การออกแบบและสร้างอุโมงค์ลมสำหรับห้องปฏิบัติการ

นายสมโภชน์ อิ่มเอิบ

005281

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาพิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๒

I 17759043

A Design and Construction of a Wind Tunnel for Laboratory Use

Mr. Sompote Im-erb

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1979

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างอุโมงค์ลมสำหรับห้องปฏิบัติการ

โดย นายสมโภชน์ อิ่มเอิบ

แผนกวิชา พิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย บันยารชุน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของปริญญามหาบัณฑิต

..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เส็งทะพันธุ์)

..... กรรมการ

(ดร.พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์วิรัตน์ รุกขวิบูลย์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย บันยารชุน)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อ วิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างอุโมงค์ลมสำหรับห้องปฏิบัติการ

ชื่อนิสิต นายสมโภชน์ อิ่มเอิบ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย บันยารชุน

แผนกวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2521

บทคัดย่อ

อุโมงค์ลมเป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานด้านอากาศพลศาสตร์ หลักการของการสร้างอุโมงค์ลมคือ การทำให้อากาศไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอ เพื่อให้อากาศที่ไหลผ่านท่อส่วนนี้มีความเร็วเอกรูปสม่ำเสมอ ซึ่งแบบจำลองและวัตถุทดสอบจะวางไว้ในส่วนนี้ ส่วนนี้เรียกว่า "ส่วนใช้งาน" ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้าง

ก) อุโมงค์ลมแบบเปิดใช้กับอากาศความดันปกติทางอากาศเข้ามีลักษณะเป็นรูปปากแตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 48.0 cm ยาว 65.0 cm และมีตะแกรงรังผึ้งด้านหน้าต่อจากส่วนอากาศเข้าเป็นส่วนใช้งาน มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาน ขนาดพื้นที่หน้าตัด 40.0 x 40.0 cm^2 ยาว 45.0 cm ต่อจากส่วนใช้งานเป็นส่วนอากาศแพร่ออกมีรูปลักษณะเป็นรูปปากแตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.0 cm ยาว 58.0 cm ต่อจากส่วนอากาศแพร่ออกเป็นส่วนกำลังประกอบด้วยใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40.0 cm และมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ กำลังม้า 3.3 แอมแปร์ 220 โวลต์ อัตราเร็ว 2850 รอบต่อนาที อุโมงค์ลมที่สร้างขึ้นนี้ได้ความเร็วลมสูงสุดในส่วนใช้งาน 8.4 m/s

ข) แมโนมิเตอร์แบบเอียง เป็นอุปกรณ์วัดผลต่างความดัน ขาข้างหนึ่งทำเป็นกระเปาะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 cm ยาว 3.0 cm ขาเอียงทำด้วยท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 cm ยาว 33.0 cm ของเหลวที่บรรจุใช้น้ำมันก๊าด

ค) ท่อปิตอต-สแตติก เป็นอุปกรณ์วัดอัตราเร็วลม ทำด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 cm ยาว 15.0 cm ซ้อนอยู่ในท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 cm

ยาว 10.0 cm

ง) แอนิโมมิเตอร์เส้นลวดร้อนแบบความต้านทานคงที่ เป็นอุปกรณ์วัดอัตราเร็วลม ใช้หลักการที่ว่า ความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ในที่นี้ใช้ลวดทังสเตน จากหลอดไฟฉาย 2.2 โวลต์ ต่อเป็นส่วนหนึ่งในวงจรวีตสโตนบริดจ์ ค่าอัตราเร็วลมได้จากการเทียบกับการวัดด้วยท่อปิตอต-สแตติก

จ) แบบจำลอง ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างของการศึกษาทางอากาศพลศาสตร์ คือทรงกระบอก, เสี้ยวทรงกระบอก, ปีกเครื่องบิน, แผ่นระบายเกลียงบาง และห้องติดมุ้งลวด

Thesis Title A Design and Construction of a Wind Tunnel for Laboratory Use

Name Mr. Sompote Im-erb

Thesis Advisor Dr. Bhiyayo Panyarjun

Department Physics

Academic Year 1978

ABSTRACT

A wind tunnel is an apparatus for studying and experimenting in aerodynamics. The basic concept for constructing a wind tunnel is to provide the working section where the air flows with steady and uniform velocity as much as possible. The models and test bodies are placed inside the working section so that one can observe and measure various parameters as required. This thesis presents a design and construction of the following items:

a) A wind tunnel operates with air at atmospheric pressure of open circuit type. The inlet consists of a trumpet shaped mouth of which its diameter is 48.0 cm and 65.0 cm long, attaching to it is a honey comb filter. The working section, whose shape is rectangular and its dimensions are 40.0 x 40.0 x 45.0 cm^3, is behind the inlet section. The outlet section is the power section, which comprises of a 40.0 cm diameter fan and $\frac{1}{2}$ H.P. motor capable of 2850 rev/min. The wind tunnel constructed has the capability of providing the maximum air flow of 8.4 m/s at the working section.

