

การออกแบบและทดสอบดีฟิวเซอร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบ
การไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค

ปริญญานิพนธ์
ของ
วิชัย สินจักษ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2553

การออกแบบและทดสอบดีฟิวเซอร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบ
การไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค

ปริญญานิพนธ์
ของ
วิชัย สินจักร์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2553
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบและทดสอบดีฟิวเซอร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบ
การไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค

บทคัดย่อ
ของ
วิชัย สินจักร์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2553

วิชัย สินจักร์. (2553). การออกแบบและทดสอบดัดฟิวเซอร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบการไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค
ปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมมงคล,
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงออกแบบเพื่อหามุมใบครีบบของดัดฟิวเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบการไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมี ในการออกแบบดัดฟิวเซอร์ได้นำค่ามุมมองและค่าความเร็วทางออกของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลชนิดเซ็นตริฟูกอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 142 มิลลิเมตร เป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณและนำเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) มาวิเคราะห์พารามิเตอร์การไหลที่ไหลผ่านช่องใบครีบ

การศึกษาได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบและคำนวณ ส่วนที่สองเป็นการจัดสร้างและทดสอบอุปกรณ์ ส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบ ซึ่งดัดฟิวเซอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้นนั้นมีทั้งหมด 5 มุมคือ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา โดยพื้นที่หน้าตัดทางเข้าของใบครีบบมีข้อกำหนดภายใต้เงื่อนไขของขนาดที่เท่ากัน และทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที

ผลการทดสอบพบว่ามุมใบครีบบของดัดฟิวเซอร์ที่ 21 องศา ให้ค่าที่ไหลผ่านช่องใบครีบบดีที่สุดและไม่เกิดการแยกชั้นการไหล โดยความดันมีค่าสูงสุดที่ 1.442 kN/m^2 ความเร็วทางออกมีค่าที่ 2.73 เมตรต่อวินาที เส้นการไหลมีลักษณะที่ขนานไปกับพื้นที่หน้าตัดใบครีบบ

คำสำคัญ : อนุภาคของไหล, ดัดฟิวเซอร์, ใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล, เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค

DESIGN AND TEST OF A DIFFUSER FOR A RADIAL FLOW COMPRESSOR WHEEL
USING PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY (PIV)

AN ABSTRACT
BY
WICHAI SINJUK

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University
April 2010

Wichai Sinjuk. (2010). *Design and Test of a Diffuser for a Radial Flow Compressor Wheel Using Particle Image Velocimetry (PIV)*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Asst.Prof.Dr. Pichai Asadamongkon, Assoc.Prof.Dr. Paisarn Naphon.

This research is the aim to design for the appropriate diffuser fin for radial flow compressor wheel. The design parameters are fin angle and outlet velocity of 142 millimeters diameter centrifugal compressor wheel were used as the starting approach in calculation and the Particle Image Velocimetry (PIV) technique was used to analyze the parameter of flow pattern into the diffuser fin.

The studies are divided into three parts. Firstly are the design and calculation. Secondary are creating and test equipment. Thirdly, compare the results between the calculation and experiment by the Particle Image Velocimetry (PIV) technique. In the experiment, the diffuser fin angle are variable from 10, 15, 18, 21 and 25 degrees, the entrance area of each fin was used as the same condition and test via the water flow rate 23, 36 and 41 liter per minute.

The result shows that outlet diffuser fin angle at 21 degrees is the best and not separation result. The pressure at the maximum is 1.442 kN/m^2 and outlet velocity is 2.73 meter per second. And the flow lines are parallel to the cross section fins.

Keywords: Particle, Diffuser, Compressor Wheel, Particle Image Velocimetry (PIV).

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีซึ่งได้รับการสนับสนุนและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางต่าง ๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมภมมงคล รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ เป็นอย่างสูงซึ่งท่านทั้งสามได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อแนะนำให้มีความรู้ คำปรึกษา แนวคิดในการวิเคราะห์และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าถึงแนวทางการดำเนินการวิจัยตลอดจนถึงการตรวจทานแก้ไขซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ รวมทั้งสถานที่ใช้ทำการวิจัย และผู้วิจัยขอขอบคุณ พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ที่กรุณาแนะนำเพิ่มเติมทำให้ปริญญานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณพ่อคุณแม่-แม่อ่อนแก้ว สีนจักษ์ ที่ให้การอบรมสั่งสอนและเป็นที่กำลังใจมาโดยตลอดรวมถึง คุณสุรลักษณ์ คำวังจันทร์ คุณสุรียา ทองคำ (ใจ) และเพื่อนนิสิตของโครงการความร่วมมือระหว่าง มศว-จปร.และบุคคลอื่นอีกหลายท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือเป็นอย่างสูง

โดยสุดท้ายนี้หากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาค้นคว้าและวิจัยในด้านนี้หรือด้านอื่น ๆ ผู้วิจัยขอยกคุณงามความดีให้ท่านบุคคลทั้งหลายที่ได้กล่าวมาและให้คำแนะนำปรึกษามาข้างต้น

วิชัย สีนจักษ์

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การออกแบบและทดสอบดีฟิวเซอร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบ
การไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค

ของ
วิชัย สันจักร์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ เดือน พ.ศ. 2553

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

..... ประธาน

(พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
ขอบเขตของการวิจัย	2
วิธีดำเนินการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	2
2 ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
เครื่องอัดอากาศ (Compressor)	5
ดิฟฟิวเซอร์ (Diffuser)	16
ทฤษฎีหลักการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิค วิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)..	31
3 การออกแบบดิฟฟิวเซอร์	43
เงื่อนไขจำเพาะของสภาวะแวดล้อม	43
เงื่อนไขจำเพาะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล	44
ขั้นตอนการคำนวณ	45
วัสดุอุปกรณ์	58
4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและทดสอบ	60
กรณีของการทดสอบโดยใช้อากาศเป็นเงื่อนไข	60
กรณีของการทดสอบโดยใช้น้ำเป็นเงื่อนไข	70
5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	112
สรุปผลการทดสอบ	112
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย	113

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม	115
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก	119
ภาคผนวก ข	123
ภาคผนวก ค	127
ภาคผนวก ง	130
ภาคผนวก จ	145
ภาคผนวก ฉ	148
ประวัติย่อผู้วิจัย	151

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ข้อดีและข้อเสียของไบครีบกระจาย (Diffuser) แต่ละรูปแบบ	18
2 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา	79
3 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 15 องศา	83
4 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 18 องศา.....	87
5 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา.....	90
6 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา.....	94
7 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของ มุมไบครีบที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที	99
8 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของ มุมไบครีบที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที	100
9 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของ มุมไบครีบที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับมีสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที	101
10 ผลการเปรียบเทียบค่าความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบครีบ ที่มีขนาดต่างกัน	102
11 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ลดลงเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบครีบ ที่มีขนาดต่างกัน	103
12 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน (C_{pr}) และ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที ของมุมไบครีบ ที่ต่างกัน	105
13 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน (C_{pr}) และ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที ของมุมไบครีบ ที่ต่างกัน	106
14 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน (C_{pr}) และ ($C_{pr,tl}$) เมื่อ ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที ของมุมไบครีบที่ต่างกัน	107

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ส่วนประกอบของเครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวรัศมีในเครื่องยนต์ อากาศยาน	6
2 แสดงแผนภาพความเร็วสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวรัศมี	6
3 ตัวอย่างกราฟแสดงคุณลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล	14
4 ตัวอย่างใบพัดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและดิฟฟิวเซอร์แบบมีครีป	16
5 ตัวอย่างใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลและดิฟฟิวเซอร์แบบไร้ครีป.....	16
6 การเปรียบเทียบ Pressure Recovery ของอัตราการไหลระหว่างใบครีปแบบ Vaned กับ Vaneless.....	17
7 รูปแบบของดิฟฟิวเซอร์.....	18
8 ลักษณะทิศทางการไหลที่ไหลผ่านอุปกรณ์.....	19
9 ลักษณะของดิฟฟิวเซอร์และใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล.....	19
10 ใบครีปแบบรูปสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยมมุมป้าน.....	20
11 ใบครีปแบบรูปสี่เหลี่ยมใบโค้งวงรี.....	20
12 ใบครีปแบบแผ่นเรียบชนิดใบตรง.....	20
13 ใบครีปแบบแผ่นเรียบชนิดใบโค้งบิดเอียง.....	21
14 ใบครีปแบบแผ่นเรียบชนิดใบโค้ง.....	21
15 ใบครีปแบบแผ่นเรียบชนิดใบนูนโค้ง.....	21
16 รูปทรงทางเรขาคณิตของดิฟฟิวเซอร์ (a) สองมิติ (b) กรวย.....	22
17 แสดงลักษณะการไหล Secondary Flow ที่เกิดในใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล.....	24
18 การกระจายตัวของความเร็วชั้นขีตผิวในบริเวณที่เกิดความดันย้อนกลับ.....	25
19 ปัจจัยความเสี่ยงในการออกแบบใบครีปของดิฟฟิวเซอร์.....	26
20 การไหลแต่ละช่วงของดิฟฟิวเซอร์ 2 มิติที่ระดับความปั่นป่วนที่แตกต่างกัน.....	27
21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dependent Parameter กับ Independent Parameter.....	27
22 สัดส่วนต่างๆ ของดิฟฟิวเซอร์.....	28
23 พลังงานความเร็วถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความดัน.....	29
24 แสดงวิธีการวัดความเร็วของของไหลด้วยวิธีการถ่ายภาพอนุภาค.....	33
25 หลักการทำงานของเครื่องมือวัด PIV.....	37
26 แสดงการแบ่ง Intertogation Area.....	37
27 ลักษณะการไหลของอากาศบริเวณส่วนท้ายของรถยนต์.....	39
28 ชุดทดลองการวัดการไหลใน Twoing tank.....	40
29 การวัดความเร็วของอากาศในคอมเพรสเซอร์ของชุดกังหันก๊าซ.....	41

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
30 การศึกษาการไหลของอากาศบริเวณเหนือคานฟ้าบรรทุกเฮลิคอปเตอร์.....	42
31 แผนภูมิของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส.....	43
32 ลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล.....	44
33 กราฟแสดงคุณลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล.....	48
34 ความสูงครีบบใบพัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด.....	51
35 แสดงไดอะแกรมความเร็วของอากาศที่ปลายใบพัด.....	53
36 แสดงตำแหน่งของระยะรัศมีใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์.....	54
37 สัดส่วนทางเข้าสู่ช่องแคบ (Throat) ใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์.....	56
38 แสดงระยะช่องแคบ (Throat) และความยาวใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์.....	57
39 ชุดควบคุมปรับความเร็วรอบมอเตอร์.....	61
40 เครื่องทำควัน (Antari fog machine)	61
41 เครื่องมือวัดความเร็วรอบมอเตอร์.....	62
42 มอเตอร์ขับเคลื่อน.....	62
43 เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)	63
44 เครื่องคอมพิวเตอร์และหน่วยประมวลผล.....	63
45 แผนภาพระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ.....	65
46 ทดสอบความพร้อมการใช้งานของอุปกรณ์.....	66
47 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิค วิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV).....	67
48 แสดงการยิงลำแสงเลเซอร์ไปยังตำแหน่งจุดวัดที่ใบครีบบ.....	68
49 การทดสอบดิฟฟิวเซอร์โดยใช้เงื่อนไขของอากาศ.....	69
50 แสดงระยะช่องแคบและความยาวใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์.....	71
51 ลักษณะใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่จัดสร้างจำลองขึ้น.....	71
52 ลักษณะอุปกรณ์ใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์.....	72
53 สารไทเทเนียมไดออกไซด์.....	73
54 แผนภาพระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ.....	73
55 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหล.....	74
56 การติดตั้งอุปกรณ์และการวัดความดันของของไหล.....	75
57 แสดงตำแหน่งของจุดวัดความดัน.....	76

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
58 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเครื่องมือวัดความเร็วของของไหล โดยใช้เทคนิค วิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV).....	77
59 การทดสอบดิฟฟิวเซอร์โดยใช้เงื่อนไขของน้ำ.....	78
60 รายละเอียดมุมใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา.....	79
61 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที.....	80
62 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที.....	80
63 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที.....	81
64 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที.....	82
65 รายละเอียดมุมใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 15 องศา.....	83
66 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที.....	84
67 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที.....	84
68 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที.....	85
69 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที.....	86
70 รายละเอียดมุมใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 18 องศา.....	86
71 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที.....	87
72 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที.....	88
73 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที.....	89
74 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที.....	89

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
75 รายละเอียดมุมไบครีปของดีฟิวเซอร์ที่ 21 องศา	90
76 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที	91
77 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที	92
78 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อวินาที	92
79 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อวินาที	93
80 รายละเอียดมุมไบครีปของดีฟิวเซอร์ที่ 25 องศา	94
81 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที	95
82 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที	95
83 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อวินาที	96
84 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีปที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อวินาที	97
85 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วกับค่าความดันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตรา การไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที	98
86 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของ มุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที	99
87 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของ มุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อวินาที	100
88 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของ มุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อวินาที	101
89 ผลการเปรียบเทียบค่าความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบครีป ที่มีขนาดต่างกัน	102
90 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ลดลงขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุม ไบครีปที่มีขนาดต่างกัน	103

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
91 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดันระหว่าง (C_{pr}) กับ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที ของมูมไบคริปที่ ต่างกัน	105
92 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดันระหว่าง (C_{pr}) กับ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที ของมูมไบคริปที่ ต่างกัน	106
93 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดันระหว่าง (C_{pr}) กับ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที ของมูมไบคริปที่ ต่างกัน	107
94 ลักษณะการไหลของมูมไบคริปที่ 21 องศา (ก) ทิศทางการไหลของเวกเตอร์ (ข) ลักษณะคอนทัวร์ (ค) เส้นการไหลของของไหล	109
95 ลักษณะการไหลของมูมไบคริปที่ 25 องศา (ก) ทิศทางการไหลของเวกเตอร์ (ข) ลักษณะคอนทัวร์ (ค) เส้นการไหลของของไหล	110

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โลกของงานภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันเราจะได้เห็นถึงความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะดีฟฟิวเซอร์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งของเครื่องยนต์กังหันแก๊สโดยติดตั้งอยู่ระหว่างใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลกับชุดห้องเผาไหม้และปัจจุบันเครื่องยนต์กังหันแก๊สมีการใช้งานอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นในการออกแบบหรือพัฒนาปรับปรุงดีฟฟิวเซอร์เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบนั้นและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มความดันของดีฟฟิวเซอร์นั้นดูจากค่าสัมประสิทธิ์ของความดัน (Pressure Recovery Coefficient) ถ้าดีฟฟิวเซอร์มีค่าสัมประสิทธิ์ความดันมากจะส่งผลทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพดีตามไปด้วย ฉะนั้นการออกแบบหรือพัฒนาปรับปรุงดีฟฟิวเซอร์อาจมีปัจจัยที่จะทำให้เกิดค่าความสูญเสียพลังงานขึ้นได้ก็คือการแยกชั้นการไหล (Separation) และการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (Friction Loss) ถ้ามุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์มีค่าที่ไม่เหมาะสม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการออกแบบดีฟฟิวเซอร์ให้มีความเหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงปัจจัยที่จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นโดยกำหนดใช้ค่าความเร็วทางออกและค่ามุมองศาของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลชนิดเซ็นตริฟูกอลขนาด 142 มิลลิเมตร มาเป็นจุดเริ่มต้นการคำนวณหามุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์และนำเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) มาวัดค่าพารามิเตอร์การไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบของดีฟฟิวเซอร์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบของดีฟฟิวเซอร์ที่มีลักษณะของพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมเพื่อดูผลกระทบที่มีต่อการสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานและการแยกชั้นการไหล

2. วิเคราะห์หามุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์จากภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) ซึ่งเป็นการวัดของสนามความเร็วแบบที่ไม่รบกวนการไหลเพื่อให้ได้มุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง

3. ขอบเขตของการวิจัย

1. การออกแบบดีฟฟิวเซอร์โดยกำหนดใช้ค่าความเร็วทางออกและค่ามุมองศาของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลชนิดเซ็นทรีฟูกอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 142 มิลลิเมตร เป็นจุดเริ่มต้นการคำนวณหามุมใบครีป
2. ใช้น้ำเป็นของไหลในการทดสอบ
3. ใช้สารไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาด 3 ไมครอน เพื่อเป็นอนุภาคติดตามการไหล
4. ทดสอบดีฟฟิวเซอร์ด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์การไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีป

4. วิธีดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบชิ้นงาน
3. สืบค้นหาแหล่งวัสดุและสร้างชุดทดสอบ
4. ทดสอบและแก้ไขรายละเอียดข้อบกพร่อง
5. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล
6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เข้าใจลักษณะการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีปของดีฟฟิวเซอร์ที่มีพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม
2. ตรวจสอบความถูกต้องค่ามุมใบครีปของดีฟฟิวเซอร์ที่ได้จากการออกแบบและคำนวณ
3. เข้าใจถึงวิธีการทดสอบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม
4. เป็นข้อมูลทางวิชาการเพื่อการศึกษาค้นคว้าและพัฒนารูปแบบของดีฟฟิวเซอร์ชนิดอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำเสนอถึงเนื้อหาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบดัดฟิวเซอร์โดยจะได้นำเสนอตามรายละเอียดเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องอัดอากาศ (Compressor)

2.2 ดัดฟิวเซอร์ (Diffuser)

2.3 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการ

ถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

1. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสืบค้นหาข้อมูลและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยครั้งนี้เป็นการทบทวนผลงานวิจัยของบุคคลต่างๆ ที่ผ่านมาทั้งในส่วนภายในประเทศและต่างประเทศมีบุคคลที่ได้ศึกษาทำวิจัยดังนี้

ฮิเดกิ ทามากิ; จิ ไต; ฮิโรชิ ยามากุชิ; และทาเคชิ ไอซาวา (Hideaki Tamaki; Ji Dai, Hiroshi Yamaguchi; & Takeshi Aizawa. 2004) ศึกษาการปรับมุมใบครีบเพื่อดูผลกระทบที่มีต่อการทำงานโดยใช้วิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD Simulation) ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพใบครีบของดัดฟิวเซอร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความต่างของการปรับตั้งมุมใบครีบภายใต้เงื่อนไขที่สอดคล้องกับทิศทางการไหลเริ่มต้น การตั้งค่ามุมซึ่งมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการกระจายตัวของอากาศที่ได้มาจากการทดสอบผลและการปรับตั้งค่ามุมใบครีบ 4 ถึง 5 องศา จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพใบครีบของดัดฟิวเซอร์หรือประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยงและข้อควรจำนั้นไม่ควรปรับตั้งค่ามุมใบครีบอาจมีผลต่ออัตราการไหล

ไอนาส์; และคัมพ์สตี (Inoue; & Cumpsty. 2001) ศึกษาโครงสร้างของไหลที่ออกจากใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบแรงเหวี่ยงและของไหลที่ไหลผ่านใบครีบของดัดฟิวเซอร์ทั้งแบบมีครีบและไร้ครีบซึ่งการทดสอบได้ใช้เครื่องมือวัดแบบความเร็วสูง (Hot-Wire) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของความเร็วภายในช่องใบพัดซึ่งมีความเร็วสูงในด้านของความดันสูง (Pressure Side) รวมทั้งการเกิดขึ้นของ Wake ในด้านความดันต่ำ (Suction Side)

