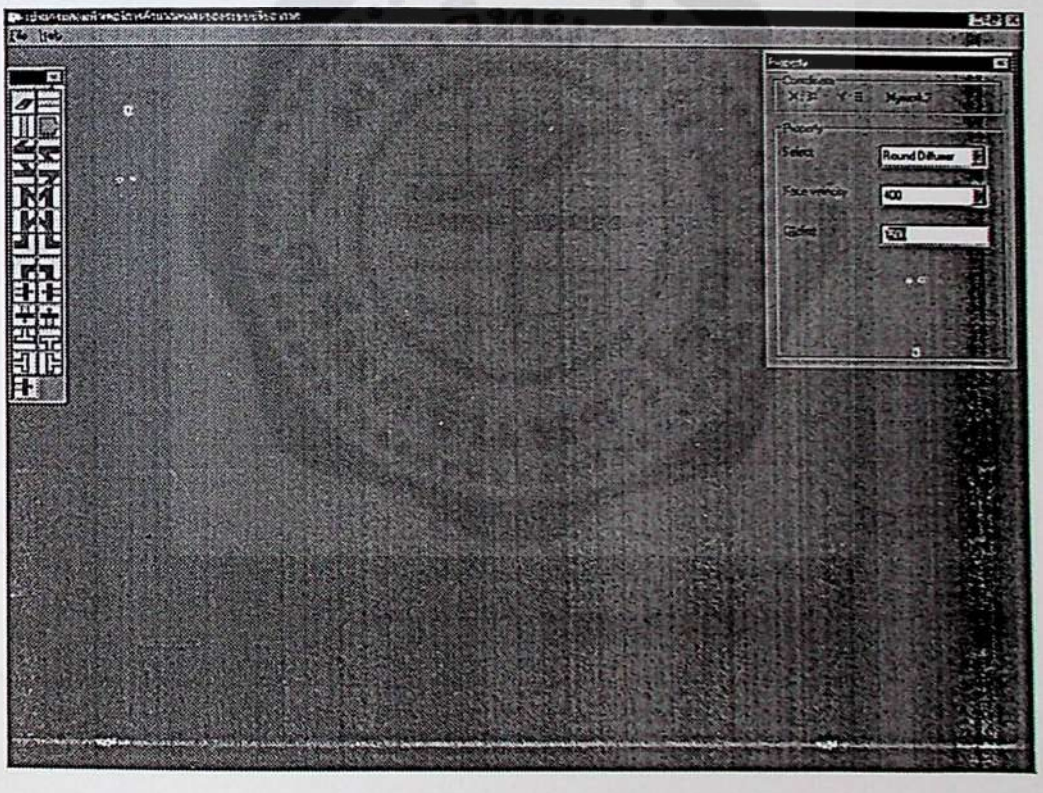
ภาคผนวกที่ 4
ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

การใช้โปรแกรม

ในขั้นตอนของการลงโปรแกรมเราจะต้องดับเบิ้ลคลิกไฟล์ที่ชื่อ setup.exe จากนั้นตัวโปรแกรมก็จะเริ่มทำการติดตั้งลงไปในคอมพิวเตอร์

<u>ขั้นตอนการใช้โปรแกรม</u>

1. ใช้เมาส์คลิกเข้าไปที่ Start \ Programs \ โปรแกรมการคำนวณขนาดท่อลม \ โปรแกรมการคำนวณขนาดท่อลม
2. จากนั้นหน้าต่างของโปรแกรมก็จะถูกแสดงขึ้นมาขึ้นมาดังรูป



<u>รูปภาคผนวกที่ 4.1</u> จอภาพแสดงเมนูหลักของโปรแกรมคำนวณขนาดของท่อลม

3. หลังจากนั้นก็เป็นขั้นตอนของการออกแบบของผู้ใช้เอง โดยที่จะต้องเลือกชนิดของอุปกรณ์แต่ละตัวที่จะใช้ในการออกแบบ และป้อนค่าต่างๆเข้าไปตามที่ปรากฏในหน้าต่าง Property ทางด้านขวามือ

4. ในการออกแบบจะต้องให้ ผลรวมของค่าของอัตราการไหลของหัวจ่าย มีค่าเท่ากับค่าอัตราการไหลที่ออกจากพัดลม

5. เมื่อผู้ออกแบบได้ออกแบบเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะทำการหาขนาดท่อได้โดยเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่ปุ่ม Process ที่อยู่ด้านล่าง

ภาคผนวกที่ 5
โปรแกรมคอมพิวเตอร์

```
@ main
Option Explicit
   Public lngTagNumber As Long
Private Sub MDIForm_Load()
   InitData
   lngTagNumber = 1
   frmToolBox.Show 0
   frmProperty.Show 0
End Sub
Private Sub MDIForm_Unload(Cancel As Integer)
   End
End Sub
Private Sub mnuFileExit_Click()
   End
End Sub
Private Sub mnuFileNew_Click()
   ReDim frmWork(lngTagNumber + 1) As frmScreen
   Set frmWork(lngTagNumber) = New frmScreen
   frmWork(lngTagNumber).Tag = 1
   frmWork(lngTagNumber).Caption = "Mywork" & lngTagNumber
   frmWork(lngTagNumber).Show
   lngTagNumber = lngTagNumber + 1
End Sub
Private Sub mnuHelpAbout_Click()
   frmAbout.Show 0
End Sub
@ Property
Option Explicit
Private Sub Check1_Click()
   If Check1.Value = 1 Then Combo9.Enabled = True
```

```
    If Check1.Value = 0 Then Combo9.Enabled = False
End Sub
Private Sub Combo2_Click()
    If Combo2.Text = "Smooth Radius" Then
        Text2.Enabled = True
        Combo3.Enabled = True
        Combo4.Enabled = False
        Combo5.Enabled = False
    End If

    If Combo2.Text = "Round,3-5 pc" Then
        Text2.Enabled = True
        Combo3.Enabled = False
        Combo4.Enabled = True
        Combo5.Enabled = False
    End If
    If Combo2.Text = "Round,Mitered" Then
        Text2.Enabled = False
        Combo3.Enabled = False
        Combo4.Enabled = False
        Combo5.Enabled = True
    End If
End Sub
Private Sub Combo7_Click()
        If Combo7.Text = "Round Diffuser" Or Combo7.Text = "Half Round Diffuser" Or
Combo7.Text = "Square Diffuser" Or _
    Combo7.Text = "Rectangle Diffuser" Or Combo7.Text = "Curved Blade Diffuser" Or
Combo7.Text = "High Capacity Diffuser" Then

        Combo8.List(0) = 400
```

```
    Combo8.List(1) = 500
    Combo8.List(2) = 600
    Combo8.List(3) = 700
    Combo8.List(4) = 800
    Combo8.List(5) = 1000
    Combo8.List(6) = 1000
    Combo8.List(7) = 1000
    Combo8.Text = 400
  End If

End Sub
Private Sub Form_Load()
 frmProperty.Frame0.ZOrder 0
  Me.Left = frmMain.Width - (Me.Width + 300)
  Me.Top = Me.Top - 300
End Sub
@ Screen
Option Explicit
Const pi = 3.141
Dim lngStartX As Long
Dim lngStartY As Long
Dim TotalQ As Double
Dim UseQ As Double
Dim Su As Boolean
Dim Data(33, 22) As DataField
Private Sub Proc(Bx As Long, By As Long, Fx As Long, Fy As Long)
  Dim rrr As Integer
  Randomize
  rrr = Int((10 - 0 + 1) * Rnd + 0)
  If Data(Bx, By).Item = Data(Fx, Fy).Item Then
```

```
    Unload frmDisplay
    Exit Sub
  End If
    Dim i As Long
  If Fx - Bx = 1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 1
'           Data(Fx, Fy).C = Data(Bx, By).C
'
'           Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx - 1, Fy, Fx, By)
'
'           Data(Fx, Fy).d1 = Data(Bx, By).d2
            Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx - 1, Fy, Fx, Fy)
            Data(Fx, Fy).V1 = Data(lngStartX + 1, lngStartY).V1
            Data(Fx, Fy).A1 = Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).V1
            Data(Fx, Fy).d2 = Round(Sqr(Data(Fx, Fy).A1 * 4 / pi) * 12)
'           For I = Data(Bx, By).d2 To 1 Step -1
'             If Round((((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) / (I ^ 4) - ((Data(Bx, By).Q) ^ 2) / (Data(Bx,
By).d2 ^ 4)) * (10 ^ (-7)) _
'             + 0.083 * (((1.82 * (Log(Data(Fx, Fy).Q) - (Log(I)))) + 5.474) * (10 ^ (-2))) *
Data(Fx, Fy).L _
'             * Data(Fx, Fy).Q * (10 ^ 2) / (I ^ 5) + ((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) * (10 ^ (-7)) / (I ^ 4)
* Data(Fx, Fy).C) = 0 Then
'               Data(Fx, Fy).d2 = I
'             GoTo xx1
'             Else