b) An inclined manometer is an instrument for measuring pressure differences. One of its legs is a 6.0 cm diamenter cylindrical lucite chamber, another leg is inclining and made of a 0.4 cm diameter glass tube and 33.0 cm long. The inclined manometer constructed uses kerosene as a working fluid.

c) A pitot - static tube is an instrument for measuring air - speeds. It is constructed of 0.3 cm diameter copper tube as inner portion and 0.8 cm diameter tube as the outer portion coaxially.

d) A hot - wire anemometer of constant resistance type is an instrument for measuring air-speeds indirectly. It uses the concept that the resistance of a wire varies with temperature, which the speed of air flow controls. In this thesis tungsten wire of a 2.2 volt electric bulb is used as one branch of a Wheatstone bridge. Air-speeds are calibrated against the measurement from a Pitot-static tube as a standard.

c) Models used for investigations are a cylindrical shape, a phase of cylindrical shape, an aerofoil, a smooth plane and a mosquito netted room.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ด้วยคำปรึกษาและแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย บันยารชุน ผู้ช่วยศาสตราจารย์สำเริง ศรีฌมบูรณ์ และ พ.จ.อ.พูน อาจปรุ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านทั้ง 3 ไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบคุณ คุณสันต์ หรุ่มเรืองวงษ์ คุณสุทัศน์ รัตนกถิกานนท์ ที่มีส่วนในการถ่ายภาพ

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

รายการตารางประกอบ ..... ช

รายการรูปประกอบ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ของไหลอุดมคติ 3