อะลี ไพนาบาสี (Ali Pinarbasi. 2008) ศึกษาเครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยงที่มีดัดฟิวเซอร์ประกอบร่วมและทดสอบโดยเครื่องมือวัดแบบขดลวดความร้อนเหนี่ยวนำความเร็วสูง (Hot-Wire) วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของฟิสิกส์การไหลผ่านเครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยงที่มีดัดฟิวเซอร์ประกอบร่วมโดยใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลเป็นแบบแรงเหวี่ยง

ชนิด Backswept มีจำนวน 19 ใบครีบบ และใบครีบบของดิวไฟฟวเซอร์เป็นแบบรูปสามเหลี่ยมมุมป้านมีจำนวน 16 ใบครีบบ การทดสอบได้วัดค่าที่บริเวณตำแหน่งช่องว่างใบครีบบของดิวไฟฟวเซอร์ และติดตั้งจุดวัดแบบขดลวดความร้อนเหนี่ยวนำทั้งหมด 3 จุดโดยให้อยู่ในช่องใบครีบบเดียวกันเพื่อนำเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความเร็ว ค่าพลังงานจลน์ และเป็นจุดตัวแทนของมุมใบครีบบสำหรับการกระจายตัวของการไหล

วอลเน็ต (Wernet. 2000) ศึกษาการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องอัดอากาศของชุดกังหันก๊าซโดยใช้วิธีการวัดความเร็วของอากาศด้วย Digital Particle Image Velocimetry หรือเรียกว่า DPIV ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นการไหลของอากาศภายในเครื่องอัดอากาศและยังพบว่าบริเวณช่องทางระหว่างครีบบของกังหันมี Shock Wave เกิดขึ้นและบริเวณส่วนขอบของใบครีบบมีการเกิด Bow Wave โดยเห็นได้จากความเร็วของอากาศที่ลดลงที่ส่วนขอบหน้าของครีบบและขยายออกไปและนอกจากนี้ถ้าหากมีการทดลองศึกษาที่บริเวณครีบบของกังหันก็อาจจะได้ทราบถึงการเกิด Separation บนใบครีบบได้ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้มีส่วนสำคัญในการนำไปใช้ในการออกแบบ

สก๊อต; และพราฮส์ (Skoch; & Prahst. 2000) ศึกษาการวัดสนามความเร็วของการไหลที่ไหลผ่านช่องใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบแรงเหวี่ยง Laser Doppler Velocimeter (LDA) การวิจัยครั้งนี้ได้เน้นศึกษาถึงลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นจากบริเวณช่องแคบหรือเรียกว่า Tip Clearance และการสะสมตัวของอากาศความเร็วต่ำที่ทำให้เกิดการไหลที่ไม่สม่ำเสมอและได้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD Simulation)

ลิงก์; หว่อง; และอาร์มฟิลด์ (Ling; Wong; Armfield. 2007) ศึกษาวิเคราะห์เครื่องอัดกังหันแก๊สขนาดเล็กโดยใช้วิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD Simulation) ซึ่งใช้ใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบแรงเหวี่ยงรุ่น KKK 2038 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 71 มิลลิเมตร โดยประกอบร่วมกับดิวไฟฟวเซอร์แบบรูปสามเหลี่ยมซึ่งวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานและอัตราส่วนการอัดให้สูงขึ้นโดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบที่ตนเองได้ทำวิจัยไว้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าลักษณะการไหลจากแนวศูนย์กลางไปยังแนวแกนมีการหมุนรอบเรียบขึ้นและอัตราส่วนการอัดมีจุดเด่นที่ดีกว่าเครื่องยนต์ต้นแบบ

ชลธิศ บำรุงวัด; ณัฐพงศ์ แซ่มซ้อย; และณัฐรัตน์ ถามั่งมี (2549) ศึกษาการไหลของอากาศที่ไหลผ่านใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลและดิวไฟฟวเซอร์โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) ซึ่งงานวิจัยเป็นการทดสอบและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ ผลการวิจัยพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) บริเวณด้านทางเข้าของชุด ทดสอบจะมีความเร็วสูงและความเร็วลดลงเมื่อไหลผ่านใบครีบบของดิวไฟฟวเซอร์ โดยความเร็วที่ทางเข้ามีค่า 0.9 m/s และลดลงเหลือ 0.75 m/s ที่บริเวณทางออกใบครีบบของดิวไฟฟวเซอร์ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) ซึ่งความเร็ว

มีค่าลดลงและความดันมีค่าเพิ่มขึ้นขณะไหลผ่านใบครีบของดีฟฟิวเซอร์เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการของ PIV กับ CFD พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วมีความคล้ายคลึงกัน

การค้นคว้าผลงานวิจัย

การค้นคว้าผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการทำวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 แนวทางคือ

1. สร้างเครื่องต้นแบบและใช้เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลวิเคราะห์การไหลของของไหลที่ไหลผ่านช่องใบครีบของดีฟฟิวเซอร์ เช่น เครื่องมือวัดชนิด LDV, DPIV, PIV และ Hot-Wire
2. การออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และทดลองด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) หรือเรียกว่า CFD เพื่อจำลองดูลักษณะและทิศทางการไหลของของไหล

และงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบว่าโดยกำหนดใช้ค่าความเร็วทางออกและมุมมองของใบพัดคอมเพรสเซอร์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 142 มิลลิเมตร มาเป็นจุดเริ่มต้นการคำนวณหาค่ามุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์และนำเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) มาวัดค่าพารามิเตอร์การไหลของของไหลที่ไหลผ่านช่องใบครีบลักษณะพื้นที่หน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

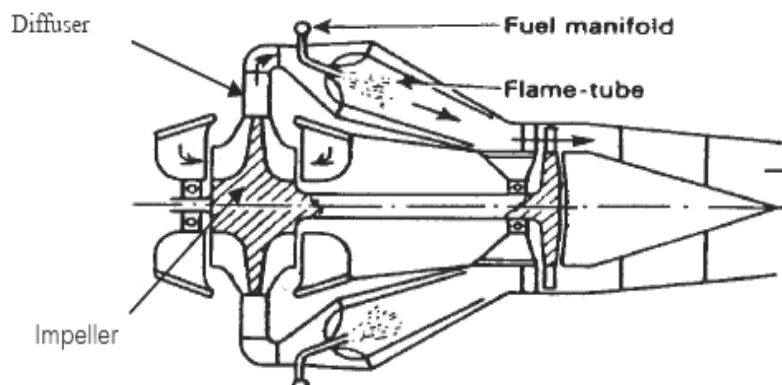
2.1 เครื่องอัดอากาศ (Compressor)

เครื่องอัดอากาศ ทำหน้าที่อัดอากาศหรือเพิ่มความดันของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ให้สูงขึ้นหรือทำให้มวลของอากาศมากในปริมาณที่กำหนดเพื่อที่จะทำให้ส่วนผสมเกิดการจุดระเบิดขยายตัวได้อย่างเต็มที่และรุนแรงขึ้นเมื่อมีการจุดระเบิดเกิดขึ้นโดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้ในเครื่องยนต์กังหันก๊าซมี 2 แบบ คือ

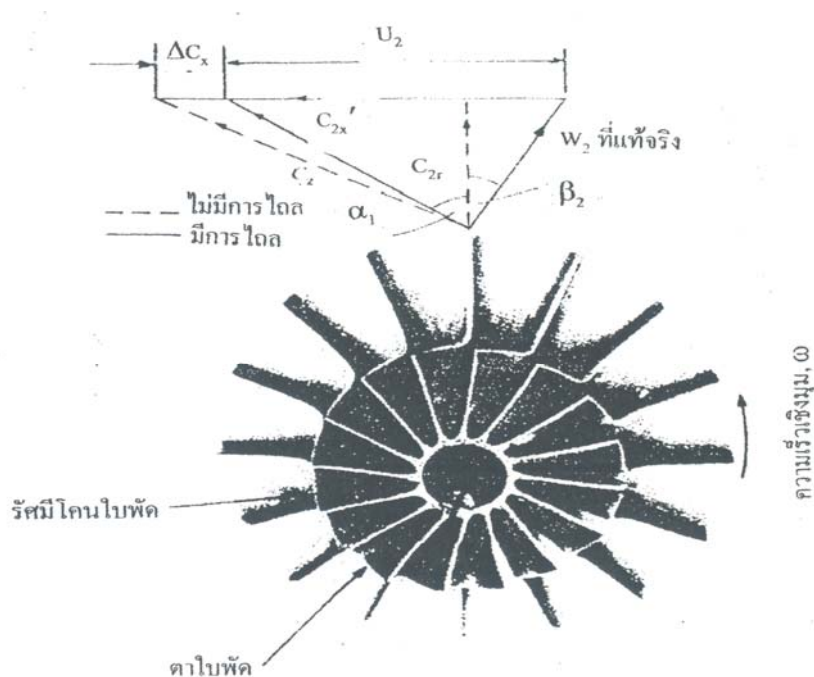
1. แบบการไหลตามแนวแกน (Axial Flow)
2. แบบการไหลตามแนวรัศมี (Radial Flow) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะได้กล่าวถึงเฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวรัศมีหรือแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเท่านั้น

เครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวรัศมีนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญซึ่งได้แก่ ใบพัด (Impeller) ดีฟฟิวเซอร์ (Diffuser) ซึ่งมีหลายรูปแบบตามลักษณะการใช้งาน เช่น Double Side Impeller ในเครื่องยนต์อากาศยานแสดงดังภาพประกอบ 1 และเครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวรัศมี (Radial Flow) เป็นแบบหนึ่งที่ยอดนิยมสำหรับการพัฒนาเครื่องยนต์กังหันก๊าซที่ต้องการอากาศที่ความดันสูงในปริมาณมากๆ สำหรับใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเล็กที่มีความเร็วรอบสูงเนื่องจากมีขนาดที่กะทัดรัดสามารถสร้างอัตราส่วนความดันได้สูงในสเตจเดียวและมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าเครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวแกน (Axial Flow) ในเครื่องอัดอากาศ

ขนาดเล็กจึงมีความเหมาะสมในการใช้งานบางรูปแบบ เช่น อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กหรือใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังขนาดเล็ก เป็นต้น



ภาพประกอบ 1 ส่วนประกอบของเครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวรัศมีในเครื่องยนต์อากาศยาน



ภาพประกอบ 2 แสดงแผนภาพความเร็วสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวรัศมี

เมื่ออากาศไหลเข้าไปในเครื่องอัดที่ตรงกลางที่เรียกว่าตาใบพัด (Impeller eye) โดยมีความเร็วสมบูรณ์ในทิศทางตามแนวแกนและเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่เรียกว่า Inducer ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งของใบพัดหรือเป็นส่วนที่แยกต่างหากจากใบพัดก็ได้ ส่วน Inducer นี้จะลำเลียงอากาศเข้าไปยัง

ใบพัดและทำให้อากาศสามารถเคลื่อนที่อย่างราบรื่นไปยังทิศทางในแนวรัศมี และมีการถ่ายเทพลังงานจากใบพัดที่หมุนให้แก่อากาศและเป็นการเพิ่มความดันสถิตยของอากาศขณะเคลื่อนที่จากรัศมีใบพัดทางเข้าไปรัศมีใบพัดทางออก โดยที่ใบพัดนั้นมีลักษณะเป็นใบพัดแบบแนวรัศมีและโดยปกติแล้วเครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยงจะแสดงขนาดมุมต่างๆ เป็นมุมที่ทำกับทิศทางในแนวรัศมี เมื่อลบเวกเตอร์ความเร็วของใบพัดที่ทางเข้าออกจากเวกเตอร์ความเร็วสมบูรณ์ของอากาศที่ทางเข้า จะได้เวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางเข้า โดยอากาศอาจมีองค์ประกอบของความเร็วในแนวทิศทางความเร็วของใบพัดที่ทางเข้า และอากาศเคลื่อนที่ออกจากใบพัดด้วยความเร็วสมบูรณ์ซึ่งเมื่อเป็นใบพัดแบบแนวรัศมี ขนาดมุมใบพัดที่ทางออก (β_2) เท่ากับศูนย์ แต่เวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางออกทำมุม (β_2') กับทิศทางในแนวรัศมี ทั้งนี้เนื่องจากการสั่นไถล (Slip) ในทางอุดมคติแล้วค่าองค์ประกอบของความเร็วจะเท่ากับความเร็วของใบพัดที่ทางออก (U_2) แต่ในความเป็นจริงค่าองค์ประกอบของความเร็วนี้จะมีค่าลดลงก็เนื่องจากการสั่นไถล ซึ่งที่ผ่านมามีค่าองค์ประกอบการสั่นไถลของ Stanitz จะถูกนำไปใช้ได้ดีที่สุดสำหรับใบพัดแบบแนวรัศมีที่มีขนาดมุม $\beta_2 = 0$ และแสดงดังสมการที่ 8

ฉะนั้นความเร็วของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลจะได้ว่า

$$U_1 = \frac{\pi D_1 N}{60} \quad (1)$$

เมื่อ U_1 คือ ความเร็วของใบพัดที่ทางเข้า

U_2 คือ ความเร็วของใบพัดที่ทางออก

N คือ ความเร็วรอบของใบพัด

D_1 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางเข้า

D_2 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออก

การจำกัดความเร็วที่ทางเข้าความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัดที่ทางออก ความเร็วที่ทางเข้าเป็นค่าที่มีผลอย่างมากซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสมรรถนะการทำงานของเครื่องอัดอากาศถ้าความเร็วที่ไหลเข้าไปยังใบพัดในหน่วยตัวเลขมัคกันเบอร์ (Mach number) มีค่ามากกว่า 1.0 แล้วจะเกิดขึ้นคลื่นช็อคพร้อมค่าพลังงานสูญเสียที่ตามมาสมมุติว่าความเร็วสมบูรณ์ของอากาศที่ทางเข้า (C_u) มีค่าสม่ำเสมอและไม่มีย้องค์ประกอบความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัดที่ทางออก ($C_x = 0$)

สำหรับค่าอัตราการไหลเชิงมวลค่าหนึ่งมีการไหลอย่างสม่ำเสมอเข้าสู่ตาใบพัดจะมีทิศทางอยู่ในแนวแกนและผ่านพื้นที่วงแหวนที่เกิดขึ้นจากระยะรัศมีที่ปลายและระยะรัศมีโคนใบพัดได้ค่าอัตราการไหลเชิงมวลว่า

$$\dot{m} = \rho A C_{u1} \quad (2)$$

ในการคำนวณทางอุดมคติความเร็วที่ปลายใบพัดสามารถคิดแยกเป็นความเร็วของอากาศที่ไหลออกมีองค์ประกอบตามแนวรัศมี (C_r) และความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัด (C_x) แสดงดังภาพประกอบ 2 ซึ่งความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัดจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความเร็วของอากาศที่ไหลออกมีองค์ประกอบตามแนวรัศมี ซึ่งในทางอุดมคติจะมีค่าเท่ากับความเร็วที่ปลายขอบของใบพัดแต่ในทางปฏิบัติความเฉื่อยของอากาศทำให้อากาศไหลออกจากปลายใบพัดด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วขอบใบพัดและทำให้เกิดความดันสูง-ต่ำภายในใบพัดจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการนิยามว่า Slip Factor หรือค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (σ_s)

$$\text{ฉะนั้น } C_x = \sigma_s U_2 \quad (3)$$

เมื่อ C_x คือ ความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัด
 σ_s คือ ค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (Slip factor)

ซึ่งในส่วนของความเร็วของอากาศที่ไหลออกมีองค์ประกอบตามแนวรัศมี (C_r) จะมีค่าขึ้นกับอัตราการไหลโดยมวลของอากาศที่ไหลผ่านคอมเพรสเซอร์และพื้นที่หน้าตัดรอบปลายของใบพัด (Impeller) ซึ่งจะนิยามความสัมพันธ์ได้ว่า

$$C_r = \frac{\dot{m}}{\rho A} \quad \text{หรือ} \quad \frac{Q}{\pi D_2 b_{com}} \quad (4)$$

เมื่อ C_r คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลออกมีองค์ประกอบตามแนวรัศมี
 b_{com} คือ ความสูงของครีปใบพัด
 Q คือ อัตราการไหล
 A คือ พื้นที่หน้าตัด
 ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

เพราะฉะนั้นความเร็วสมบูรณ์ของอากาศ (C_u) ได้ว่า

$$C_u = \sqrt{C_x^2 + C_r^2} \quad (5)$$

ความเร็วของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด (C_{com}) จะได้ว่า

$$C_{com} = U_2 - \left(\frac{C_r}{\tan \beta} \right) \quad (6)$$

จะหามุมทิศทางของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด (α) หาจาก

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{C_r}{C_u} \right) \quad (7)$$

ค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (σ_s) คือ

$$\sigma_s = 1 - \frac{0.63 \pi}{Z} \quad (8)$$

เมื่อ Z คือ จำนวนครีบของใบพัด

จากสมการของออยเลอร์เมื่อไม่มีค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (Slip factor)

$$E = \frac{U_2 C_x}{g} = \frac{U_2^2}{g} \quad (9)$$

และเมื่อมีค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (σ_s)

$$E = \frac{\sigma_s U_2^2}{g} \quad (10)$$

ถึงแม้ว่าสมการที่ 10 จะเป็นสมการที่มีองค์ประกอบการสิ้นเปลืองด้วยแต่ก็ยังคงได้ค่าพลังงานที่ถ่ายเทให้แก่อากาศในเชิงทฤษฎีด้วยเหตุที่ว่าแม้ของไหลจะไม่มี ความเสียดทานก็ยังมีการสิ้นเปลืองในของไหลที่แท้จริงกำลังงานบางส่วนที่ถูกจ่ายออกไปโดยใบพัดจะถูกนำไปใช้ในการเอาชนะค่ากำลังงานที่สูญเสียที่มีผลกระทบทำให้การลำเลียงอากาศหยุดชะงักโดยใบพัดค่ากำลังงานสูญเสียเหล่านี้ประกอบด้วยกำลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานกับผิวใบพัด ตัวเรือน กำลังงานสูญเสียเนื่องจากการหมุนต้านลมและจะหาค่ากำลังงานรวมโดยปกติแล้วจะมีค่าระหว่าง 1.035 ถึง 1.040

$$E = \frac{\psi \sigma_s U_2^2}{g} \quad (11)$$

เมื่อ E คือ ค่าพลังงานที่ถ่ายเทให้แก่อากาศในเชิงทฤษฎี
 ψ คือ ค่าตัวประกอบกำลังงาน (Power input factor)

ค่าองค์ประกอบการสิ้นเปลือง (Slip factor) ควรที่จะสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ด้วยเหตุที่เป็นค่าที่จำกัดปริมาณการถ่ายเทพลังงานให้แก่อากาศและจะเห็นได้จากแผนภาพความเร็วว่าเมื่อค่าองค์ประกอบการสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นค่าองค์ประกอบความเร็วจะมีค่าเข้าใกล้มากขึ้นซึ่งจากสมการของค่าองค์ประกอบการสิ้นเปลืองจะได้ว่าการเพิ่มจำนวนของใบจะทำให้ความหนาแน่นที่ตาของใบพัดเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้พื้นที่การไหลที่ทางเข้ามีขนาดลดลงและสำหรับค่าอัตราการไหลเชิงมวลที่คงที่ค่าหนึ่งความเร็วตามแนวแกนที่ทางเข้านั้นจะเพิ่มขึ้นตามมาและสุดท้ายก็ทำให้ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานเพิ่มขึ้นจนถึงขั้นรุนแรงทำให้เสียหายได้ โดยปกติแล้วสำหรับค่าที่ยอมรับทั่วไปนั้นค่าองค์ประกอบการสิ้นเปลืองจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.9 สำหรับคอมเพรสเซอร์วีลที่มีจำนวนใบครีป 19 - 21 ใบครีป