''              Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
'             ' If rrr > 5 Then Data(Fx, Fy).d2 = Data(Fx, Fy).d2 - 1
'             End If
```

```
'           Next I
xx1:
'           Data(Fx, Fy).A1 = pi * (Data(Fx, Fy).d2) ^ 2 / 4
            Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).A1)
            Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100))

            frmDisplay.Text1 = frmDisplay.Text1 & "Name:" & Data(Fx, Fy).Name & " D:" &
Data(Fx, Fy).d2 _
            & " L:" & Data(Fx, Fy).L & " V:" & Data(Fx, Fy).V1 & Chr$(13) & Chr$(10)
            Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy) 'call sub again
        Case 4
        Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
        Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
        Data(Fx, Fy).Q = Data(lngStartX, lngStartY).Q - (Data(lngStartX, lngStartY).Q * 93 /
100)
        'Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
          Data(Fx, Fy).C = 1.17
          Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1) 'call sub again
          Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy) 'call sub again
        Case 5
        Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
        Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
        Data(Fx, Fy).Q = Data(lngStartX, lngStartY).Q - (Data(lngStartX, lngStartY).Q * 93 /
100)
        'Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
          Data(Fx, Fy).C = 1.17
          Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1) 'call sub again
          Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy) 'call sub again
        Case 8
        Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
```

```
    Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
    Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
    Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Data(Fx, Fy).C = 0.45
      Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
    Case 11
    Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
    Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
    Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
    Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Data(Fx, Fy).C = 0.45
      Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
    Case 12
    Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
    Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
      Exit Sub
    Case 19
    Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
    Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
    Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
    Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Data(Fx, Fy).C = 0.3
      Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
    Case Else
      Unload frmDisplay
      Exit Sub
  End Select
End If '--------  1
  If Fx - Bx = -1 Then
```

```
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 1
                Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx + 1, Fy. Fx, Fy)
            Data(Fx, Fy).V1 = Data(lngStartX + 1, lngStartY).V1
            Data(Fx, Fy).A1 = Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).V1
            Data(Fx, Fy).d2 = Round(Sqr(Data(Fx, Fy).A1 * 4 / pi) * 12)
'           Data(Fx, Fy).C = Data(Bx, By).C'
'           Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx + 1, Fy, Fx, Fy)'
'           Data(Fx, Fy).d1 = Data(Bx, By).d2'
'           For I = Data(Bx, By).d2 To 1 Step -1
'             If Round((((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) / (I ^ 4) - ((Data(Bx, By).Q) ^ 2) / (Data(Bx,
By).d2 ^ 4)) * (10 ^ (-7)) _
'             + 0.083 * (((1.82 * (Log(Data(Fx, Fy).Q) - (Log(I)))) + 5.474) * (10 ^ (-2))) *
Data(Fx, Fy).L _
'             * Data(Fx, Fy).Q * (10 ^ 2) / (I ^ 5) + ((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) * (10 ^ (-7)) / (I ^ 4)
* Data(Fx, Fy).C) = 0 Then
'               Data(Fx, Fy).d2 = I
'             GoTo xx2
'             Else
'               Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
'             'If rrr > 5 Then Data(Fx, Fy).d2 = Data(Fx, Fy).d2 - 1
'             End If
'           Next I
'xx2:
'           Data(Fx, Fy).A1 = pi * (Data(Fx, Fy).d2) ^ 2 / 4
            Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).A1)
            Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100))

            frmDisplay.Text1 = frmDisplay.Text1 & "Name:" & Data(Fx, Fy).Name & " D:" &
Data(Fx, Fy).d2 _
```

```