2.1 ธรรมชาติของของไหล 3

2.2 เส้นกระแสและเส้นทางเดินของของไหล 7

2.3 การไหลแบบหมุนและไม่หมุน 9

2.4 สมการของความต่อเนื่อง 11

2.5 ฟังชั่นกระแส 14

2.6 ฟังชั่นศักย์ความเร็ว 16

2.7 สมการของยูเลอร์ 18

2.8 สมการของเบอร์นูลี 20

2.9 การแผ่กระจายความเร็วและความดัน 22

2.10 เงื่อนไขขอบเขต 23

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 3 ของไหลจริง 25

3.1 กฎความหนืดของนิวตัน 25

3.2 อิทธิพลของความหนืด 26

3.3 เลขเรโนลดส์ 27

3.4 การไหลระหว่างแผ่นขนานอยู่นิ่ง 2 แผ่น 29

3.5 ชั้นขอบเขต 32

บทที่ 4 การวัดปริมาณของการไหล 35

4.1 แมโนมิเตอร์ 35

4.2 ความดันสถิต 39

4.3 ความดันรวม 40

4.4 ท่อปิตอต-สแตติก 41

4.5 แอนิโมมิเตอร์ 42

บทที่ 5 อุโมงค์ 49

5.1 ชนิดของอุโมงค์ลม 49

5.2 ส่วนประกอบของอุโมงค์ลม 50

5.3 การสร้างอุโมงค์ลมชนิดใช้กับอากาศ ณ ความดันปกติแบบเปิด 51

5.4 การหาบริเวณที่มีความเร็วลมสม่ำเสมอ 59

หน้า

บทที่ 6 การทดลอง 88

6.1 การสร้างกราฟเทียบค่าของแอนิโมมิเตอร์เส้นลวดร้อน 88

6.2 ศึกษาการแผ่กระจายความเร็วบนแบบจำลอง 94

6.3 ศึกษาการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลอง 105

6.4 ศึกษาการสูญเสียอัตราเร็วลมเมื่อผ่านแบบจำลองห้องติดมุ้งลวด.... 114

6.5 ศึกษาแรงยกเนื่องจากการปะทะของลมที่ตะแกรงมุ้งลวดแบน..... 118

6.6 การสร้างสมการเชิงประจักษ์ของกระแสลม..... 120

บทที่ 7 บทสรุป 127

เอกสารอ้างอิง..... 128

ประวัติผู้เขียน 129

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
5.1	แสดงความดัน ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสลมในส่วนใช้งาน เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1710 รอบต่อนาที	61
5.2	แสดงอัตราเร็ว ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสลมในส่วนใช้งาน เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1710 รอบต่อนาที	61
5.3	แสดงความดัน ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสลมในส่วนใช้งาน เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1425 รอบต่อนาที	70
5.4	แสดงอัตราเร็ว ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสลมในส่วนใช้งาน เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1425 รอบต่อนาที	70
5.5	แสดงความดัน ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสลมในส่วนใช้งาน เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1069 รอบต่อนาที	79
5.6	แสดงอัตราเร็ว ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสลมในส่วนใช้งาน เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1067 รอบต่อนาที	79
6.1	แสดงอัตราเร็วลมเฉลี่ยในส่วนใช้งานเมื่อใช้รอกสายพานขนาดต่าง ๆ กัน...	89
6.2	แสดงอัตราเร็วลมกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดร้อน	90
6.3	แสดงอัตราเร็วลมกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดร้อน	92
6.4	แสดงอัตราเร็วลม ณ ระยะห่างต่าง ๆ บนแผ่นระนาบเกลี้ยง	95
6.5	แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดร้อน ณ ระยะห่างต่าง ๆ บนแบบจำลองรูปทรงกระบอก	97
6.6	แสดงอัตราเร็วลม ณ ระยะห่างต่าง ๆ บนแบบจำลองรูปทรงกระบอก.....	97
6.7	แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมเส้นลวดร้อน ณ ระยะห่างต่าง ๆ บนแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน	100

ตารางที่ หน้า

6.8 แสดงอัตราเร็วลม ณ ระยะห่างต่าง ๆ บนแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน 100

6.9 แสดงอัตราเร็ว ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในส่วนใช้งานเมื่อใช้รอกสายพานขนาดต่าง ๆ กัน 102

6.10 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปทรงกระบอก 107

6.11 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก 109

6.12 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน 112

6.13 แสดงการสูญเสียอัตราเร็วลม เมื่อผ่านแบบจำลองห้องติดมุ้งลวด..... 115

6.14 แสดงแรงยกเนื่องจากการปะทะลมของตะแกรงมุ้งลวดแบน 119

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงส่วนของไหลรูปจตุรมุขในสภาวะสมดุลสถิต	4
2.2	แสดงเส้นกระแสของการไหล 2 มิติ	7
2.3	แสดงเส้นกระแสและเส้นทางเดิน	8
2.4	แสดงการไหลเป็นทางโค้ง	9
2.5	แสดงความหมายของการหมุน	9
2.6	แสดงการไหลของมวลของของไหลรูปกล่องสี่เหลี่ยมในทิศ X ของการไหล 3 มิติ	11
2.7	แสดงการไหลของมวลของไหลในลำท่อ	13
2.8	แสดงอัตราการไหลใน 2 มิติ	15
2.9	แสดงเส้นกระแสและเส้นศักย์ความเร็ว	17
2.10	แสดงการเปลี่ยนแปลงส่วนความเร็วทางทิศ X ของอนุภาคตัวหนึ่งของของไหล ขณะเคลื่อนที่จากจุด P_1 ไป P_2 ในช่วงเวลา δt	18
2.11	แสดงแรงที่กระทำทางทิศ X ของส่วนของของไหลที่ไม่มีความหนืดของรูปกล่องสี่เหลี่ยมใน 3 มิติ	19
2.12	แสดงการแผ่กระจายความดันบนปีกเครื่องบิน	22
3.1	แสดงการไหลการไหลแบบราบเรียบในทิศทางเดียวของของไหลนิวโตเนียน ...	25
3.2	แสดงลักษณะการไหลของอากาศผ่านปีกเครื่องบิน	27
3.3	แสดงแรงเนื่องจากความดันและความเค้นเฉือนในทิศ X	29
3.4	แสดงการแผ่กระจายความเฉือนระหว่างแผ่นขนานอยู่นิ่ง 2 แผ่น	30
3.5	แสดงการแผ่กระจายความเร็วระหว่างแผ่นขนานอยู่นิ่ง 2 แผ่น	32
3.6	แสดงการแผ่กระจายความเร็วของของไหลเมื่อผ่านแผ่นระนาบบาง	32
3.7	แสดงชั้นขอบเขตของของไหลเมื่อไหลผ่านแผ่นระนาบบาง	33