ฉะนั้นอากาศที่ไหลออกจากใบพัดจะเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นแนวเวียนขด (Spiral) ไปในช่องทางที่ไม่มีใบก่อนที่จะเข้าไปในใบครีปของดิฟฟูเซอร์และความดันสถิตยของอากาศจะเพิ่มขึ้นไปอีกโดยจะต้องให้มีช่องว่างระหว่างใบพัดและผนังด้านในของตัวเรือนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อลดการรั่วและในบางครั้งใบพัดจะมีลักษณะที่ถูกครอบไว้ เมื่ออุณหภูมิและความดันของอากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไปเป็นการสะดวกที่ตรวจสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรในเทอมของคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศได้

การไหลของอากาศที่ผ่านใบพัดจากส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 2 จะมีพลังงานที่ถ่ายเทเกิดขึ้นกับอากาศและมีการเพิ่มความดันสถิตยจาก P_1 ไปเป็น P_2 ซึ่งเขียนพลังงานต่อหน่วยมวลของอากาศในเทอมของเอนทาลปีได้เป็น

$$\frac{W}{\dot{m}} = h_{02} - h_{01} = U_2 C_{x2} - U_1 C_{x1} \quad (12)$$

เมื่อ h คือ ค่าเอนทาลปี
 W คือ พลังงานที่ถ่ายเทของเครื่องอัดอากาศ

โดยปกติแล้วในการคำนวณการออกแบบขั้นต้นมักจะสมมติให้ $C_{x1} = 0$ ถึงแม้ว่าจะไม่เป็นตามนี้อยู่เสมอไปและจากสมการที่ 11 พลังงานที่ถ่ายเทให้อากาศต่อหน่วยมวลจะได้เป็น

$$h_{02} - h_{01} = \psi \sigma_s U_2^2 \quad (13)$$

เมื่อแทนค่า $h_{02} - h_{01} = C_p (T_{02} - T_{01})$ โดยที่ C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะที่เฉลี่ยในช่วงของอุณหภูมิ T_{01} ถึง T_{02} นี้จะได้สมการว่า

$$T_{02} - T_{01} = \frac{\psi \sigma_s U_2^2}{C_p} \quad (14)$$

ด้วยเหตุที่ไม่มีพลังงานถ่ายเทเกิดขึ้นในใบคิริบของดิฟฟิวเซอร์ซึ่งก็คือ $h_{02} - h_{03}$ จึงได้สมการที่ 15 เป็น

$$T_{03} - T_{01} = \frac{\psi \sigma_s U_2^2}{C_p} \quad (15)$$

จะนำอัตราส่วนความดันรวมของอากาศที่ออกจากใบพัดคือ

$$\frac{P_{02}}{P_{01}} = \left(1 + \frac{\eta_{com} (T_{02} - T_{01})}{T_{01}} \right)^{k/(k-1)} \quad (16)$$

เมื่อ η_{com} คือ ประสิทธิภาพในการไหลผ่านใบพัด

เมื่อแทนค่าด้วยสมการที่ 15 จะได้ว่า

$$\frac{P_{03}}{P_{01}} = \left(1 + \frac{\eta_{com} \psi \sigma_s U_2^2}{C_p T_{01}} \right)^{k/(k-1)} \quad (17)$$

ในขณะที่เดียวกันอาจจะต้องการให้ค่าองค์ประกอบกำลังงานที่ป้อนเข้า (ψ) มีค่ามากด้วย แต่จะพบว่าอัตราการลดลงของประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกไปกับการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบกำลังงานนี้ไม่เกิดผลดีใดๆ ซึ่งในทางอุดมคติจะให้มีความองค์ประกอบกำลังที่ป้อนเข้าเท่ากับ 1.0 และจากสมการที่ 16 ค่าอัตราส่วนความดันที่เพิ่มขึ้นไปกับความเร็วที่ปลายใบพัดแต่เมื่อพิจารณาความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ก็มีข้อจำกัด ซึ่งความเค้นในแนวออกจากศูนย์กลางนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของความเร็วปลายใบ เช่น ถ้าใช้วัสดุเป็นโลหะอัลลอยด์เบาจะจำกัดค่าอัตราส่วนความดันอยู่ที่ประมาณ 4:1 และถ้าใช้วัสดุไททาเนียมก็จะเป็นไปได้ที่จะได้อัตราส่วนความดันถึง 7:1

เมื่อการไหลเป็นแบบไอเซนโทรปิก (Isentropic) ดังนั้นอุณหภูมิ Stagnation temperature (T_0) จะคงที่

$$T_0 = T - \frac{C_u^2}{2C_p}$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของอากาศ

จะนำอุณหภูมิสถิตยของอากาศที่ออกจากใบพัดคือ

$$T_2 = T_{02} - \frac{C_u^2}{2C_p} \quad (18)$$

เมื่อการอัดตัวของอากาศเป็นแบบไอเซนโทรปิกให้ความสัมพันธ์ของความดันกับอุณหภูมิ ดังนั้น Stagnation Pressure คือ

$$\frac{P_2}{P_{02}} = \left(\frac{T_2}{T_{02}} \right)^{k/(k-1)} \quad (19)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของอัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ

ดังนั้นความหนาแน่นของอากาศจะได้ว่า

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (20)$$

เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของอากาศ (0.287 J/kg K)
 P คือ ความดันของของไหล

เมื่อคอมเพรสเซอร์วีลเป็นอุปกรณ์เพิ่มอัตราส่วนความดันของอากาศที่ไหลผ่านเข้าห้องเผาไหม้ซึ่งอากาศจะถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงประมาณ 3 ถึง 12 เท่าจากปริมาตรเดิมโดยปกติอากาศที่ส่งไปยังห้องเผาไหม้มีปริมาตรมากขึ้นจะทำให้ได้ปริมาตรแก๊สร้อนเพิ่มขึ้นและสามารถหาเอนทาลปี que เพิ่มขึ้นได้จาก

$$\Delta h = T \times C_P \left(\pi^{0.286} - 1 \right) \quad (21)$$

เมื่อ Δh คือ ค่าความต่างของเอนทาลปี

ค่าตัวเลขมัคกันเบอร์ (Mach number)

ค่าตัวเลขมัคกันเบอร์แบบสมบูรณ์ของอากาศที่ไหลออกจากใบพัดอาจจะมีค่าสูงกว่า 1.0 ได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าถ้าความเร็วของอากาศที่ไหลออกมีองค์ประกอบตามแนวรัศมี (C_r) มีค่าต่ำกว่าความเร็วเสียงค่าประสิทธิภาพจะไม่ลดลงจากการที่เกิดคลื่นช็อคนอกเหนือจากนี้การที่จะรักษาโมเมนตัมเชิงมุมของการเคลื่อนที่ไหลวนในพื้นที่ส่วนที่ไม่มีใบที่อยู่ระหว่างปลายใบพัดและใบครีบของดิฟฟูเซอร์ให้คงที่ไว้นั้นการกระจายที่สูงกว่าความเร็วเสียงก็สามารถที่จะเกิดขึ้นได้ซึ่งอาจจะต้องลดค่าตัวเลขมัคกันเบอร์ที่ทางเข้าใบครีบของดิฟฟูเซอร์ลงให้ถึงประมาณ 0.8 การที่ค่าตัวเลขมัคกันเบอร์ที่ทางเข้าใบครีบของดิฟฟูเซอร์มีค่าสูงจะทำให้เกิดความดันสูงที่จุดสถานะนิ่ง (Stagnation) บนปลายใบครีบของดิฟฟูเซอร์ซึ่งนำไปสู่การแปรเปลี่ยนของค่าความดันสถิตยในแนวเส้นรอบวงของใบครีบของดิฟฟูเซอร์และการแปรเปลี่ยนของความดันนี้ก็ถูกส่งไปตามแนวรัศมีผ่านพื้นที่ที่ไม่มีใบด้วยเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะช้าๆ บนใบพัดซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหายจากการล้าได้เร็วกว่าปกติ

$$M = \frac{C_u}{\sqrt{k R T}} \quad (22)$$

เมื่อ M คือ ค่าตัวเลขมัคกันเบอร์ของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด

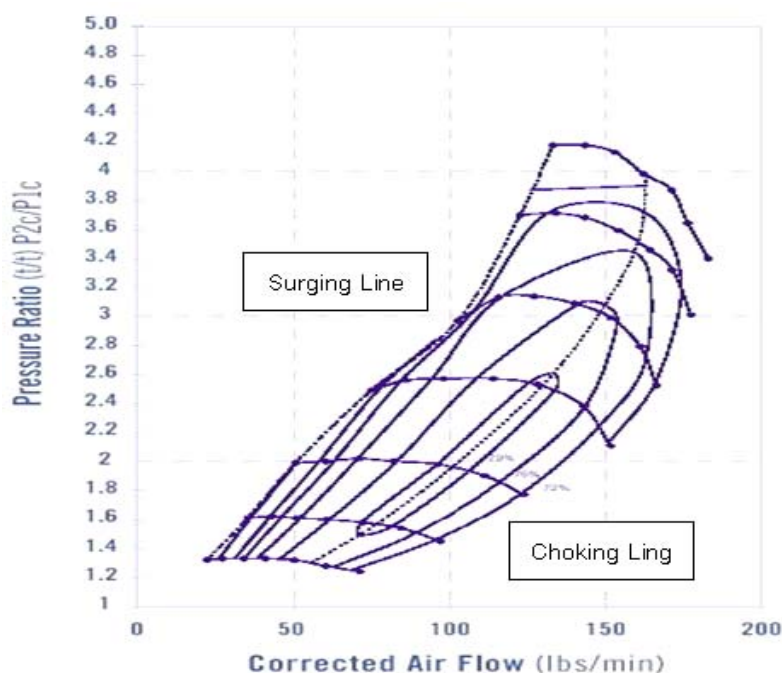
ดังนั้นความเร็วของเสียงในอากาศที่ปลายใบพัดหาได้จาก

$$C_a = \sqrt{kRT} \quad (23)$$

เมื่อ C_a คือ ความเร็วของเสียงในอากาศที่ปลายใบพัด

คุณลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลชนิดแบบการไหลตามแนวรัศมี

ใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบไหลผ่านตามแนวรัศมีซึ่งมีข้อดีคือมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทานที่ความเร็วรอบสูงๆ และลักษณะของโครงสร้างที่ออกแบบง่ายจึงเป็นลักษณะที่เด่นและปัจจุบันจึงนิยมใช้กับเครื่องอัดอากาศชนิดแบบไหลผ่านตามแนวรัศมีเนื่องจากสามารถสร้างได้หลายรูปแบบและกราฟแสดงคุณลักษณะใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลเป็นข้อมูลที่แสดงถึงรายละเอียดการทำงานและประสิทธิภาพของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล ปกติจะแสดงในรูปของกราฟไดอะแกรมที่บ่งบอกถึงข้อมูลในการออกแบบที่จำเป็นต่างๆ ในตัวใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลถึงแม้ว่ากราฟแสดงคุณลักษณะใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลจะหาค่าที่ต้องการทราบได้ในทันทีแต่ถ้าในเชิงทางปฏิบัตินั้นค่าที่ได้ออกมาถือว่ายังไม่สมบูรณ์เพียงพอในการออกแบบ และจากกราฟในแนวแกน X จะแสดงถึงอัตราการไหลของมวลอากาศที่ออกจากใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลส่วนในแนวแกน Y จะแสดงถึงอัตราส่วนความดัน (Pressure Ratio) ที่กราฟไดอะแกรมยังแสดงถึงเส้นประสิทธิภาพการทำงานและเส้นความเร็วรอบในการหมุนของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลเพื่อสำหรับการเลือกใช้งาน



ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างกราฟแสดงคุณลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล

เส้นของ Choking

ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานของคอมเพรสเซอร์วีลที่ความเร็วรอบค่าๆ หนึ่งถึงแม้จะอัดอากาศเต็มที่แล้วก็ไม่สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้มากกว่านี้ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดที่มีอุปสรรคในคอมเพรสเซอร์บางตัวทำงานด้วยสภาวะความเร็วเสียง (Sonic Condition) ซึ่งจะไม่สามารถทำให้อัตราการไหลเชิงมวลได้มากกว่านี้ได้อีกแล้ว

สำหรับคอมเพรสเซอร์จุดที่น่าจะเป็นสาเหตุก็จะมีอยู่ด้วยกัน 3 จุด

1. บริเวณทางเข้าของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล
2. บริเวณทางเข้าของดิฟฟูเซอร์
3. บริเวณทางเข้าของ Guide Vane

เส้นของ Surging

ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานของคอมเพรสเซอร์วีลที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลซึ่งจะมีผลต่อคอมเพรสเซอร์โดยจะดูได้จากเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ข้าง

1. ความชันด้านลบ (Negative Slope) ถ้าลดอัตราการไหล อัตราการส่วนความดันจะเพิ่ม แต่ถ้าอัตราการไหลเพิ่ม ความดันจะลดลง
2. ความชันด้านบวก (Positive Slope) ถ้าลดอัตราการไหล อัตราส่วนความดันจะลดลง ด้วย แต่ถ้าอัตราการไหลเพิ่ม ความดันจะเพิ่มตามลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของความดันเนื่องจากการเปลี่ยนอัตราการไหลซึ่งจะหลีกเลี่ยงช่วงที่เป็นความชันด้านบวก

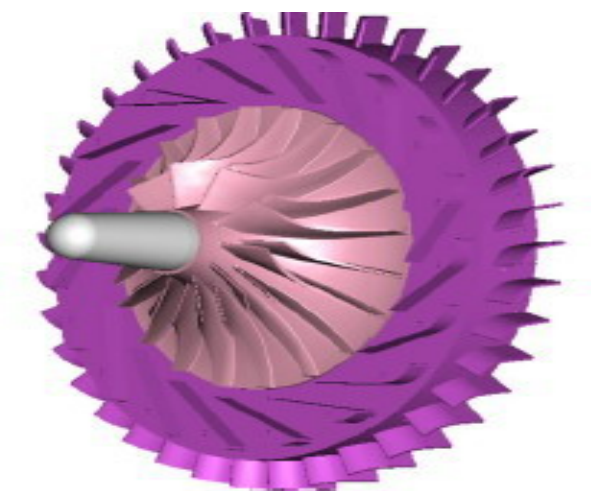
เส้นโค้งเฉพาะ

ภาพประกอบ 3 แสดงค่าอัตราส่วนความดันทั้งหมดและประสิทธิภาพที่ถูกพล็อตเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่ช่วงความเร็วรอบคงที่และจุดแสดงค่าประสิทธิภาพคงที่ค่าต่างๆ อยู่บนเส้นโค้งความเร็วรอบคงที่และค่าอัตราส่วนความดันเฉพาะที่สอดคล้องกัน และเมื่อเชื่อมจุดเหล่านั้นเข้าด้วยกันก็ได้เป็นแนวเส้นแสดงค่าประสิทธิภาพคงที่

จะเห็นได้ชัดว่าที่ค่าความเร็วรอบทุกๆ ช่วงของค่าอัตราการไหลเชิงมวลที่เครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยงจะทำงานได้ก่อนที่จะเกิดการขึ้นลงหรือการอุดตันนั้นค่อนข้างกว้าง ถึงแม้ว่าช่วงจะลดลงในขณะที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น การขึ้นลงจะเริ่มเกิดขึ้นที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวลที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และมีเส้นเชื่อมจุดตำแหน่งของขีดจำกัดความเสถียรเรียกว่าเส้นของการขึ้นลง (Surge line) เมื่อเปรียบเทียบแล้วเครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเชิงมวลตราบเท่าที่ยังเกี่ยวข้องกับความเร็วเสียง ซึ่งโดยปกติแล้วขีดจำกัดการไหลที่สูงที่สุดมักจะถูกจำกัดด้วยการอุดตันในใบพัดในขณะที่ขีดจำกัดการขึ้นลงของอัตราการไหลเชิงมวลต่ำที่สุดจะถูกจำกัดโดยการติดขัดของการไหลผ่านใบพัดของดิฟฟูเซอร์

2.2 ดิฟฟิวเซอร์ (Diffuser)

ดิฟฟิวเซอร์ที่ใช้กับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบแรงเหวี่ยงโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ คือแบบมีครีป (Vaned Diffuser) แสดงดังภาพประกอบ 4 และแบบไร้ครีป ดังภาพประกอบ 5 การมีครีปเรียงอากาศจะทำให้ใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลมีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้นเนื่องจากครีปจะช่วยจัดกระแสอากาศให้มีเส้นทางเดินของกระแสอากาศสั้นลงแทนที่จะมีเส้นทางเดินแบบเวียนกันหอย (Spiral path line) จึงลดการสูญเสียพลังงานในการไหลลงของความดันสถิตยที่เพิ่มในใบครีปของดิฟฟิวเซอร์แบบมีครีปอาจมากกว่าแบบไร้ครีปถึง 10 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าใบครีปของดิฟฟิวเซอร์จะมีประสิทธิภาพสูงทำให้ Pressure Recovery สูงกว่าแบบไร้ครีปแต่เป็นในช่วงอัตราการใช้ไหลแคบๆ ช่วงหนึ่งเท่านั้นดังภาพประกอบ 6

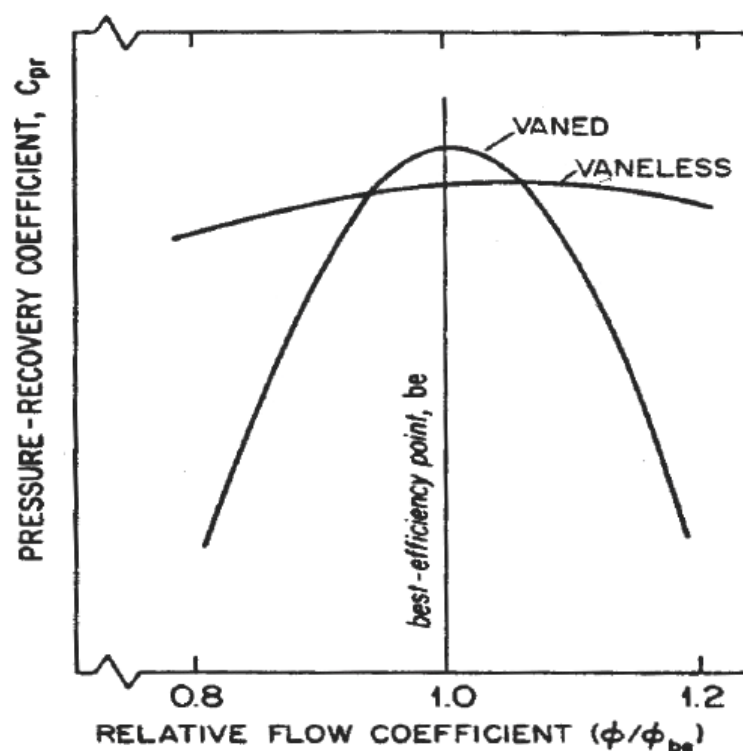


ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างใบพัดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและดิฟฟิวเซอร์แบบมีครีป