        & " L:" & Data(Fx, Fy).L & " V:" & Data(Fx, Fy).V1 & Chr$(13) & Chr$(10)

        Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy) 'call sub again
      Case 6
      Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
      Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
      Data(Fx, Fy).Q = Data(lngStartX, lngStartY).Q - (Data(lngStartX, lngStartY).Q * 93 /
100)

      'Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Data(Fx, Fy).C = 1.17
        Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1) 'call sub again
        Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy) 'call sub again
      Case 7
      Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
      Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
      Data(Fx, Fy).Q = Data(lngStartX, lngStartY).Q - (Data(lngStartX, lngStartY).Q * 93 /
100)

      'Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Data(Fx, Fy).C = 1.17
        Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1) 'call sub again
        Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy) 'call sub again
      Case 9
      Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
      Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
      Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
      Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Data(Fx, Fy).C = 0.45
        Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
```

```
        Case 10
        Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
        Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
        Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
        Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
          Data(Fx, Fy).C = 0.45
          Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
        Case 13
        Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
        Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
          Exit Sub
        Case 20
        Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
        Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
        Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
        Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
          Data(Fx, Fy).C = 0.3
          Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
          Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
        Case Else
          Unload frmDisplay
          Exit Sub
      End Select
    End If '--------  -1
      If Fy - By = 1 Then
      Select Case Data(Fx, Fy).Item
        Case 2
            Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx, Fy - 1, Fx, Fy)
            Data(Fx, Fy).V1 = Data(lngStartX + 1, lngStartY).V1
            Data(Fx, Fy).A1 = Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).V1
```

```
            Data(Fx, Fy).d2 = Round(Sqr(Data(Fx, Fy).A1 * 4 / pi) * 12)



'           Data(Fx, Fy).C = Data(Bx, By).C
'
'           Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx, Fy - 1, Fx, Fy)
'
'           Data(Fx, Fy).d1 = Data(Bx, By).d2
'
'           For I = Data(Bx, By).d2 To 1 Step -1
'             If Round((((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) / (I ^ 4) - ((Data(Bx, By).Q) ^ 2) / (Data(Bx,
By).d2 ^ 4)) * (10 ^ (-7)) _
'             + 0.083 * (((1.82 * (Log(Data(Fx, Fy).Q) - (Log(I)))) + 5.474) * (10 ^ (-2))) *
Data(Fx, Fy).L _
'             * Data(Fx, Fy).Q * (10 ^ 2) / (I ^ 5) + ((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) * (10 ^ (-7)) / (I ^ 4)
* Data(Fx, Fy).C) = 0 Then
'               Data(Fx, Fy).d2 = I
'               GoTo xx3
'             Else
'               Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
'               'If rrr > 5 Then Data(Fx, Fy).d2 = Data(Fx, Fy).d2 - 1
'             End If
'           Next I
'xx3:
'           Data(Fx, Fy).A1 = pi * (Data(Fx, Fy).d2) ^ 2 / 4
            Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).A1)
            Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2.2 / 100))


            frmDisplay.Text1 = frmDisplay.Text1 & "Name:" & Data(Fx, Fy).Name & " D:" &
Data(Fx, Fy).d2 _
```

```
    & " L:" & Data(Fx, Fy).L & " V:" & Data(Fx, Fy).V1 & Chr$(13) & Chr$(10)

    Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1) 'call sub again
Case 21
Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
Case 22
 Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
Case 8
Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
   Data(Fx, Fy).C = 0.45
   Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
Case 9
Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
   Data(Fx, Fy).C = 0.45
```

```
        Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case 14
      Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
      Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
        Exit Sub
      Case 17
      Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
      Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
      Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
      Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Data(Fx, Fy).C = 0.3
        Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
        Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case Else
        Unload frmDisplay
        Exit Sub
    End Select
  End If '--------  y 1
      If Fy - By = -1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 2
          Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx, Fy + 1, Fx, Fy)
          Data(Fx, Fy).V1 = Data(lngStartX + 1, lngStartY).V1
          Data(Fx, Fy).A1 = Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).V1
          Data(Fx, Fy).d2 = Round(Sqr(Data(Fx, Fy).A1 * 4 / pi) * 12)
"         Data(Fx, Fy).C = Data(Bx, By).C
'
'         Data(Fx, Fy).Q = SumQ(Fx, Fy + 1, Fx, Fy)
'
'         Data(Fx, Fy).d1 = Data(Bx, By).d2
```

```
'
'               For I = Data(Bx, By).d2 To 1 Step -1
'                 If Round((((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) / (I ^ 4) - ((Data(Bx, By).Q) ^ 2) / (Data(Bx,
By).d2 ^ 4)) * (10 ^ (-7)) _
'                 + 0.083 * (((1.82 * (Log(Data(Fx, Fy).Q) - (Log(I)))) + 5.474) * (10 ^ (-2))) *
Data(Fx, Fy).L _
'                 * Data(Fx, Fy).Q * (10 ^ 2) / (I ^ 5) + ((Data(Fx, Fy).Q) ^ 2) * (10 ^ (-7)) / (I ^ 4)
* Data(Fx, Fy).C) = 0 Then
'                   Data(Fx, Fy).d2 = I
'                   GoTo xx4
'                 Else
'                   Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
'                   'If rrr > 5 Then Data(Fx, Fy).d2 = Data(Fx, Fy).d2 - 1
'                 End If
'               Next I
'xx4:
'               Data(Fx, Fy).A1 = pi * (Data(Fx, Fy).d2) ^ 2 / 4
                Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Fx, Fy).Q / Data(Fx, Fy).A1)
                Data(Fx, Fy).V1 = Round(Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2.2 / 100))
'
                frmDisplay.Text1 = frmDisplay.Text1 & "Name:" & Data(Fx, Fy).Name & " D:" &
Data(Fx, Fy).d2 _
                & " L:" & Data(Fx, Fy).L & " V:" & Data(Fx, Fy).V1 & Chr$(13) & Chr$(10)

                Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1) 'call sub again
            Case 23
            Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
            Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
            Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
            Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
```

```
Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
Case 24
 Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
Call Proc(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
Case 10
Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
  Data(Fx, Fy).C = 0.45
  Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
Case 11
Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
  Data(Fx, Fy).C = 0.45
  Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
Case 15
Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
  Exit Sub
Case 18
Data(Fx, Fy).V1 = Data(Bx, By).V1 - (Data(Bx, By).V1 * 2 / 100)
Data(Fx, Fy).d2 = Data(Bx, By).d2
```

```
        Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q
        Data(Fx, Fy).Q = Data(Bx, By).Q - SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
          Data(Fx, Fy).C = 0.3
          Call Proc(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
          Call Proc(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Case Else
          Unload frmDisplay
          Exit Sub
      End Select
    End If '--------  y -1
End Sub
Private Sub cmdProcess_Click()
    Dim XX As Long
    Dim YY As Long
    If Su = False Then Exit Sub
    XX = lngStartX + 1
    YY = lngStartY
    If UseQ <> TotalQ Then Exit Sub
    If Data(XX, YY).Item <> 1 Then Exit Sub
    Data(XX. YY).Q = SumQ(XX - 1, YY, XX, YY) 'Data(XX - 1, YY).Q
    Data(XX, YY).V1 = Data(XX - 1, YY).V1
    Data(XX, YY).A1 = Data(XX, YY).Q / Data(XX, YY).V1
    Data(XX, YY).d2 = Round(Sqr(Data(XX, YY).A1 * 4 / pi) * 12)
    frmDisplay.Show 0
    frmDisplay.Text1 = ""
    frmDisplay.Text1 = frmDisplay.Text1 & "Name:" & Data(XX, YY).Name & " D:" & Data