รูปที่ หน้า

4.1 แสดงลักษณะของแมโนมิเตอร์แบบรูปตัว U 35

4.2 แสดงลักษณะของแมโนมิเตอร์แบบเอียง 36

4.3 ภาพถ่ายแมโนมิเตอร์แบบเอียงที่สร้างขึ้น 39

4.4 แสดงลักษณะของท่อวัดความดันสถิต 40

4.5 แสดงลักษณะของท่อวัดความดันรวม 40

4.6 แสดงขนาดของท่อปีตอต-สแตติกที่สร้างขึ้น 41

4.7 ภาพถ่ายท่อปีตอต-สแตติกที่สร้าง 42

4.8 แสดงเส้นลวดร้อนในวงจรวีตสโตนบริดจ์ 43

4.9 แสดงกราฟเทียบค่า 45

4.10 ภาพถ่ายเส้นลวดร้อนที่ทำจากไส้หลอดไฟฉาย 46

4.11 แสดงวงจรสร้างแอนิโมมิเตอร์เส้นลวดร้อนอย่างง่ายแบบความต้านทานคงที่ .. 46

4.12 ภาพถ่ายแอนิโมมิเตอร์เส้นลวดร้อนที่สร้างขึ้น 47

5.1 แสดงชนิดของอุโมงค์ลม 50

5.2 ภาพถ่ายอุโมงค์ลมชนิดใช้กับอากาศความดันปกติแบบเปิดที่สร้างขึ้น 52

5.3 ภาพถ่ายส่วนกำลัง 54

5.4 ภาพถ่ายรอกสายพานที่ใช้กับส่วนกำลัง 54

5.5 แสดงขนาดของส่วนอากาศแพร่เข้า 55

5.6 ภาพถ่ายส่วนอากาศแพร่เข้า 55

5.7 แสดงขนาดของส่วนใช้งาน 56

5.8 แสดงโคออร์ดิเนตในส่วนใช้งาน 56

5.9 ภาพถ่ายส่วนใช้งาน 57

5.10 แสดงขนาดของส่วนอากาศแพร่ออก 58

5.11 ภาพถ่ายส่วนอากาศแพร่ออก 58

รูปที่ หน้า

5.12 ภาพถ่ายรังผึ้ง 59

5.13 แสดงบริเวณที่มีความเร็วเกือบสม่ำเสมอในส่วนใช้งาน 69

6.1 ภาพถ่ายการจัดเครื่องมือในการสร้างกราฟเทียบค่า 88

6.2 ภาพถ่ายใบพัดที่ใช้เปลี่ยนค่าอัตราเร็วลม 89

6.3 กราฟเทียบค่าหาอัตราเร็วลมของแอนิโมมิเตอร์เส้นลวดร้อน 93

6.4 แสดงขนาดของแบบจำลองแผ่นระนาบเกลี้ยงบาง และการจัดปะทะลม 94

6.5 แสดงการแผ่กระจายความเร็วบนแผ่นระนาบเกลี้ยงบาง 95

6.6 แสดงขนาดของแบบจำลองรูปทรงกระบอกและการจัดให้ปะทะลม 96

6.7 แสดงการแผ่กระจายความเร็วบนผิวแบบจำลองรูปทรงกระบอก 98

6.8 แสดงการจัดแบบจำลองรูปปีกเครื่องบินให้ปะทะลมในแนวระดับ 99

6.9 แสดงการแผ่กระจายความเร็วบนผิวแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน 101

6.10 แสดงโปรไฟล์ความเร็วระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่นอยู่นิ่งเมื่อใช้ D':D = 5:3 102

6.11 แสดงโปรไฟล์ความเร็วระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่นอยู่นิ่งเมื่อใช้ D':D = 6:3 103

6.12 แสดงโปรไฟล์ความเร็วระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่นอยู่นิ่งเมื่อใช้ D':D = 8:3 104

6.13 แสดงขนาดของแบบจำลองรูปทรงกระบอก 105

6.14 แสดงการจัดให้แบบจำลองรูปทรงกระบอกปะทะลม 106

6.15 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปทรงกระบอก 107

6.16 แสดงขนาดของแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก 108

6.17 แสดงมุมปะทะ 109

6.18 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก 110

6.19 แสดงภาคตัดขวางของแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน 111

6.20 แสดงเส้นคอร์ดและมุมปะทะของปีกเครื่องบิน 111

6.21 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน 113

รูปที่ หน้า

6.22 แสดงขนาดของแบบจำลองห้องติดมุ้งลวด 114

6.23 แสดงการจัดแบบจำลองห้องติดมุ้งลวดให้พื้นที่หน้าตั้งฉากกับทิศการไหลของลม 115

6.24 แสดงการจัดแบบจำลองห้องติดมุ้งลวดให้พื้นที่หน้าตัดทำมุม 60 องศากับทิศการไหลของลมแบบที่ 1 116

6.25 แสดงการวัดแบบจำลองห้องติดมุ้งลวดให้พื้นที่หน้าตัดทำมุม 60 องศากับทิศการไหลของลมแบบที่ 2 117

6.26 แสดงขนาดของตะแกรงมุ้งลวดและการจัดให้ปะทะลม 118

6.27 แสดงการเบนของตะแกรงมุ้งลวดเมื่อปะทะลม 118

6.28 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปทรงกระบอก 120

6.29 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก 121

6.30 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน 121

6.31 แสดงลักษณะของตัวแสดงเส้นกระแส 122

6.32 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปทรงกระบอก 123

6.33 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก 124

6.34 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปปีกเครื่องบินทำมุมปะทะ0 องศา 125

6.35 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปปีกเครื่องบินทำมุมปะทะ 30 องศา 126

6.36 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปหยดน้ำ 126