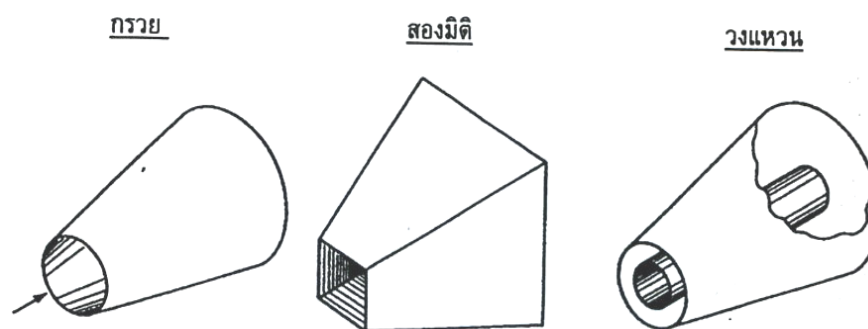
ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลและดิฟฟิวเซอร์แบบไร้ครีป

ในทางอุดมคติเมื่อไม่คิดผลของการสูญเสียใดๆ ในการไหลผ่านใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์กระบวนการเพิ่มความดันสถิตยจะเกิดจากพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มขึ้นตามแนวรัศมีซึ่งจะลดความเร็วของอากาศที่ไหลออกมีองค์ประกอบตามแนวรัศมี (C_r) และส่วนความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัด (C_x) จะถูกทำให้ช้าลงด้วยหลักการของโมเมนต์เชิงเชิงมุมคงที่โดยความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัด (C_x) จะแปรผกผันกับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางดังนั้นแม้ความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัดที่ไหลเข้าสู่ใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์จะสูงกว่าความเร็วเสียงโดยปราศจาก Shock wave



ภาพประกอบ 6 การเปรียบเทียบ Pressure Recovery ของอัตราการไหลระหว่างใบครีบบแบบ Vaned กับ Vaneless

1. รูปแบบของดิฟฟิวเซอร์โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 แบบหลักๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าเราจะเลือกใช้ดิฟฟิวเซอร์ประเภทไหนดังภาพประกอบ 7 โดยมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันของแต่ละแบบดังตาราง 1

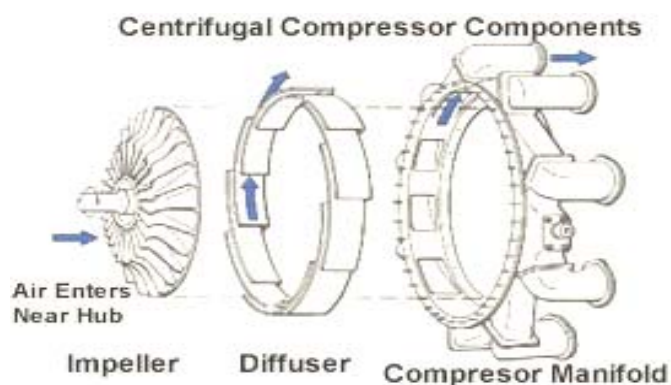


ภาพประกอบ 7 รูปแบบของดีฟฟิวเซอร์

ตาราง 1 ข้อดีและข้อเสียของดีฟฟิวเซอร์แต่ละรูปแบบ

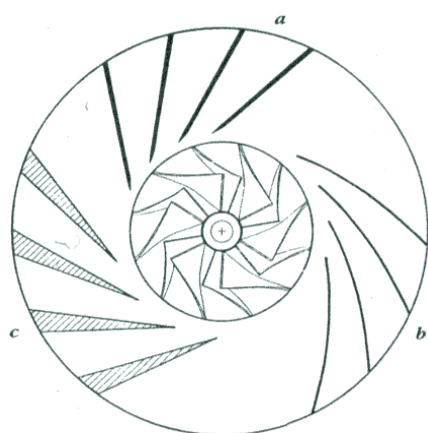
รูปแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
กรวย	เกิดความดันสูญเสียน้อยกว่ารูปทรงอื่นๆ เพราะมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดอย่างช้าๆ	มีความยาวที่มากกว่ารูปทรงอื่นทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน
สองมิติ	นิยมใช้กับห้องเผาไหม้ทั่วไป	มีสัณฐานที่มากเกินไปก่อให้เกิดการแยกชั้นของการไหล
วงแหวน	นิยมใช้กับห้องเผาไหม้ของเครื่องบินและทำให้ลดการเกิดการแยกชั้นการไหลจากการเคลื่อนที่	มีลักษณะรูปทรงที่เหมาะสมกับห้องเผาไหม้เครื่องบินแต่ไม่เหมาะสมกับห้องเผาไหม้ทั่วไป

2. หลักการทำงานของดีฟฟิวเซอร์ คืออุปกรณ์ส่วนที่จะทำงานร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลเมื่ออากาศไหลผ่านเข้าใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลจะถูกใบพัดเหวี่ยงอากาศให้เคลื่อนที่ไปยังส่วนปลายใบพัดจะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางขึ้นและตัวใบพัดจะหมุนให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและเกิดการอัดตัวขึ้นเมื่อแก๊สไหลออกจากปลายใบพัดจะไหลเข้าสู่ส่วนดีฟฟิวเซอร์โดยเปลี่ยนพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากความเร็วปลายใบพัดเป็นความดันสถิต (Static Pressure) ที่สูงขึ้นและอากาศจะถูกอัดตัวแล้วส่งเข้าท่อรวมอากาศเพื่อเข้าห้องเผาไหม้

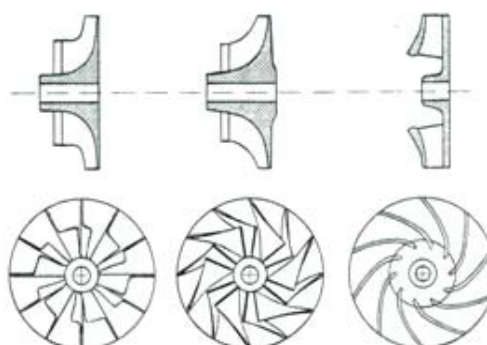


ภาพประกอบ 8 ลักษณะทิศทางการไหลที่ไหลผ่านอุปกรณ์

ดิฟฟิวเซอร์ ทำหน้าที่เป็นส่วนที่เพิ่มขยายปริมาตรภายในเพื่อลดความเร็วจากการเคลื่อนที่และเพิ่มค่าความดันของอากาศที่มาจากใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลเพื่อไหลไปยังส่วนของดิฟฟิวเซอร์และเตรียมอากาศก่อนที่จะไหลต่อไปยังส่วนภายในห้องเผาไหม้ด้วยความเร็วของอากาศที่จะผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ช่องทางออกและลักษณะของดิฟฟิวเซอร์โดยทั่วๆ ไปซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ [1] แบบใบครีตรง [2] แบบใบครีโค้ง [3] แบบใบครีรูปลิ้ม แสดงดังภาพประกอบ 9



Types of compressor diffuser system:
a) Straight diffuser blades,
b) Forward curved blades,
c) Wedge-shaped blade diffuser.

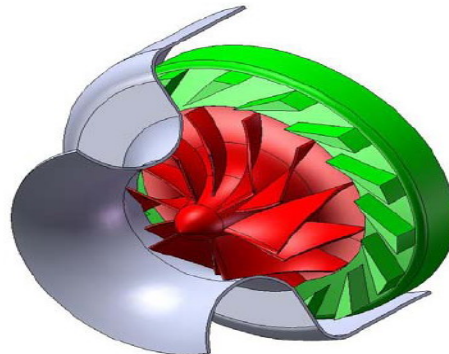
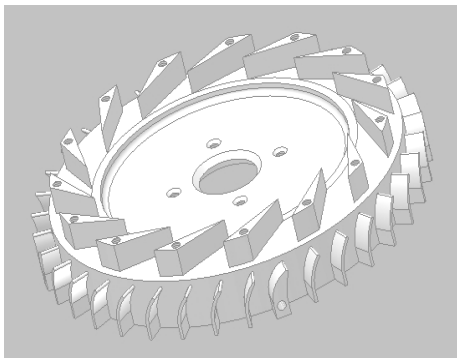


Types of radial compressor (top to bottom):
wheel with radially tipped blades; wheel with
slightly retro-curved blades; enclosed wheel
with greatly retro-curved blades.

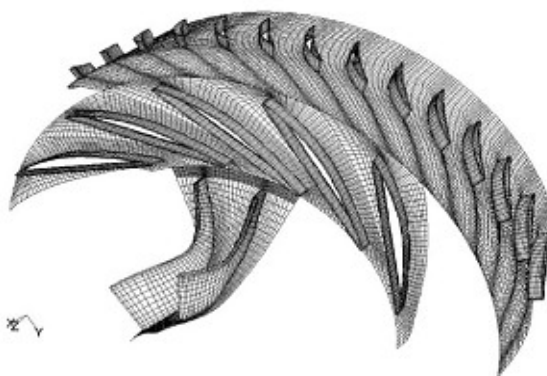
ภาพประกอบ 9 ลักษณะของดิฟฟิวเซอร์และใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล

3. การแบ่งลักษณะใบครีบบของดีฟฟิวเซอร์

3.1 ใบครีบบแบบรูปลิ้ม ซึ่งแบ่งออกได้เป็นหลายลักษณะดังภาพประกอบ 10 และ 11



ภาพประกอบ 10 ใบครีบบแบบรูปลิ้มชนิดสามเหลี่ยมมุมป้าน

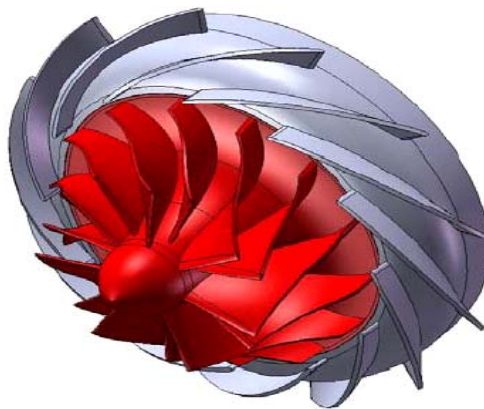


ภาพประกอบ 11 ใบครีบบแบบรูปลิ้มชนิดใบโค้งวงรี

3.2 ใบครีบบแบบแผ่นเรียบ ซึ่งแบ่งออกได้เป็นหลายลักษณะดังภาพประกอบ 12 ถึง 15



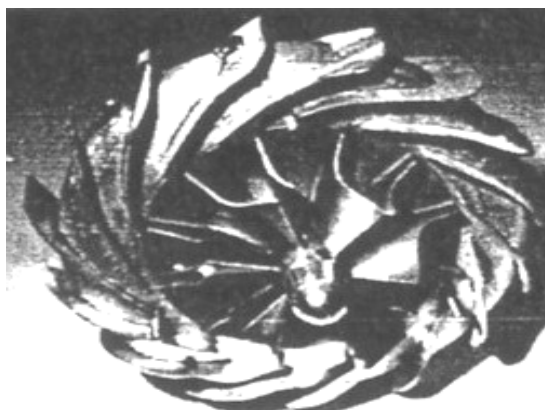
ภาพประกอบ 12 ใบครีบบแบบแผ่นเรียบชนิดใบตรง



ภาพประกอบ 13 ใบกรีดแบบแผ่นเรียบชนิดใบโค้งบิดเอียง



ภาพประกอบ 14 ใบกรีดแบบแผ่นเรียบชนิดใบโค้ง



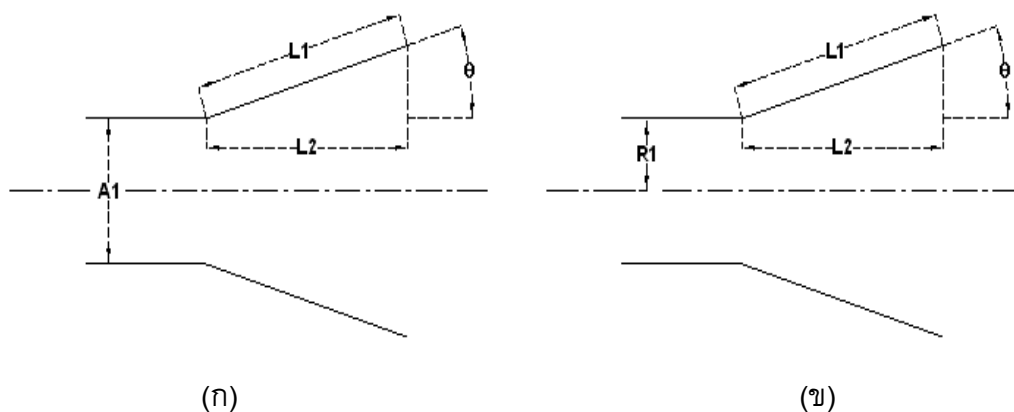
ภาพประกอบ 15 ใบกรีดแบบแผ่นเรียบชนิดใบหมุนโค้ง

4. รูปทรงใบครีบบองของดิฟฟิวเซอร์ อาจถูกอธิบายด้วยตัวแปรการกระจายตัวของใบครีบบอง จะต้องสามารถทำให้อากาศมีความดันเพิ่มขึ้นตามที่ต้องการโดยมีความสูญเสียของความดันน้อยที่สุดและมีความเร็วทางออกในช่วงที่เหมาะสมซึ่งปริมาณที่แสดงถึงความสามารถของการกระจายตัวของใบครีบบอง คือ

4.1 อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (Area Ratio, AR) ถือว่าเป็นค่าที่สำคัญมากค่าหนึ่ง เพราะอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดจะแปรผันกับความเร็วทางออกของใบครีบบองซึ่งจะได้ว่า

$$AR = \frac{A_2}{A_1} = 1 + 2 \frac{L_1}{A_1} \sin \theta \quad (24)$$

เมื่อ	L_1	คือ ความยาวของใบครีบบอง
	L_2	คือ ความยาวของใบครีบบอง
	A_1	คือ พื้นที่หน้าตัดใบครีบบองของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางเข้า
	A_2	คือ พื้นที่หน้าตัดใบครีบบองของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก
	θ	คือ มุมรัศมีของใบครีบบอง
	AR	คือ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดใบครีบบองของดิฟฟิวเซอร์



ภาพประกอบ 16 รูปทรงทางเรขาคณิตของดิฟฟิวเซอร์ (ก) สองมิติ (ข) กรวย

4.2 สมรรถนะการกระจายตัวของใบครีบบองซึ่งแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการเพิ่มความดัน

จะใช้น้ำค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดัน (Pressure Rise Coefficient, C_{Pr}) จะได้

$$C_{Pr} = \frac{P_{st,2} - P_{st,1}}{\frac{1}{2}\rho_1^2} = 1 - \frac{1}{AR^2} \quad (25)$$

เมื่อ C_{Pr} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดัน

$P_{st,1}$ คือ ความดันสถิตยทางเข้า

$P_{st,2}$ คือ ความดันสถิตยทางออก

จะนำค่าสัมประสิทธิ์ของการเพิ่มความดันทางทฤษฎี (Theoretical Pressure Rise Coefficient, $C_{pr,tl}$) คือ

$$C_{pr,tl} = 1 - \left(\frac{U_4}{U_3} \right)^2 \quad (26)$$

เมื่อ $C_{pr,tl}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดันทางทฤษฎี

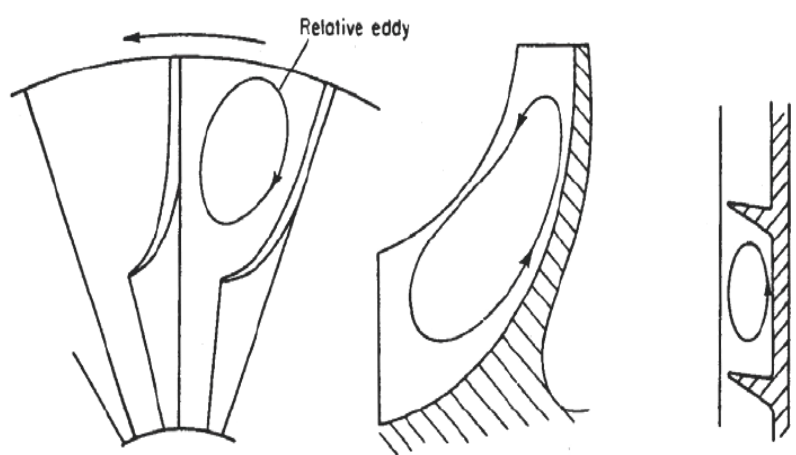
U_3 คือ ความเร็วของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางเข้า

U_4 คือ ความเร็วของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก

ดังนั้นประสิทธิภาพการกระจายตัวของดิฟฟิวเซอร์ (η_{diff}) โดยปกติค่าจะอยู่ช่วงระหว่าง 0.5 หรือ 0.9 และขึ้นอยู่กับรูปทรงของใบครีบแต่ละแบบด้วย

$$\eta_{diff} = \frac{C_{pr}}{C_{pr,tl}} \quad (27)$$

การวิเคราะห์ทางทฤษฎีโดยตรงเกี่ยวกับการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบของดิฟฟิวเซอร์มีความยากเพราะในความจริงกระแสอากาศความเร็วสูงที่ไหลออกจากปลายใบพัดมีความซับซ้อนอย่างมากเมื่อไหลเข้าสู่ใบครีบเนื่องจากปรากฏการณ์การไหลในช่อง Clearance ระหว่างใบพัดกับเสื้อใบพัด (Impeller housing) และการกำเนิดของ Secondary Flow ดังภาพประกอบ 17 กระแสอากาศที่ไหลออกจากใบพัดด้วยความเร็วที่สูงกว่าในด้านความดันสูงของใบพัด (Pressure side) ขณะที่ในด้านความดันต่ำ (Suction side) จะปรากฏกระเปาะของอากาศความเร็วต่ำ (Low Velocity Pocket)



ภาพประกอบ 17 แสดงลักษณะการไหลของ Secondary Flow ที่เกิดในใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล

การกำหนดขนาดใบครีบของดิฟฟูเซอร์ได้โดยพิจารณาจากอัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}$) ที่ระยะรัศมีใดๆ ได้โดยให้ $\dot{m} = \rho A C_r = 2 \pi r b \rho C_r$

โดยที่ b คือความกว้างของช่องทางที่ของไหลนั้นไหลผ่านดิฟฟูเซอร์ซึ่งตั้งฉากกับพื้นที่ขอบนอกของใบพัดโดยปกติแล้วจะเหมือนกับความกว้างของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลและสมการความต่อเนื่องระหว่างที่ระยะรัศมีใดๆ และที่ระยะรัศมีของใบพัดที่ทางออก (r_2)

$$C_{diff} = \frac{C_{x2} r_2}{r_3} \quad (28)$$

เมื่อ C_{diff} คือ ความเร็วที่ช่องใบครีบของดิฟฟูเซอร์
 r_2 คือ รัศมีใบพัดที่ทางออก
 r_3 คือ รัศมีใบครีบของดิฟฟูเซอร์ที่ทางเข้า

ฉะนั้นเวกเตอร์ความเร็วสมบูรณ์ของอากาศที่ออกจากใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลจะทำมุมกับแนวรัศมีซึ่งจะคงที่ตลอด