(XX, YY).d2 _
    & " L:" & Data(XX, YY).L & " V:" & Data(XX, YY).V1 & Chr$(13) & Chr$(10)
    Call Proc(XX, YY, XX + 1, YY)
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
On Error GoTo error:
   Dim i As Long
   Dim j As Long
   Comm2.Filter = "wnd files (*.wnd)|*.wnd|All files (*.*)|*.*"
   Comm2.ShowOpen
If Comm2.CancelError = False Then
       Open Comm2.FileName For Binary As #2
      For j = 0 To 22
        For i = 0 To 33
          Get #2, , Data(i, j)
          If Data(i, j).Item = 1 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool1.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 2 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool2.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 3 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool3.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 4 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool4.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 5 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool5.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 6 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool6.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 7 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool7.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 8 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool8.Picture, (i) *
20, (j) * 20
          If Data(i, j).Item = 9 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool9.Picture, (i) *
20, (j) * 20
```

```
        If Data(i, j).Item = 10 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool10.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 11 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool11.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 12 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool12.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 13 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool13.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 14 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool14.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 15 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool15.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 17 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool17.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 18 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool18.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 19 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool19.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 20 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool20.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 21 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool21.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 22 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool22.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        If Data(i, j).Item = 23 Then Picture1.PaintPicture frmToolBox.cmdTool23.Picture, (i) *
20, (j) * 20
        Next i
    Next j
    TotalQ = Data(33, 22).V1
    UseQ = Data(33, 22).v2
```

```
    Close #2
    StatusBar1.Panels(1).Text = "Q= " & UseQ & "/" & TotalQ
End If
error:
End Sub
Private Sub Command2_Click()
On Error GoTo error
    Dim i As Long
    Dim j As Long
        Data(33, 22).V1 = TotalQ
        Data(33, 22).v2 = TotalQ
      Comm1.Filter = "wnd files (*.wnd)|*.wnd|All files (*.*)|*.*"
      Comm1.ShowSave
      If Comm1.CancelError = False Then
        Open Comm1.FileName For Binary As #1
          For j = 0 To 22
            For i = 0 To 33
              Put #1, , Data(i, j)
            Next i
          Next j
        Close #1
      End If
error:
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Su = False
    TotalQ = 0
    UseQ = 0
            StatusBar1.Panels(1).Text = "Q= " & UseQ & "/" & TotalQ
End Sub
```

```
Private Sub Picture1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, y As Single)

  If ((Data(X \ 20, y \ 20).Item = 0) And (frmToolBox.Item <> 16) And (frmToolBox.Item <>
0)) Then
    If (Not ((frmToolBox.Item = 3) And (Su = True))) Then
      Picture1.PaintPicture frmToolBox.Picture3.Picture, (X \ 20) * 20, (y \ 20) * 20
      Data(X \ 20, y \ 20).Item = frmToolBox.Item
      If frmToolBox.Item = 3 Then 'ถ้าอุปกรณ์เป็น 3
        lngStartX = X \ 20
        lngStartY = y \ 20
        Data(X \ 20, y \ 20).Q = frmProperty.Text1
        Select Case frmProperty.Combo1
        Case "Residences"
          Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 1000
        Case "Apartment"
          Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 1500
        Case "Libraries"
          Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 2000
        Case "Theatres"
          Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 1300
        Case "Banks"
          Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 2000
        Case "Cafeterias"
          Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 2000
        Case "Industrial"
          Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 3000
        End Select
        TotalQ = frmProperty.Text1
        StatusBar1.Panels(1).Text = "Q= " & UseQ & "/" & TotalQ
      End If '----------3----------
```

```
If (frmToolBox.Item = 1) Or (frmToolBox.Item = 2) Then 'ถ้าอุปกรณ์เป็น 1,2
   Data(X \ 20, y \ 20).L = frmProperty.Text3
   Data(X \ 20, y \ 20).Name = frmProperty.Text4
End If '---------1-------2------------
If (frmToolBox.Item = 4) Or (frmToolBox.Item = 5) Or (frmToolBox.Item = 6) Or
(frmToolBox.Item = 7) Then 'ถ้าอุปกรณ์เป็น 4,5,6,7
   If frmProperty.Combo10 = "45 Conical Wye,Round,Rolled 45 with 60 Elbow,Branch
90 to main" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 1
   If frmProperty.Combo10 = "45 Wye,Round,Rolled 45 with 30 Elbow,Branch 45 to
Main" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 2
   If frmProperty.Combo10 = "45 Conical Wye,Round,Rolled 45 with 30 Elbow,Branch
45 to main" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 3
End If '---------4--------5-------6--------7
If (frmToolBox.Item = 8) Or (frmToolBox.Item = 9) Or (frmToolBox.Item = 10) Or
(frmToolBox.Item = 11) Then 'ถ้าอุปกรณ์เป็น 8,9,10,11
   If frmProperty.Combo2 = "Smooth Radius" Then
      Data(X \ 20, y \ 20).No = 1
      Data(X \ 20, y \ 20).v2 = frmProperty.Text2
      Data(X \ 20, y \ 20).V3 = frmProperty.Combo3
   End If
   If frmProperty.Combo2 = "Round,3-5 pc" Then
      Data(X \ 20, y \ 20).No = 2
      Data(X \ 20, y \ 20).v2 = frmProperty.Text2
      Data(X \ 20, y \ 20).V3 = frmProperty.Combo4
   End If
   If frmProperty.Combo2 = "Round,Mitered" Then
      Data(X \ 20, y \ 20).No = 3
      Data(X \ 20, y \ 20).v2 = frmProperty.Combo5
   End If
```

```
        End If '--------------8----9-10----11
        If (frmToolBox.Item = 12) Or (frmToolBox.Item = 13) Or (frmToolBox.Item = 14) Or
(frmToolBox.Item = 15) Then 'ถ้าอุปกรณ์เป็น 12,13,14,15
            If frmProperty.Combo7 = "Round Diffuser" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 1
            If frmProperty.Combo7 = "Half Round Diffuser" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 2
            If frmProperty.Combo7 = "Square Diffuser" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 3
            If frmProperty.Combo7 = "Rectangular Diffuser" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 4
            If frmProperty.Combo7 = "Curved Blade Diffuser" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 5
            If frmProperty.Combo7 = "High Capacity Diffuser" Then Data(X \ 20, y \ 20).No = 6
            If frmProperty.Combo8 = 400 Then Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 400
            If frmProperty.Combo8 = 500 Then Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 500
            If frmProperty.Combo8 = 600 Then Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 600
            If frmProperty.Combo8 = 700 Then Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 700
            If frmProperty.Combo8 = 800 Then Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 800
            If frmProperty.Combo8 = 1000 Then Data(X \ 20, y \ 20).V1 = 1000
            Data(X \ 20, y \ 20).Q = frmProperty.Text5
            UseQ = UseQ + Data(X \ 20, y \ 20).Q
            StatusBar1.Panels(1).Text = "Q= " & UseQ & "/" & TotalQ
        End If '--------12------13---------14-------15
    End If '---------วางได้
    If frmToolBox.Item = 3 Then Su = True
End If
If frmToolBox.Item = 16 Then
    Picture1.PaintPicture frmToolBox.Picture3.Picture, (X \ 20) * 20, (y \ 20) * 20
    If Data(X \ 20, y \ 20).Item = 3 Then Su = False
    If Data(X \ 20, y \ 20).Item = 3 Then TotalQ = 0
    If (Data(X \ 20, y \ 20).Item = 12) Or (Data(X \ 20, y \ 20).Item = 13) _
    Or (Data(X \ 20, y \ 20).Item = 14) Or (Data(X \ 20, y \ 20).Item = 15) Then UseQ = UseQ -
Data(X \ 20, y \ 20).Q
        StatusBar1.Panels(1).Text = "Q= " & UseQ & "/" & TotalQ
```

```
    Data(X \ 20, y \ 20).Item = 0
  End If
End Sub