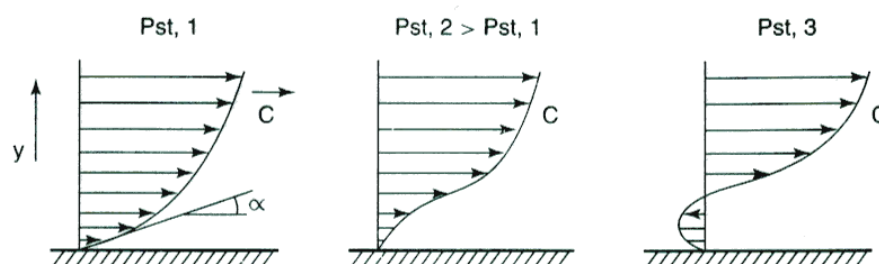
$$\tan \alpha' = \frac{C_{x2}}{C_{r2}} = \text{ค่าคงที่}$$

ซึ่งของไหลที่ไหลออกจากใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลจะเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งลอการิทึมก่อนที่จะไหลผ่านเข้าใบครีบของดิฟฟิวเซอร์และเมื่อของไหลไหลเข้าไปยังแนวใบครีบ ตัวแปรสำคัญที่มีต่อการควบคุมอัตราการกระจายพลังงานจลน์คือมุมใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ซึ่งโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับารออกแบบและจะไม่มี การแยกชั้นของของไหลเกิดขึ้นด้วย สำหรับจำนวนครีบของดิฟฟิวเซอร์อยู่ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

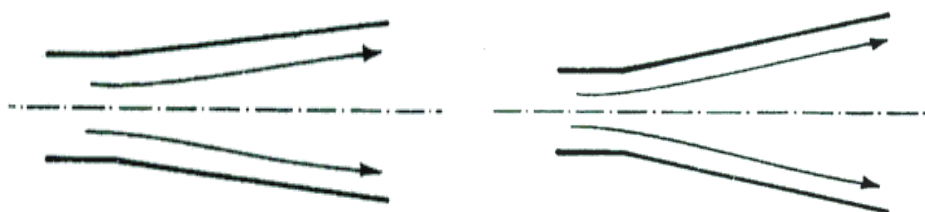
- 1) เมื่อจำนวนใบครีบของดิฟฟิวเซอร์มากขึ้นการกระจายตัวจะดีขึ้นแต่ค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานจะสูงขึ้น
- 2) พื้นที่หน้าตัดช่องใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ควรจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อให้ได้ขนาดรัศมีชลศาสตร์ยาวที่สุด
- 3) จำนวนใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ไม่ควรจะเป็นจำนวนเท่าที่ลงตัวกับจำนวนครีบของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลทั้งนี้เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่เสริมกันจนมีความรุนแรงมากขึ้น

5. ปัจจัยที่อาจมีผลต่อสมรรถนะของดิฟฟิวเซอร์

5.1 ลักษณะการไหลที่ไหลผ่านช่องใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ในทางอุดมคตินั้นเราต้องการให้การไหลมีความราบเรียบโดยไม่มี ความดันสูญเสียเกิดขึ้นแต่ในความเป็นจริงการไหลในท่อเมื่อยิ่งไหลในระยะทางที่ไกลมากเพียงใดจะทำให้เกิดความดันสูญเสียมากยิ่งขึ้นโดยเป็นผลมาจากชั้นขีดผิว (Boundary Layer) แสดงดังภาพประกอบ 18 เนื่องจากดิฟฟิวเซอร์ทำหน้าที่ลดความเร็วและความดันจะเพิ่มขึ้นตามการเคลื่อนที่ตลอดแนวความยาวของใบครีบเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยทฤษฎีของชั้นขีดผิวซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงการกระจายตัวของความเร็วในชั้นขีดผิว โดยความดันมีค่าเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวาขณะที่ความดันมีค่าเพิ่มขึ้นมุม (α) ของการกระจายตัวของความเร็วจะมีค่าเพิ่มขึ้นและทำให้ชั้นขีดผิวมีความหนาแน่นของอากาศมากขึ้นและเกิดการไหลย้อนกลับซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการแยกชั้นการไหล

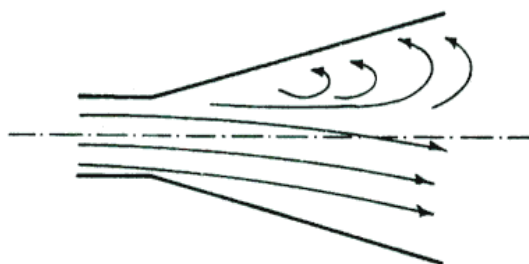


ภาพประกอบ 18 การกระจายตัวของความเร็วชั้นขีดผิวในบริเวณที่เกิดความดันย้อนกลับ



(ก) Small area ratio: moderate pressure recovery

(ข) Moderate area ratio: higher pressure recovery

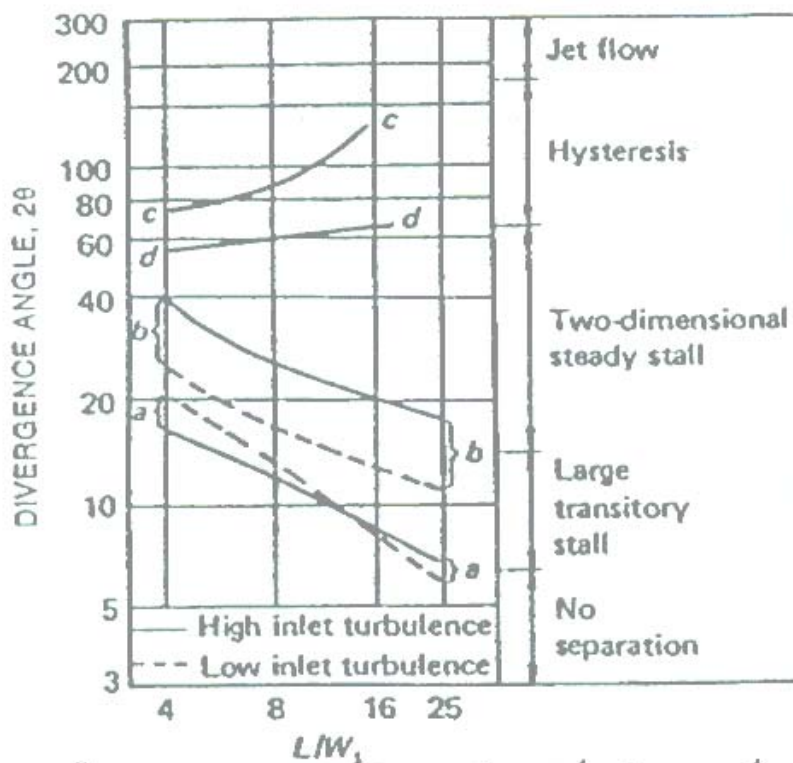


(ค) Higher area ratio: no pressure recovery

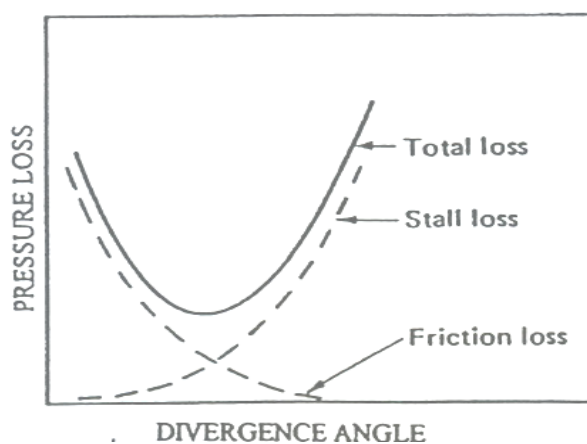
ภาพประกอบ 19 ปัจจัยของความเสี่ยงในการออกแบบใบครีบบของดีฟฟิวเซอร์

พิจารณาใบครีบบของดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวคงที่แต่มีอัตราส่วนของพื้นที่ปรับค่าได้โดยการดัดโค้งแต่ละด้านออกจากกัน (ดัดเข้าหากัน) แสดงดังภาพประกอบ 19 เมื่อใบครีบบมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดที่แคบๆ จะทำให้ชั้นขีดผิวยังคงติดอยู่กับผนังใบครีบบและทำให้ค่า C_{pr} มีค่าปานกลาง แสดงดังภาพประกอบ 19ก ในกรณีการเกิดความดันสูญเสียส่วนใหญ่มาจากการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน และกรณีที่เรเพิ่มค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดมากขึ้นจนถึงค่าๆ หนึ่งที่ทำให้ขนาดของชั้นขีดผิวเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังติดอยู่กับผนังใบครีบบจึงไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า C_{pr} ที่ได้แต่ก็ยังมีความมากกว่าเดิม แสดงดังภาพประกอบ 19ข สำหรับค่า C_{pr} นั้นจะมีค่าสูงสุดก็ต่อเมื่อชั้นขีดผิวใกล้จะเกิดการแยกชั้นการไหล ณ ผนังใบครีบบถึงอย่างไรก็ตามถ้าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดที่กว้างๆ อาจก่อให้เกิดการแยกชั้นการไหลเป็นจำนวนมาก แสดงดังภาพประกอบ 19ค

5.2 ระดับความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) พิจารณาผลกระทบจากการไหลปั่นป่วนต่อประสิทธิภาพดัดฟิวเซอร์รูปทรง 2 มิติ

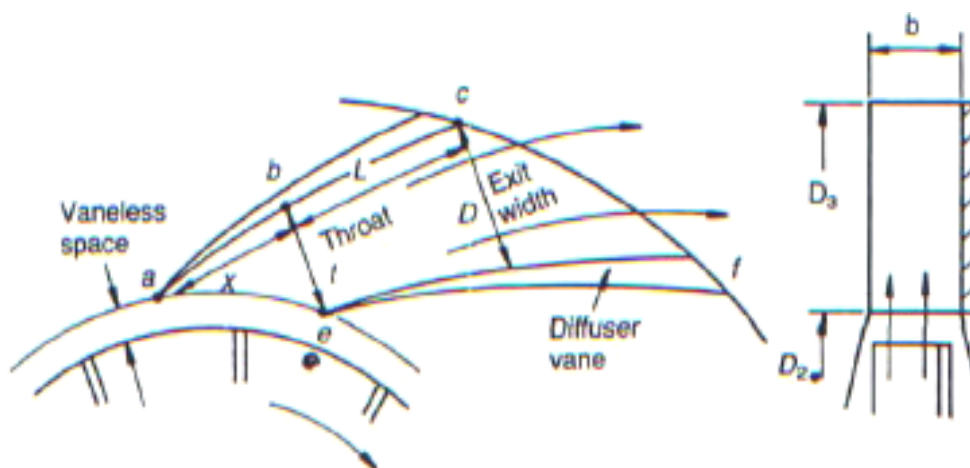


ภาพประกอบ 20 การไหลแต่ละช่วงดัดฟิวเซอร์ที่รูปทรง 2 มิติที่ระดับความปั่นป่วนที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dependent Parameter กับ Independent Parameter

6. ลักษณะสัดส่วนของดิวไฟเซอร์



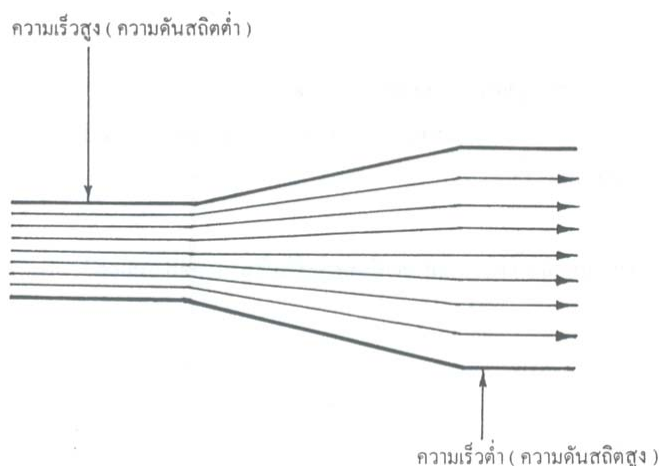
ภาพประกอบ 22 สัดส่วนต่างๆ ของดิวไฟเซอร์

ดิวไฟเซอร์นั้นเป็นส่วนที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายอากาศที่หมุนอยู่รอบใบพัดของเครื่องอัดอากาศที่มีความเร็วสูงหลังจากที่ถูกใบพัดนั้นเหวี่ยงออกมาเมื่อเป็นเช่นนี้เพื่อเป็นการลดความยาวของเส้นเส้นทางไหลที่ออกจากใบพัด ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของเส้นรัศมีที่ช่องว่างระหว่างทางออกของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล (Impeller) ถึงบริเวณทางเข้าใบครีบของดิวไฟเซอร์ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0.1D_2$ ถึง $0.2D_2$ เมื่อ D_2 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลและช่องว่างนี้จะเป็นส่วนของดิวไฟเซอร์ซึ่งมีหน้าที่

- 1) ลดความดันรอบๆ ใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลของเครื่องอัดอากาศ
- 2) เปลี่ยนแปลงความเร็วระหว่างขอบใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลกับใบครีบของดิวไฟเซอร์ให้มีความราบเรียบขึ้น
- 3) ลดความเร็วของกระแสอากาศที่ไหลเข้าสู่ใบครีบของดิวไฟเซอร์

จากภาพประกอบ 22 จะเห็นว่าอากาศจะไหลไปตามช่องทางเข้าสู่ช่องแคบ (Throat) ของใบครีบของดิวไฟเซอร์ซึ่งเป็นส่วนที่แคบที่สุดก่อนและจะค่อยๆ ขยายตัวออกจนเกิดการกระจายตัวของอากาศจึงเกิดขึ้นบนช่วงความยาว bc และเพื่อให้ได้ขนาดใบครีบของดิวไฟเซอร์ที่ไม่ใหญ่จนเกินไปที่อาจมีผลทำให้เส้นทางไหลของของไหลยาวมากจนเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดดังนั้นส่วนพื้นผิว abc และ ef เป็นรัศมีโดยประมาณทุกๆ ช่องมีความยาวเท่ากับ L ซึ่งในทางปฏิบัติความยาว L นี้จะมีค่าเท่ากับ $3t$ ถึง $4t$ เพื่อควบคุมความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพของการกระจายตัวกับความสูญเสียเนื่องจากความฝืดของผิวสัมผัส ซึ่งในส่วนจำนวนใบครีบของดิวไฟเซอร์ในทางปฏิบัติจะเริ่มที่จำนวนครีบบใบพัดของเครื่องอัดอากาศบวกเข้าไปอีกหนึ่ง ($Z+1$) แต่จะไม่มากไปกว่า 29 ใบครีบ เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากความฝืดที่เพิ่มมากขึ้น สำหรับขนาดใบครีบของดิวไฟเซอร์ในงานออกแบบหลายๆ งานจะทำตาม

อัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าไบครีบของดิฟฟูเซอร์ (D_3) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไบพัต (D_2) หรือเท่ากับ 1.3 ถึง 1.5



ภาพประกอบ 23 พลังงานความเร็วถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความดัน

พลังงานที่ได้จากเครื่องอัดอากาศจะเป็นพลังงานกลซึ่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานในรูปของอากาศหรือแก๊สด้วยแรงกระทำด้านพลศาสตร์ซึ่งจะทำให้อากาศหรือแก๊สเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและความเร็วของอากาศอัดจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความดันทั้งอัตราส่วนของอัตราการไหลและอัตราส่วนของความดันจะเปลี่ยนแปลงไปตามฟังก์ชันของความเร็วเฉพาะในช่วงที่ถูกจำกัดเท่านั้น พลังงานทั้งหมดในการไหลของอากาศจะคงที่ ณ บริเวณทางเข้าและทางออก โดยความเร็วในการไหลจะลดลงและพลังงานในรูปของความเร็วบางส่วนจะถูกแปรกลับให้อยู่ในรูปพลังงานของความดัน โดยทำให้ความดันสถิตยที่บริเวณทางออกจะมีค่าสูงกว่าความกดดันสถิตยที่บริเวณทางเข้าของไบครีบดังภาพประกอบ 23

ตัวประกอบความเสียหาย

สำหรับการไหลที่มีหน้าตัดไม่ใช่วงกลม เช่น หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือหน้าตัดรูปวงแหวน เป็นต้นเพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้งานในรูปของสมการ

$$R_e = \frac{\rho \bar{V} D_h}{\mu} \quad (29)$$

เมื่อ R_e คือ เลขเรย์โนลด์ส์กำหนดแบบการไหล (ไม่มีหน่วย)

D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Diameter)

$$\begin{aligned}
 D_h &= \frac{4(\text{พื้นที่หน้าตัดการไหล})}{(\text{เส้นรอบรูปหน้าตัดที่สัมผัสกับของไหล})} \\
 &= \frac{4A}{P}
 \end{aligned} \tag{30}$$

สำหรับหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$D_h = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{(a+b)} \tag{31}$$

เมื่อ a คือ ความกว้างพื้นที่หน้าตัดใบครีบของดิฟฟิวเซอร์
 b คือ ความยาวพื้นที่หน้าตัดใบครีบของดิฟฟิวเซอร์

เลขเรย์โนลด์นัมเบอร์กำหนดแบบการไหล

โดยทั่วไปแล้วของไหลที่ไหลอยู่ได้ต่อเนื่องนั้นเนื่องจากมีแรงเฉื่อย (Inertia force) กระทำในทิศการไหลและขณะเดียวกันจะมีแรงเนื่องจากความหนืดกระทำในทิศตรงข้ามกับทิศการไหลของไหลดังกล่าวดังกล่าว่าจะไหลเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด ถ้าอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืดมีค่าสูงของไหลจะไหลเร็วมาก ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าต่ำของไหลจะไหลช้าลงอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืดก็คือเลขเรย์โนลด์นัมเบอร์ ซึ่งเลขเรย์โนลด์นัมเบอร์นี้ใช้เป็นเลขกำหนดแบบการไหลสำหรับการไหลภายในท่อ จะเขียนความสัมพันธ์และสมการของเลขเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ดังนี้

$$U_o = \text{แรงเฉื่อย} / \text{แรงเนื่องจากความหนืด}$$

$$R_e = \frac{\rho v^2 D^2}{\mu v L}$$

$$\text{ดังนั้น } R_e = \frac{\rho v D}{\mu} \tag{32}$$

เมื่อ	V	คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ
	D	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ
	μ	คือ ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลในท่อ
	U	คือ ความหนืดจลน์ของของไหล

2.3 ทฤษฎีหลักการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิค วิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

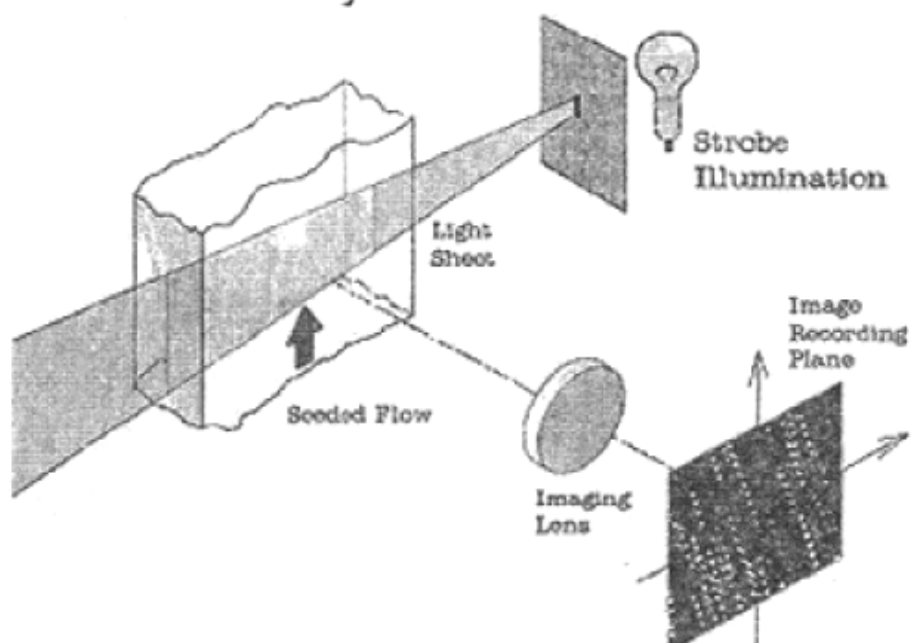
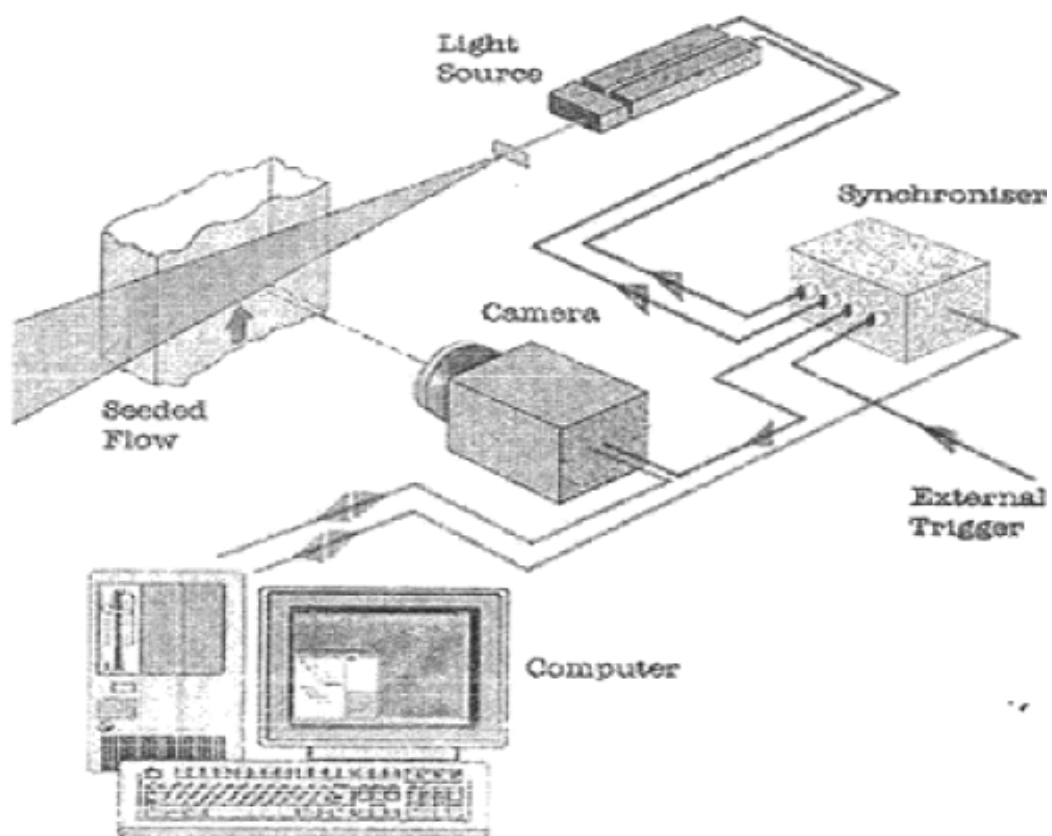
Particle Image Velocimetry หรือเรียกว่า PIV คือเครื่องมือวัดความเร็วของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค เป็นการวัดความเร็วของไหลโดยใช้ภาพของอนุภาคที่แขวนตัวอยู่ในของไหลเป็นวิธีการใหม่ที่นักพลศาสตร์ของไหลได้พัฒนาขึ้นในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาเพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาบางอย่างที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในอดีต นั่นก็คือเพื่อสามารถวิเคราะห์การไหลที่ซับซ้อนได้อย่างทันทีทันใดทั้งพื้นที่การไหลที่สนใจ (Instantaneous Complex Flow Measurement) โดยปราศจากการรบกวนหรือกีดขวางเส้นทางการไหลของของไหลในอดีตการวัดการไหลก่อนที่จะมีการคิดค้น PIV จะกระทำโดยใช้เครื่องมือวัด (Probe) ที่เป็นแผง (Array) ยื่นเข้าไปวัดในบริเวณที่ต้องการ เช่น การยื่นเข้าไปในท่อทางหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ของไหลไหลผ่านหรือการใช้เครื่องมือวัดขึ้นเดียวกันทำการวัดซ้ำๆ กันหลายครั้งในบริเวณที่ต่างกันเพื่อให้ได้ข้อมูลทั่วทั้งบริเวณที่ต้องการซึ่งทั้งสองวิธีนี้ เครื่องมือวัดจะเข้าไปกีดขวางเส้นทางของของไหลทำให้ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน โดยวิธีหลังนั้นลักษณะของการไหลอาจเปลี่ยนไปจากเดิมในขณะที่ทำการวัดที่ตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นการวัดการไหลโดยวิธีการใช้เครื่องมือยื่นเข้าไปกีดขวางเส้นทางการไหลของของไหลนั้นเป็นวิธีที่ค่อนข้างเสียเวลาและไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเท่าที่ควรในการวัดการไหลที่ซับซ้อน

การวัดความเร็วของของไหลโดยวิธีภาพถ่ายของอนุภาคเป็นเทคนิคในการวัดที่สามารถวัดการไหลในขณะใดขณะหนึ่งได้โดยไม่มีการรบกวนการไหลของของไหลและสามารถวัดการไหลได้ทั่วทั้งพื้นที่ที่ต้องการวัดจากการวัดเพียงครั้งเดียว (การวัดที่ถือได้ว่าเป็นการวัดที่ขณะใดขณะหนึ่งคือการวัดที่ใช้เวลาในการวัดน้อยมาก ($1/100$) เมื่อเทียบกับเวลาที่ของไหลเปลี่ยนแปลงการไหลอย่างเด่นชัด) วิธีการที่ใช้สำหรับ PIV ประกอบด้วยการทำให้เห็นภาพการไหล (Flow Visualization) และการวัดอัตราความเร็วของไหลขณะใดขณะหนึ่งเป็นจำนวนมากในบริเวณที่กว้าง ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวัดการไหลที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการศึกษากลศาสตร์ของของไหลในปัจจุบัน

1. หลักพื้นฐานของการวัดความเร็วของไหลโดยวิธีภาพถ่ายของอนุภาค ในของไหลที่จะทำการวัดจะถูกใส่อนุภาคเล็ก ๆ ที่เหมาะสมลงไปจำนวนหนึ่งซึ่งอนุภาคนี้จะต้องสามารถสะท้อนแสงได้ดีเมื่อถูกแผ่นลำแสง อนุภาคเหล่านี้จะต้องสามารถเคลื่อนที่ตามของไหลได้อย่างเที่ยงตรง หรือเรียกได้ว่าเป็นอนุภาคที่มีความถี่ในการตอบสนองสูง (High Frequency Response) เมื่อของไหลมี

การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ เช่น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นอนุภาคก็จะต้องมีความเร็วเพิ่มขึ้นตามของไหลได้อย่างรวดเร็ว (ใช้เวลาอันสั้นที่จะปรับความเร็วให้ได้เท่ากับความเร็วของของไหล) ในขณะที่อนุภาคถูกแผ่นลำแสงก็จะสะท้อนออกมาเป็นจุดเล็ก ๆ ซึ่งจะคล้ายกับดาวดวงเล็ก ๆ บนท้องฟ้าในคืนที่มีดสนิท เมื่อแสงถูกสะท้อนออกมาการเคลื่อนที่ของก๊าซหรือของเหลวก็就会被ตรวจจับโดยกล้องที่อยู่ทางด้านข้าง ซึ่งกล้องที่ใช้ในการจับภาพนี้อาจจะเป็นกล้องที่ใช้แผ่นฟิล์มความเร็วสูงหรือเป็นกล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดสูงก็ได้ แผ่นลำแสงที่ฉายไปที่ของไหลจะถูกฉายเป็นจังหวะและกล้องก็就会被ตั้งค่าไว้ให้จับภาพไว้ให้ได้ในขณะที่ลำแสงถูกฉายออกไป 2 ครั้ง ติดต่อกันหรือมากกว่า ผลของการจับภาพจากแสงที่สะท้อนออกมาจากอนุภาคเล็กๆ ที่อยู่ในของไหลสองครั้งติดต่อกัน (Double Exposed Image) หรือมากกว่าสองครั้ง (Multi Exposed Image) จะแสดงถึงระยะกระจัด (ระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้) ของอนุภาคเล็กๆ ภายใต้พื้นที่ทำการวัดในช่วงเวลาระหว่างลำแสงสองครั้ง ซึ่งก็就会被นำมาวิเคราะห์และปรับเปลี่ยนออกมาเป็นความเร็วของของไหลขณะนั้น ข้อมูลของความเร็วที่ได้จากวิธีการนี้จะมีแนวโน้มเป็นความเร็วขณะใดขณะหนึ่งก็ต่อเมื่อช่วงเวลาระหว่างการฉายลำแสงของกล้องมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาที่น้อยที่สุดที่ของไหลจะเปลี่ยนแปลงการไหล ความเร็วที่คิดได้จากวิธีนี้จะแสดงให้เห็นถึงความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของของไหลที่เราทำการวัด

โดยทั่วๆ ไปภาพที่ได้จาก PIV จะถูกวิเคราะห์โดยการแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ ขนาดของพื้นที่จะถูกเลือกให้มีจำนวนคู่ของอนุภาคเพียงพอต่อความต้องการในการวัดระยะกระจัดในพื้นที่นั้น (เพื่อใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์) แต่พื้นที่นั้นจะต้องเล็กเพียงพอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของความเร็วของอนุภาคแต่ละอนุภาค (น้อยกว่า 5%) ชุด Synchronizer และชุด Acquisition จะถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อควบคุมเวลาในการปล่อยลำแสงและใช้ในการส่งสัญญาณไปยังกล้องให้จับภาพและอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมและประมวลผลข้อมูลจากภาพที่ได้จากกล้อง



ภาพประกอบ 24 แสดงวิธีการวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค

2. การใส่อนุภาคลงในระบบของของไหล

คุณสมบัติของอนุภาคในการใช้เทคนิค PIV สำหรับการวัดความเร็วของของไหลนั้น จะต้องมีการเติมอนุภาคเล็กๆ ลงในระบบของของไหลเพื่อที่จะทำการวัด ซึ่งนับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการใช้เทคนิค PIV มีน้อยครั้งที่สามารถใช้เทคนิค PIV โดยไม่ต้องเติมอนุภาคลงไป การใช้เทคนิค PIV โดยไม่เติมอนุภาคลงไปนี้จะวัดได้โดยอาศัยสิ่งเจือปนที่อยู่ในของไหลเอง เช่น ฝุ่นละออง ฟองอากาศเล็กๆ หรือละอองน้ำ

3. สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกอนุภาค (Particle)

3.1 ประเภทของของไหลที่จะทำการวัด (น้ำหรืออากาศ)

3.2 ปริมาณของอนุภาคที่จะต้องเติมลงในระบบ

3.3 ความเร็วของของไหล

3.4 ความสามารถในการไหลไปกับของไหลของอนุภาค

3.5 ความสามารถในการสะท้อนแสง

3.6 ขนาดของอนุภาคในภาพที่ตรวจจับได้

4. ความสามารถในการไหลไปกับของไหล

ขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเมื่อพิจารณาร่วมกับความหนาแน่นและความหนืดของของไหลจะทำให้เราทราบถึงผลกระทบของแรงลอยตัวและความเฉื่อยของอนุภาคที่มีต่อของไหล การที่จะทำให้อนุภาคมีแรงลอยตัวเป็นศูนย์ (อนุภาคจะแขวนลอยอยู่ในของไหล) นั้นทำได้ยากแต่อย่างไรก็ตามอนุภาคจะต้องกระจายตัวอยู่ในของไหลอย่างสม่ำเสมอในระหว่างการทดลอง การเติมอนุภาคลงในของเหลวนั้นทำให้ได้ง่ายกว่าในอากาศ เนื่องจากของเหลวมีความหนาแน่นมากกว่าและการไหลของของเหลวส่วนใหญ่จะมีความเร็วและความแรงต่ำกว่าจึงทำให้สามารถเลือกใช้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และง่ายต่อการตรวจจับมากกว่า ในของเหลวขนาดของอนุภาคที่ใช้ อาจมีขนาดเล็กจนถึงขนาดขนาดสิบไมครอน (1 ไมครอน = 0.001 มิลลิเมตร) แต่สำหรับในอากาศขนาดของอนุภาคที่จะใช้ได้อยู่ในระหว่างน้อยกว่า 1 ไมครอนและ 5 ไมครอน

5. การกระจายของแสงจากอนุภาค

แสงที่สะท้อนออกมาจากอนุภาคเป็นเพียงส่วนหนึ่งของแสงทั้งหมดที่ฉายไปยังของไหลและแสงที่สะท้อนจากอนุภาคก็จะมีเพียงบางส่วนที่ทำมุมหักเหให้กล้องสามารถรับแสงได้ ดังนั้นขนาดและชนิดของอนุภาคซึ่งมีความสามารถในการสะท้อนแสงแตกต่างกันจะมีผลต่อความคมชัดของอนุภาคที่ปรากฏบนภาพ ภาพของอนุภาคโดยเฉลี่ยแล้วจะต้องมีความชัดกว่าระดับของพื้นหลัง (Background) บนภาพ

6. วัสดุที่ใช้เป็นอนุภาค

6.1 การไหลของอากาศ (ที่อุณหภูมิต่ำ) โดยละอองจากการฉีดน้ำมันเป็นฝอย 1-5 ไมครอน

6.2 การไหลของอากาศ (ที่อุณหภูมิสูง) โดยไททาเนียมไดออกไซด์ เซอโคเนียมไดออกไซด์ 0.5-5 ไมครอน

6.3 การไหลของอากาศและน้ำ Latex particles 0.25-5 ไมครอน

6.4 การไหลของน้ำ Conifer pollen 30-50 ไมครอน

7. การทำให้อนุภาคสะท้อนแสง

ในการบันทึกภาพของอนุภาคจะต้องมีแหล่งกำเนิดพลังงานแสงที่เพียงพอในการฉายไปยังบริเวณระนาบที่จะทำการวัด และลำแสงที่ฉายไปนั้นจะต้องเป็นช่วงเวลาสั้นมาก ๆ เพื่อจะได้ไม่เกิดเป็นลายเส้นของอนุภาคบนภาพที่บันทึก โดยช่วงระยะเวลาที่ฉายนำแสงนั้นอนุภาคจะต้องไม่เคลื่อนที่ไปมากกว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

แหล่งกำเนิดแสงทั่ว ๆ ไปสามารถนำมาใช้ได้แต่มีข้อจำกัดเฉพาะในการไหลที่มีความเร็วต่ำเนื่องจากความเข้มของแสงต่ำ ดังนั้นจึงจะต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้แสงสะท้อนออกมาจากอนุภาคเพียงพอต่อการบันทึกภาพด้วยเหตุนี้เองระบบของ PIV ส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นอุปกรณ์เลเซอร์ เพราะว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มสูงและสามารถทำให้เป็นแผ่นลำแสงที่มีความหนาในระดับไมครอนได้ง่ายและสะดวกโดยการใช้เลนส์ชนิดทรงกระบอก (Cylindrical Lens) ในการเปลี่ยนลำเลเซอร์ (Laser Beam) เป็นแผ่นลำแสง (Laser Sheet) เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์สามารถใช้ได้ทั้งชนิดที่เป็นลำแสงต่อเนื่อง (Continuous wave Laser, CW) และชนิดที่ปล่อยลำแสงเป็นช่วง ๆ (Pulsed Lasers)

8. การควบคุมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์

ในระบบ PIV มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบระยะเวลาที่แน่นอนในการบันทึกภาพและการปล่อยลำแสง ดังนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเวลาในการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้สอดคล้องกันในช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่น การบันทึกภาพและการถ่ายโอนข้อมูลของภาพจากกล้องมายังคอมพิวเตอร์จะต้องกระทำในจังหวะที่ลำแสงได้ผ่านไปยังบริเวณพื้นที่ที่ทดลองมีเซนส์นั้นกล้องจะไม่สามารถบันทึกแสงที่ออกมาจากอนุภาคได้ทัน อุปกรณ์ทุกชิ้นอาจจะไม่ทำงานพร้อมกันแต่จะมีระยะเวลาในการทำงานที่ต่างกันคงที่ ดังนั้นในบางครั้งก็จะต้องมีเครื่องหน่วงสัญญาณเพื่อทำให้สัญญาณที่จะต้องใช้ในการกระตุ้นให้อุปกรณ์บางชนิดทำงานถูกหน่วงไว้และจะส่งสัญญาณไปหลังจากที่อุปกรณ์อื่นได้ทำงานไปแล้ว เช่น ในการปล่อยลำแสงเลเซอร์ออกไปต้องมีสัญญาณไปกระตุ้นให้เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ปล่อยลำแสงออกมา แต่หลังจากถูกกระตุ้นแล้วเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ไม่สามารถปล่อยลำแสงได้ทันทีทันใดและความเข้มของแสงสูงสุด โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการหน่วงสัญญาณนี้ก็คือ Digital หรือ Pulse Delay Generator โดยจะใช้ควบคู่กับเครื่องควบคุมเวลาในการทำงาน (Synchronizer)

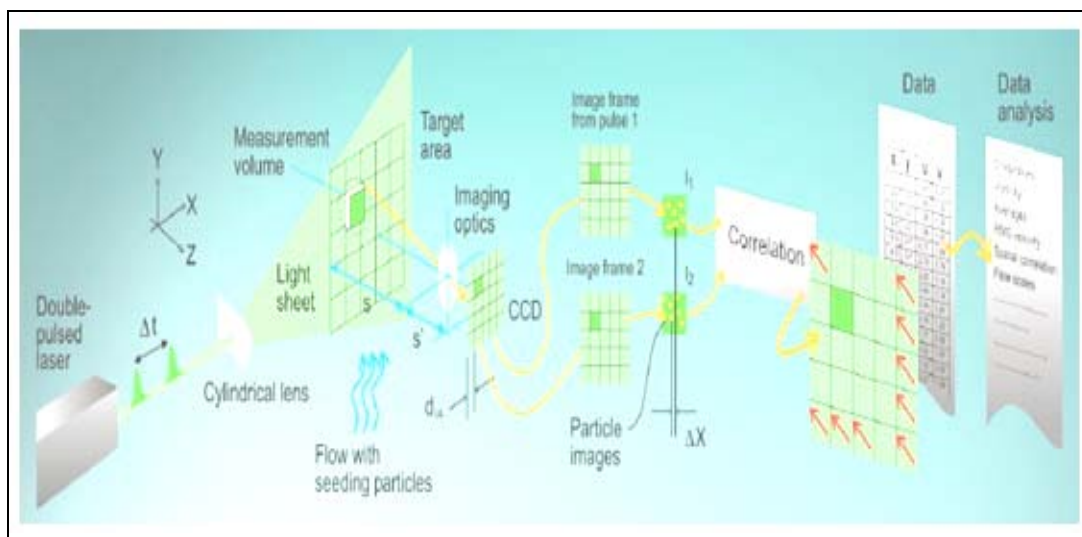
9. กล้องบันทึกภาพ

ในการเลือกใช้กล้องบันทึกภาพนั้นเป็นสิ่งสำคัญในระบบ PIV เนื่องจากการวัดความเร็วของการไหลนั้นจะอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่บันทึกไว้ เลนส์ที่ใช้จะต้องไม่ทำให้เกิดการกระจายของแสงที่ออกมาจากอนุภาคเพื่อที่จะให้ภาพของอนุภาคเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะทำให้มีความเที่ยงตรงในการวัด รูปทรงและกลไกควบคุมสำหรับบันทึกภาพของกล้องก็มีส่วนสำคัญมาก ระยะเวลาในการทำงานของกล้องหลังจากที่ส่งสัญญาณให้บันทึกภาพจนถึงเวลาที่หน้ากล้องเปิดรับ