Private Sub Picture1_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, y As Single)
  linX.X1 = ((X \ 20) * 20) + 10
  linX.X2 = linX.X1
  linY.Y1 = ((y \ 20) * 20) + 10
  linY.Y2 = linY.Y1
  frmProperty.lblX = "X : " & (linX.X1 \ 20)
  frmProperty.lblY = "Y : " & (linY.Y1 \ 20)
  frmProperty.Label2 = Me.Caption
End Sub
Private Function SumQ(Bx As Long, By As Long, Fx As Long, Fy As Long) As Single
  Dim SQ As Single
  If Fx - Bx = 1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 1
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case 4
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 5
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 8
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 11
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 12
```

```
        SQ = Data(Fx, Fy).Q
      Case 19
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case Else
        SumQ = 2000
    End Select
End If '---------1
If Fx - Bx = -1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 2
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
      Case 6
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 7
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 9
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 10
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 13
        SQ = Data(Fx, Fy).Q
      Case 20
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
        SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case Else
        SQ = 2000
    End Select
```

```
End If '--------- -1
If Fy - By = 1 Then
   Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 2
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 8
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
      Case 9
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case 21
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 22
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 14
         SQ = Data(Fx, Fy).Q
      Case 17
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case Else
         SQ = 2000
   End Select
End If '----------1  y
If Fy - By = -1 Then
   Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 2
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 10
         SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
```

```
        Case 11
            SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
        Case 23
            SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
            SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
        Case 24
            SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
            SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
        Case 15
            SQ = Data(Fx, Fy).Q
        Case 18
            SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
            SQ = SQ + SumQ(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Case Else
            SQ = 2000
    End Select
  End If '---------- -1  y
  SumQ = SQ
End Function

Private Function SumV(Bx As Long, By As Long, Fx As Long, Fy As Long) As Single
  Dim SV As Single
    If Fx - Bx = 1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 1
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case 4
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 5
```

```
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 8
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 11
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 12
        SV = Data(Fx, Fy).V1
      Case 19
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case Else
        ,SumV = 2000
    End Select
End If'---------1
If Fx - Bx = -1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 2
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
      Case 6
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 7
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 9
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 10
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 13
```

```
        SV = Data(Fx, Fy).V1
      Case 20
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case Else
        SV = 2000
    End Select
  End If '--------- -1
  If Fy - By = 1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 2
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy + 1)
      Case 8
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
      Case 9
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case 14
        SV = Data(Fx, Fy).V1
      Case 17
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
      Case Else
        SV = 2000
    End Select