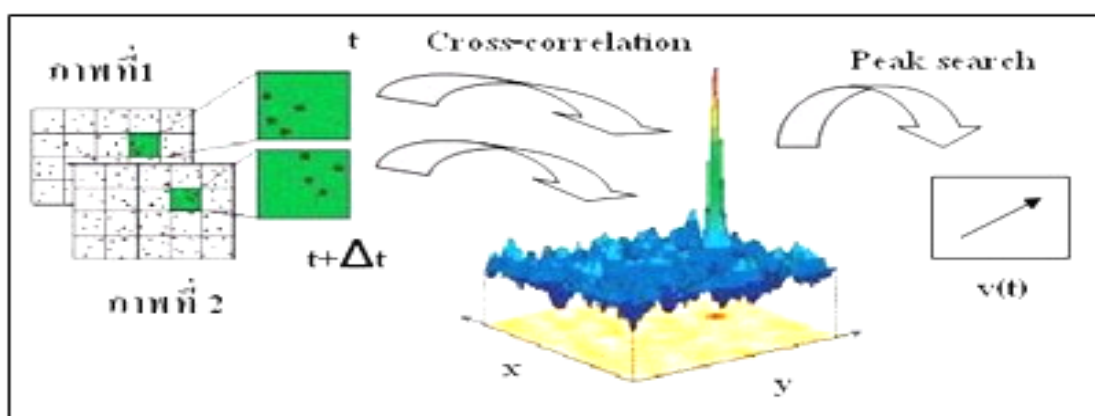
แสงก็ต้องทราบเวลาที่แน่นอนและสามารถวัดได้ จำนวนครั้งที่หน้ากล้องเปิดรับแสงนั้นก็ต้องสามารถควบคุมได้ ซึ่งคุณสมบัติและข้อกำหนดต่างๆ เหล่านี้สามารถแก้ไขหรือหลีกเลี่ยงได้ด้วยการใช้กล้องดิจิทัล อุปกรณ์รับแสงไม่ว่าจะเป็นแผ่นฟิล์มหรือเซลล์รับแสงจะต้องมีความไวต่อความยาวคลื่นของแสงที่สะท้อนออกมาเพื่อให้เกิดความคมชัดของภาพที่บันทึกได้และในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่ระบบ PIV จะใช้กล้องดิจิทัลที่มีเซลล์รับแสงชนิด CCD แทนการใช้ฟิล์มถ่ายรูปเนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง นอกจากนั้นความละเอียดของภาพและอัตราเร็วในการบันทึกภาพของกล้องก็มีความสำคัญไม่น้อยของไหลที่มีความเร็วสูงก็ต้องใช้กล้องที่มีอัตราเร็วในการบันทึกที่สูงด้วย (Frame Rate) การใช้กล้องดิจิทัลมีข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งก็คือ ผู้ใช้สามารถส่งถ่ายข้อมูลที่บันทึกไว้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันที ซึ่งทำให้ทราบข้อมูลและสามารถปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขการทดลองได้อย่างรวดเร็ว

10. ซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมและประเมินผล

หัวใจสำคัญของการวิเคราะห์และประเมินผลของซอฟต์แวร์ก็คือการหาระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงระยะเวลาที่ทราบแน่นอน ภาพที่บันทึกได้จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่เล็กๆ จำนวนมากและในแต่ละพื้นที่ให้ข้อมูลของระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้เมื่อซอฟต์แวร์ได้ประมวลผลข้อมูล โดยวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลจากภาพบันทึกได้นั้นจะมีสองวิธีก็คือ การติดตามอนุภาคและการประมวลผลโดยวิธี Correlation ทั้งสองวิธีต่างมีข้อได้เปรียบซึ่งกันและกันและสามารถใช้ร่วมกันได้ แต่วิธี Correlation จะเป็นวิธีการที่ใช้ได้ผลดีมากกว่า การประมวลผลโดยวิธี Correlation นั้นจะทำการวัดระยะทางเฉลี่ยของอนุภาคที่อยู่ในพื้นที่เล็กๆ ที่ถูกแบ่งซึ่งการประมวลผลโดย Correlation นี้ก็จะแบ่งได้เป็นสองวิธีย่อย คือวิธี Auto-Correlation และ Cross-Correlation วิธีประมวลผลโดย Auto-Correlation นั้นจะใช้ภาพของอนุภาคที่บันทึกไว้เพียงภาพเดียว แต่เป็นภาพที่ลำแสงถูกปล่อยออกมาสองครั้งหรือมากกว่า (ถ้าหากปล่อยลำแสงมากกว่าสองครั้ง) บนภาพที่บันทึกเมื่อนำมาประมวลผลโดยวิธี Auto-Correlation จะได้ระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาที่ทราบแน่นอน นั่นก็คือทำให้เราทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ เราไม่ทราบว่าจุดใดเป็นจุดที่เกิดขึ้นจากลำแสงครั้งแรกและจุดใดเป็นจุดที่เกิดขึ้นจากลำแสงครั้งที่สอง ดังนั้นเราจะไม่สามารถทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคว่ามีทิศทางใดในระหว่างทิศทางที่ได้หรือทิศทางตรงกันข้าม 180 องศา วิธีที่สองซึ่งเป็นวิธี Cross-Correlation นั้นจะต้องประมวลผลมาจากภาพที่บันทึกไว้สองภาพโดยแต่ละภาพนั้นจะมีการปล่อยลำแสงออกมาเพียงครั้งเดียว (1 Pulse / Frame) และเนื่องจากเราทราบว่าภาพใดเป็นภาพแรกภาพใดเป็นภาพหลังจึงไม่เกิดความสับสนในเรื่องของทิศทางการเคลื่อนที่นอกจากนั้นยังไม่มีข้อจำกัดในการวัดความเร็วในย่านที่มีความเร็วเป็นศูนย์



ภาพประกอบ 25 หลักการทำงานของเครื่องมือวัด PIV



ภาพประกอบ 26 แสดงการแบ่ง Interrogation Area

อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการใช้ภาพที่มีความคมชัดและความละเอียดสูง ก็ยังมีข้อจำกัดในการประมวลผลโดยวิธีติดตามอนุภาค (Particle tracking) และโดยวิธี Correlation ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนได้นั้นก็คือจำนวนคู่ของอนุภาคไม่เพียงพอในพื้นที่เล็กๆ ที่ทำการประมวลผลอนุภาคที่เคลื่อนที่หลุดออกนอกพื้นที่ในขณะทีปล่อยลำแสงครั้งที่สอง และการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ค่อนข้างสูงมากของของไหลและอื่นๆ ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลมาทำการประมวลผลซ้ำอีกเพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดจากการทดลองและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยต่างๆ จากข้อมูลหรือตำแหน่งข้างเคียงเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

11. คุณสมบัติลักษณะของเครื่องวัดความเร็วของของไหลแบบ PIV

11.1 เป็นการวัดสนามความเร็วแบบไม่รบกวนการไหลโดยใช้อนุภาคที่มีขนาดในระดับไมครอนเพื่อติดตามการไหลของของไหล

11.2 สามารถวัดความเร็วได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วเหนือเสียงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของเครื่องมือวัด เช่น กล้องและระบบประมวลผล

11.3 สามารถวัดความเร็วในภาคตัดของการไหลได้ทันที

11.4 สามารถวัดได้ทั้งใน 2 มิติและ 3 มิติ

12. เงื่อนไขโดยทั่วไปในการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความเร็วของของไหลแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

12.1 ความหนาแน่นของอนุภาคติดตามการไหล ถ้าความหนาแน่นของอนุภาคติดตามการไหลต่ำจะทำให้เกิดการกระจายตัวเฉลี่ยของอนุภาคมากกว่าระยะกระจัดเฉลี่ยของอนุภาคระหว่างภาพ ดังนั้นอนุภาคแต่ละอนุภาคจึงสามารถถูกติดตามซึ่งการกระจัดของแต่ละอนุภาคนั้นทำให้ทราบถึงความเร็วของอนุภาคในของไหล เนื่องจากอนุภาคมีความหนาแน่นต่ำทำให้วัดความเร็วได้แค่ในบริเวณที่มีอนุภาคอยู่เท่านั้นทำให้ไม่สามารถวัดความเร็วของของไหลในบางพื้นที่ได้ ถ้าความหนาแน่นของอนุภาคติดตามการไหลจะส่งผลทำให้แต่ละอนุภาคเกิดการซ้อนทับซึ่งกันและกัน ภาพของการไหลที่ได้จะมีลักษณะเป็นจุดทำให้ไม่สามารถที่จะระบุอนุภาคของแต่ละอนุภาคได้ การเคลื่อนที่ในแต่ละภาพจะได้ผ่านการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งเป็นวิธีที่แสดงถึงระยะการกระจัดของกลุ่มอนุภาคการที่มีความหนาแน่นของอนุภาคสูงจึงอาจส่งผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของของไหล จำนวนของอนุภาคติดตามการไหลในแต่ละ Interrogation Area ควรมีจำนวนอนุภาคอยู่ระหว่าง 10-25 อนุภาค

12.2 ขนาดของอนุภาคติดตามการไหล จากความเร็วที่เกิดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจะแปรผันตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสอง คืออนุภาคที่มีขนาดเล็กจะสามารถเคลื่อนที่ไปกับของไหลได้ดีกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จึงเป็นสาเหตุที่ต้องเลือกอนุภาคที่มีขนาดเล็ก แต่การที่เราจะเลือกขนาดของอนุภาคติดตามการไหลนั้นยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงการสะท้อนแสงของอนุภาคด้วยเพื่อที่จะทำการถ่ายภาพ เนื่องจากอนุภาคจะสามารถสะท้อนแสงได้ก็ต่อเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าความยาวคลื่นของแสง ตามกฎของ Rayleigh's Scattering theory ซึ่งความเข้มของแสงที่ถูกสะท้อนออกมาจะแปรผันตรงกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางยกกำลังสอง

13. ประโยชน์ที่ได้รับจากเครื่องมือวัด PIV

ปัจจุบันได้นำเทคนิค PIV ไปใช้อย่างแพร่หลายเพื่อศึกษาการไหลของของไหลในกระบวนการทางวิศวกรรมต่าง ๆ ทั้งนี้ไม่ว่าจะนำเทคนิค PIV ไปใช้ศึกษาเรื่องใดก็ตามข้อมูลที่ได้อาจทำให้เรามองเห็นภาพการไหลและมีความเข้าใจการไหลของของไหลได้ดีขึ้นซึ่งมีประโยชน์ในการออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

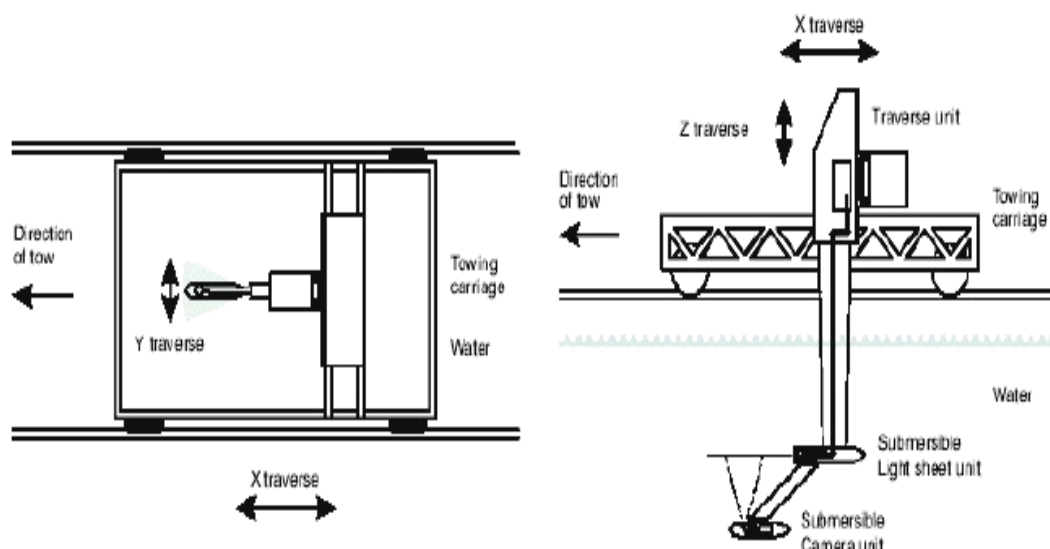
13.1 ทางด้านอากาศพลศาสตร์ คือ การวัดรูปแบบการไหลและความปั่นป่วนของกระแสอากาศรอบๆ ตัวยานยนต์ รถไฟ และเครื่องบิน ถูกนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบเพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพในทางอากาศพลศาสตร์มาเป็นเวลานาน นักออกแบบมีลักษณะเพริ้ว มีแรงต้านอากาศต่ำ นอกจากนี้การศึกษาอากาศพลศาสตร์ยังได้รวมไปถึงอากาศสูง กังหันลม กระสวยอวกาศ และสะพานต่างๆ ซึ่งนักออกแบบจะต้องศึกษาอิทธิพลของการไหลของอากาศที่มีต่ออากาศและสิ่งก่อสร้างเหล่านั้นเพื่อที่จะได้ออกแบบให้รองรับต่ออิทธิพลเหล่านี้ได้ การศึกษาการไหลของอากาศรอบๆ ยานพาหนะหรือสิ่งก่อสร้างเหล่านั้นส่วนใหญ่จะทำในอุโมงค์ลม เทคนิค PIV ก็จะมีส่วนสำคัญในการศึกษานี้ ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาอากาศพลศาสตร์จะเป็นในรูปแบบของการประหยัดเชื้อเพลิงความเสถียรที่มากขึ้นของสิ่งก่อสร้างและการลดระดับเสียงรบกวน (เช่นจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศ) ตัวอย่างที่มีการนำเทคนิค PIV ไปใช้งาน เช่นการศึกษาจากอากาศพลศาสตร์ของตัวถังรถยนต์ แสดงดังภาพประกอบ 27 การลดแรงต้านอากาศ อากาศพลศาสตร์ของรถไฟ การไหลของอากาศในห้องผู้โดยสาร การไหลของของไหลในชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ การทดสอบแบบจำลองของเครื่องบิน



ภาพประกอบ 27 ลักษณะการไหลของอากาศบริเวณส่วนท้ายของรถยนต์

13.2 ทางด้านชลพลศาสตร์ คือ ได้มีการนำเทคนิค PIV ไปใช้ในการวัดคุณลักษณะการไหลของน้ำรอบๆ ตัวเรือ ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับคือ การออกแบบตัวเรือเพื่อให้ลดแรงต้านทาน การเพิ่มความคงตัว และเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน ตัวอย่างการนำเทคนิค PIV ไปใช้งานด้านชลพลศาสตร์ เช่น การออกแบบตัวเรือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน การไหลในท่อ การไหลในช่องทางเปิด (Channel Flow) การป้องกันการเกิด Cavitation ที่ใบจักรเรือและที่พัดน้ำ และพลศาสตร์ของฟองอากาศแสดงดังภาพประกอบ 28 จะแสดงให้เห็นถึงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการไหลของน้ำบริเวณตัวเรือใต้แนวน้ำใน Towing tank ซึ่งอุปกรณ์จะถูกติดตั้งบนชุดล้อเลื่อนเหนือ Towing tank และสามารถลากไปตามทิศทางที่เรือถูกลากไปด้วยความเร็วที่เท่ากัน ชุดทดลองจะมีส่วนที่จมลงไปได้ นั่นก็คือกล้องสำหรับบันทึกภาพและชุดเลนส์ที่จะให้แผ่นลำแสงถูก

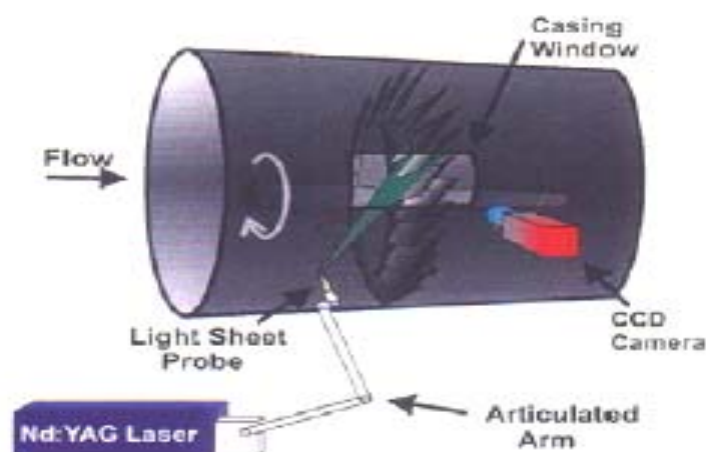
ฉายออกไปยังบริเวณที่ต้องการวัดการไหล ตำแหน่งของกล้องและชุดเลนส์สามปรับได้ทั้ง 3 มิติ จึงทำให้สามารถวัดการไหลได้ทุกตำแหน่งที่ต้องการ



ภาพประกอบ 28 ชุดทดลองการวัดการไหลใน Towing tank

13.3 ทางด้านสันดาปภายใน ซึ่งเทคนิค PIV ถูกใช้อย่างกว้างโดยวิศวกรในอุตสาหกรรมยานยนต์และอุตสาหกรรมอากาศยาน เพื่อศึกษาการไหลภายในเครื่องยนต์ ประโยชน์ที่ได้รับก็คือได้ทราบถึงข้อมูลสำคัญของระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง การเผาไหม้และกระบวนการในการผสมผสานกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งข้อมูลสำคัญเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง การลดมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ และการลดระดับเสียงรบกวนของเครื่องยนต์ นอกจากนี้เทคนิค PIV ยังถูกนำไปใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับเปลวไฟ เช่น การศึกษาเปลวไฟจากการเผาไหม้ของจรวดภายใต้สภาวะไร้น้ำหนัก วิศวกรรมจรวดและควบคุมก๊าซเสียจากการเผาไหม้

13.4 ทางด้านเครื่องจักรกลของไหล นั้นนักออกแบบเครื่องจักรกลของไหลพยายามที่จะหาโอกาสในการพัฒนาและปรับปรุงรายละเอียดปลีกย่อยของอุปกรณ์ของตนเองที่ออกแบบและผลิตไปแล้วให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและเนื่องจากเทคนิค PIV เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการนำใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลการไหลภายในของอุปกรณ์เหล่านี้ เพื่อให้นักออกแบบเข้าใจและนำไปใช้ในการออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์เครื่องจักรกลของไหลเหล่านี้ งานออกแบบอุปกรณ์เครื่องจักรกลของไหลที่ใช้เทคนิค PIV ช่วยในการศึกษาข้อมูลการไหลภายในนั้นได้แก่เครื่องยนต์กังหันก๊าซ คอมเพรสเซอร์ ปั๊มและเครื่องจักรกลที่ใช้ในระบบไฮดรอลิก