  End If '----------1  y
  If Fy - By = -1 Then
    Select Case Data(Fx, Fy).Item
      Case 2
        SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx, Fy - 1)
      Case 10
```

```
            SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Case 11
            SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
        Case 15
            SV = Data(Fx, Fy).V1
        Case 18
            SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx - 1, Fy)
            SV = SV + SumV(Fx, Fy, Fx + 1, Fy)
        Case Else
            SV = 2000
    End Select
  End If '---------- -1  y
  SumV = SV
End Function
@  ToolBox
Option Explicit
Dim Picturepath As String
Public Item As Long
Private Sub cmdTool1_Click()
    frmProperty.Frame3.ZOrder 0
    Item = 1
    Picture3.Picture = cmdTool1.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool10_Click()
    frmProperty.Frame2.ZOrder 0
    Item = 10
    Picture3.Picture = cmdTool10.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool11_Click()
    frmProperty.Frame2.ZOrder 0
```

```
    Item = 11
    Picture3.Picture = cmdTool11.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool12_Click()
    frmProperty.Frame4.ZOrder 0
    Item = 12
    Picture3.Picture = cmdTool12.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool13_Click()
    frmProperty.Frame4.ZOrder 0
    Item = 13
    Picture3.Picture = cmdTool13.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool14_Click()
    frmProperty.Frame4.ZOrder 0
    Item = 14
    Picture3.Picture = cmdTool14.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool15_Click()
    frmProperty.Frame4.ZOrder 0
    Item = 15
    Picture3.Picture = cmdTool15.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool16_Click()
    frmProperty.Frame0.ZOrder 0
    Item = 16
    Picture3.Picture = picTemp.Picture
End Sub

Private Sub cmdTool17_Click()
```

```
    frmProperty.Frame6.ZOrder 0
    Item = 17
    Picture3.Picture = cmdTool17.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool18_Click()
    frmProperty.Frame6.ZOrder 0
    Item = 18
    Picture3.Picture = cmdTool18.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool19_Click()
    frmProperty.Frame6.ZOrder 0
    Item = 19
    Picture3.Picture = cmdTool19.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool2_Click()
  frmProperty.Frame3.ZOrder 0
    Item = 2
    Picture3.Picture = cmdTool2.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool20_Click()
    frmProperty.Frame6.ZOrder 0
    Item = 20
    Picture3.Picture = cmdTool20.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool21_Click()
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 21
    Picture3.Picture = cmdTool21.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool22_Click()
```

```
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 22
    Picture3.Picture = cmdTool22.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool23_Click()
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 23
    Picture3.Picture = cmdTool23.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool24_Click()
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 24
    Picture3.Picture = cmdTool24.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool3_Click()
    frmProperty.Frame1.ZOrder 0
    Item = 3
    Picture3.Picture = cmdTool3.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool4_Click()
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 4
    Picture3.Picture = cmdTool4.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool5_Click()
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 5
    Picture3.Picture = cmdTool5.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool6_Click()
```

```
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 6
    Picture3.Picture = cmdTool6.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool7_Click()
    frmProperty.Frame5.ZOrder 0
    Item = 7
    Picture3.Picture = cmdTool7.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool8_Click()
    frmProperty.Frame2.ZOrder 0
    Item = 8
    Picture3.Picture = cmdTool8.Picture
End Sub
Private Sub cmdTool9_Click()
    frmProperty.Frame2.ZOrder 0
    Item = 9
    Picture3.Picture = cmdTool9.Picture
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Me.Top = Me.Top + 300
End Sub
```

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ	นายปรเมศร์ แต้มประสิทธิ์
เกิด	6 เมษายน 2519
ที่อยู่ปัจจุบัน	72 หมู่.7 ต.เกาะเปียะ อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง 92140
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษา วิเชียรมาตุ