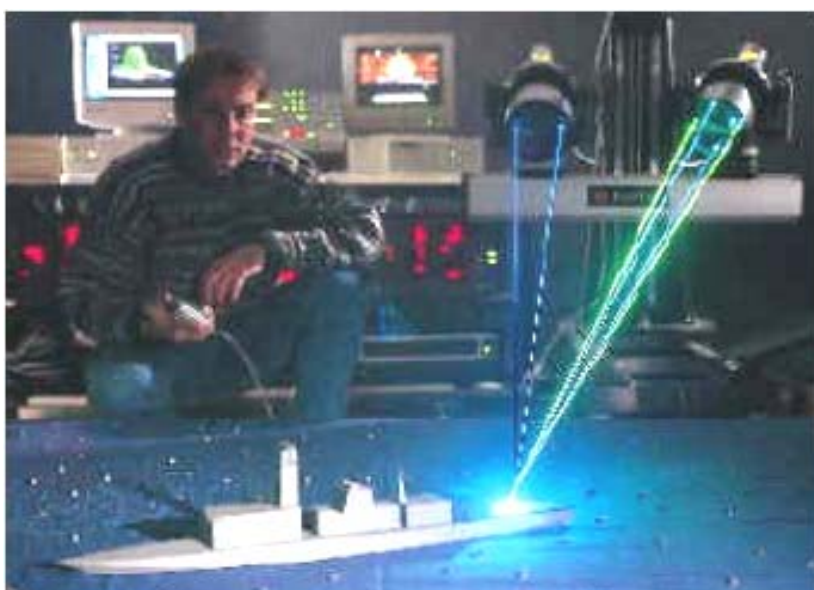


ภาพประกอบ 29 การวัดความเร็วของอากาศในคอมเพรสเซอร์ของชุดกังหันก๊าซ

13.5 ทางด้านการไหลในทางชีวภาพ การศึกษาค้นคว้าและวิจัยในด้านของไหลชีวภาพกลายมาเป็นเรื่องที่ได้รับ ความสนใจอย่างกว้างขวาง นักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะทำความเข้าใจการไหลที่เกิดขึ้นในทางชีวภาพ การที่ได้ทราบข้อมูลและเข้าใจการไหลเหล่านี้จะนำมาซึ่งการพัฒนาในการรักษาผู้ป่วยที่มีปัญหาในบางด้านได้ ซึ่งได้มีผู้นำเทคนิค PIV นี้ไปใช้ในการศึกษาการไหลของเลือดในหัวใจเทียม การไหลผ่านลิ้นหัวใจเทียม การไหลของอากาศในปอดและในระบบหายใจ

13.6 ทางด้านการปรับอากาศภายในและการระบายอากาศ ซึ่งเทคนิค PIV ถูกนำไปใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของอากาศในห้องที่มีการระบายอากาศ ซึ่งการเคลื่อนตัวของอากาศนี้มีผลมาจากการไหลแบบบังคับและการพาโดยธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้อง ซึ่งความรู้สึกสละสลวยสบายของผู้อาศัยภายในห้องปรับอากาศนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศและสนามอุณหภูมิภายในห้อง ข้อมูลที่ได้จากเทคนิค PIV สามารถนำมาใช้ในการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ในระบบระบายอากาศได้

13.7 ทางด้านโครงสร้างและอาคารต่างๆ ซึ่งในการออกแบบและโครงสร้างต่างๆ ที่ต้องตั้งอยู่บนพื้นดินและในทะเลจะต้องมีความเหมาะสมเพื่อให้สามารถทนทานต่อการกระทำของแรงลมและแรงคลื่นที่กระทำต่อตัวโครงสร้างและอาคาร เช่น การออกแบบอาคารสูง การออกแบบสะพาน และการออกแบบแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเล ดังนั้นเทคนิค PIV ก็จะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการศึกษาการไหลของอากาศ น้ำบริเวณรอบตัวอาคารและโครงสร้างฯ ได้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ก็จะสามารถนำมาใช้ในการศึกษาแรงกระทำจากคลื่นลมได้



ภาพประกอบ 30 การศึกษาการไหลของอากาศบริเวณเหนือคาน้ำบรรทุกเฮลิคอปเตอร์

13.8 ทางด้านกระบวนการทางอุตสาหกรรม วิศวกรทั้งในห้องทดลองและในโรงงานอุตสาหกรรมได้ใช้เทคนิค PIV ในการพัฒนาการไหลต่างๆ ที่มีอยู่ในกระบวนการต่างๆ ในวงการอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตประหยัดพลังงาน พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการผลิต และการปกป้องสภาวะแวดล้อมจากของเสียที่ได้จากการกระบวนการผลิต เทคนิค PIV สามารถนำไปใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในการศึกษาการไหลของโลหะที่หลอมละลายในกระบวนการพ่นโลหะที่อยู่ในสภาพของเหลว การผลิตผลโลหะ กระบวนการแยกองค์ประกอบของของไหล การบวนการเผาไหม้ในเตาเผาและหัวเผาต่างๆ

บทที่ 3

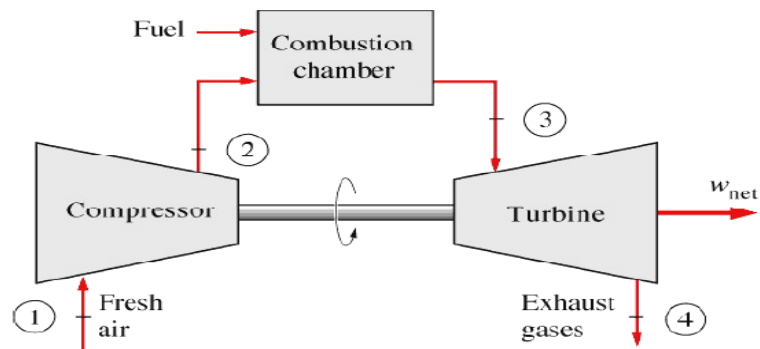
การออกแบบดีฟิวเซอร์

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและคำนวณเพื่อให้ได้มุมไบคريبที่มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างนั้นมีหลักการและองค์ประกอบที่สำคัญหลายส่วนเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นการคำนวณและให้การวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตที่ชัดเจนบรรลุตามวัตถุประสงค์ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดตามขั้นตอนต่อไป

1. เงื่อนไขจำเพาะของสภาวะแวดล้อม
2. เงื่อนไขจำเพาะของไบพัดคอมเพรสเซอร์วีล
3. ขั้นตอนการคำนวณ
4. วัสดุอุปกรณ์

1. เงื่อนไขจำเพาะของสภาวะแวดล้อม

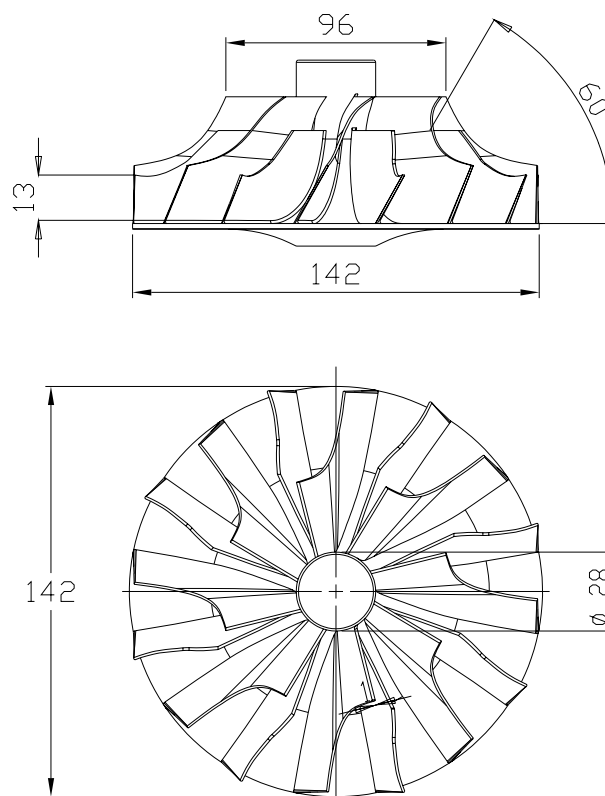
การออกแบบได้กำหนดเงื่อนไขเบื้องต้นของสภาวะแวดล้อมเพื่อที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณโดยเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหานั้นจะพิจารณาจากภาพประกอบ 31 ซึ่งจะแสดงตามแผนภูมิของแต่ละช่วงในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส โดยจะพิจารณาในช่วงที่ 1-2 ซึ่งเป็นช่วงที่ไบพัดคอมเพรสเซอร์วีลอัดอากาศไปยังไบคريبกระจาย (Diffuser)



ภาพประกอบ 31 แผนภูมิของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

ความดันของบรรยากาศ (P_{01})	=	101.3 kPa
อุณหภูมิของบรรยากาศ (T_{01})	=	303 K
ค่าคงที่อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ (k)	=	1.4
ค่าคงที่ของอากาศ (R)	=	287 J/kg K
ค่าความจุจำเพาะของอากาศ (C_p)	=	1005 J/kg K

2. เงื่อนไขจำเพาะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล



ภาพประกอบ 32 ลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางเข้า (D_1)	=	96 มิลลิเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออก (D_2)	=	142 มิลลิเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดุมใบพัด (D_{1d})	=	28 มิลลิเมตร
ความสูงครีปของใบพัด (b_{com})	=	13 มิลลิเมตร
จำนวนครีปของใบพัด	=	16 ใบครีป
มุมองศาของใบพัด (Blade Tip Angle)	=	60 องศา

ตั้งสมมุติฐาน

ความเร็วรอบการทำงานของใบพัดที่ 50000 รอบต่อนาที

ประสิทธิภาพในการไหลผ่านใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล (η_{com}) ที่ 76 เปอร์เซ็นต์

3. ขั้นตอนการคำนวณ

จากเงื่อนไขจำเพาะของสภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขจำเพาะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลที่ใช้ในการออกแบบและข้อมูลขั้นต้นทำให้สามารถหาสภาวะการทำงานที่เกิดขึ้นได้โดยจะได้กล่าวถึงต่อไป

ความเร็วของใบพัดที่ทางเข้าหาได้จาก (1) และจากเงื่อนไขของข้อมูลขั้นต้นซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางเข้ามีค่าเท่ากับ 96 มิลลิเมตร

$$\text{สมการ } U_1 = \frac{\pi D_1 N}{60}$$

เมื่อ U_1 คือ ความเร็วของใบพัดที่ทางเข้า

D_1 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางเข้า

N คือ ความเร็วรอบของใบพัด

แทนค่าใน

$$U_1 = \frac{\pi \times 0.096 \text{ m} \times 50000 \text{ Rev}}{60}$$

$$= 251.327 \text{ m/s}$$

เมื่อค่า Z คือจำนวนครีบของใบพัด ซึ่งใบพัดมีจำนวน 16 ครีบ ฉะนั้นค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (Slip factor) หาได้จาก (8)

$$\text{สมการ } \sigma_s = 1 - \frac{0.63\pi}{Z}$$

เมื่อ σ_s คือ ค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (Slip factor)

Z คือ จำนวนครีบของใบพัด

แทนค่าใน

$$\sigma_s = 1 - \frac{0.63\pi}{16} = 0.876$$

ฉะนั้นความเร็วของใบพัดที่ทางออกหาได้จาก (1) และจากเงื่อนไขของข้อมูลขั้นต้นซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออกมีค่าเท่ากับ 142 มิลลิเมตร

$$\text{สมการ } U_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$$

เมื่อ U_2 คือ ความเร็วของใบพัดที่ทางออก

D_2 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออก

แทนค่าใน

$$U_2 = \frac{\pi \times 0.142 \text{ m} \times 50000 \text{ Rev}}{60}$$

$$= 371.755 \text{ m/s}$$

และเนื่องจากอุณหภูมิ $T_{02} = T_{03}$ ดังนั้นค่าอุณหภูมิของ $T_{02} - T_{01}$ หาได้จาก (14) และจากเนื้อหาทฤษฎีในบทที่ 2 ได้กล่าวอธิบายถึงค่าตัวประกอบกำลังงาน (Power input factor) ซึ่งมีค่าระหว่างที่ 1.035 ถึง 1.040 ดังนั้นในการศึกษาและออกแบบงานวิจัยจึงเลือกใช้ค่าที่ 1.040 เพื่อประกอบการคำนวณ

$$\text{สมการ } T_{02} - T_{01} = \frac{\psi \sigma_s U_2^2}{C_p}$$

เมื่อ ψ คือ ค่าตัวประกอบกำลังงาน (Power input factor)

C_p คือ ค่าความจุจำเพาะของอากาศ (J/kg K)

แทนค่าใน

$$T_{02} - T_{01} = \frac{1.040 \times 0.876 \times 371.755^2 \text{ m/s}}{1005}$$

$$= 125.280 \text{ K}$$

เมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศ (T_{01}) มีค่าที่ 303 K ฉะนั้นอุณหภูมิรวมของอากาศที่ออกจากใบพัด (T_{02}) มีค่าเพิ่มขึ้นที่

$$\text{เมื่อ } T_{02} = (T_{02} - T_{01}) + T_{01}$$

$$T_{02} = 125.280 \text{ K} + 303 \text{ K}$$

$$= 428.280 \text{ K}$$

อัตราส่วนอุณหภูมิรวมของอากาศที่ออกจากใบพัดมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \frac{T_{02}}{T_{01}} &= \frac{428.280 \text{ K}}{303 \text{ K}} \\ &= 1.413 \end{aligned}$$

ฉะนั้นอัตราส่วนความดันรวมของอากาศที่ออกจากใบพัดหาได้จาก (16) ซึ่งจากข้อมูลของเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบที่กำหนดขึ้นต้นโดยตั้งสมมุติฐานที่ประสิทธิภาพในการไหลผ่านใบพัด (η_{com}) ทำงานที่ 76 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพประกอบ 33

$$\text{สมการ } \frac{P_{02}}{P_{01}} = \left(1 + \frac{\eta_{\text{com}} (T_{02} - T_{01})}{T_{01}} \right)^{k/(k-1)}$$

เมื่อ η_{com} คือ ประสิทธิภาพในการไหลผ่านใบพัด

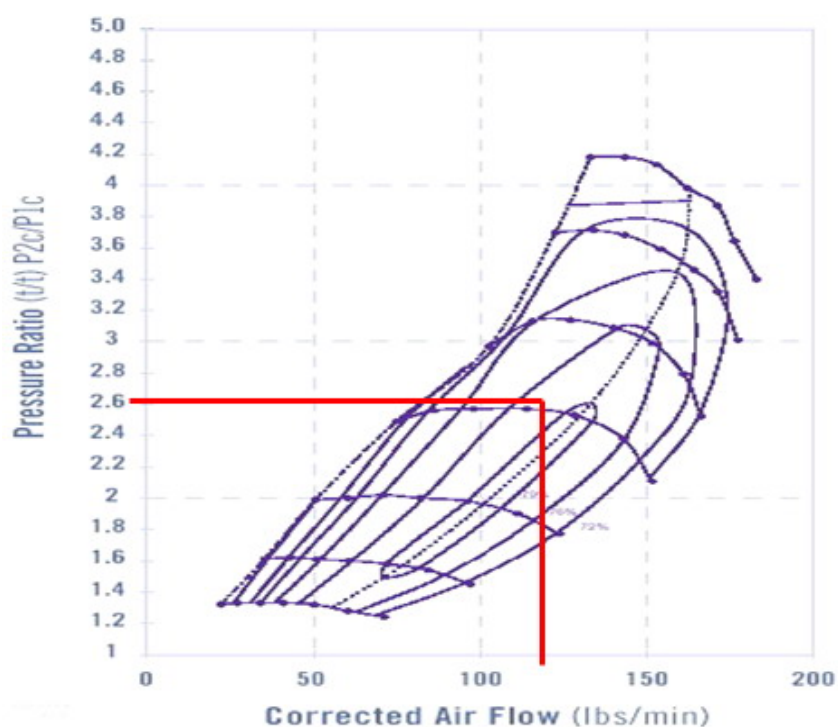
แทนค่าใน

$$\begin{aligned} \frac{P_{02}}{P_{01}} &= \left(1 + \frac{0.76 (125.280 \text{ K})}{303 \text{ K}} \right)^{1.4/(1.4-1)} \\ &= 2.602 \end{aligned}$$

ความดันรวมของอากาศที่ออกจากใบพัด (P_{02}) มีค่าเพิ่มขึ้นที่

$$P_{02} = 2.602 \times 101.3 \text{ kPa}$$

$$= 263.582 \text{ kPa}$$



ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงคุณลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีล

และจากกราฟคุณลักษณะของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแสดงดังในภาพประกอบ 33 ทำให้ทราบว่ายัตราส่วนความดันรวมของอากาศที่ 2.602 เมื่อตั้งสมมุติฐานที่ประสิทธิภาพในการไหลผ่านใบพัด (η_{com}) ทำงานที่ 76 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดอัตราการไหลที่ 120 Lbs/min หรือ $42.108 \text{ m}^3/\text{min}$

ฉะนั้นความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัดที่ทางออก (C_{x2}) หาได้จาก (3) เมื่อความเร็วของใบพัดที่ทางออก (U_2) มีค่าเท่ากับ 371.755 เมตรต่อวินาที

$$\text{สมการ } C_{x2} = \sigma_s U_2$$

เมื่อ C_{x2} คือ ความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัดที่ทางออก

แทนค่าใน

$$C_{x2} = 0.876 \times 371.755 \text{ m/s}$$

$$= 325.657 \text{ m/s}$$

ความเร็วของอากาศที่ไหลออกมืองค์ประกอบตามแนวรัศมี (C_{r2}) หาได้จาก (4)

$$\text{สมการ } C_{r2} = \frac{Q}{\pi D_2 b_{com}}$$

เมื่อ C_{r2} คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลออกมืองค์ประกอบตามแนวรัศมี
 b_{com} คือ ความสูงของครีปใบพัด

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} C_{r2} &= \frac{42.108 \text{ m}^3/\text{min}}{\pi \times 0.142 \text{ m} \times 0.013 \text{ m}} \\ &= 7260.776 \text{ m/min} \\ &= \frac{7260.776 \text{ m/min}}{60} \\ &= 121.012 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ความเร็วสัมผัสของอากาศที่ทางออก (C_u) หาได้จาก (5)

$$\text{สมการ } C_u = \sqrt{C_{x2}^2 + C_{r2}^2}$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} C_u &= \sqrt{(325.657^2 \text{ m/s}) + (121.012^2 \text{ m/s})} \\ &= 347.413 \text{ m/s} \end{aligned}$$

อุณหภูมิสถิตย์ของอากาศที่ออกจากใบพัดหาได้จาก (18)

$$\text{สมการ } T_2 = T_{02} - \frac{C_u^2}{2C_p}$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} T_2 &= 428.280 \text{ K} - \frac{347.413^2 \text{ m/s}}{2 \times 1005} \\ &= 368.232 \text{ K} \end{aligned}$$

ความดันสถิตย์ของอากาศที่ออกจากใบพัดหาได้จาก (19)

$$\text{สมการ } \frac{P_2}{P_{02}} = \left(\frac{T_2}{T_{02}} \right)^{k/(k-1)}$$

$$\text{ฉะนั้น } P_2 = P_{02} \left(\frac{T_2}{T_{02}} \right)^{k/(k-1)}$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} P_2 &= 263.582 \text{ kPa} \times \left(\frac{368.232 \text{ K}}{428.280 \text{ K}} \right)^{1.4/(1.4-1)} \\ &= 155.343 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นของอากาศที่ออกจากใบพัดหาได้จาก (20)

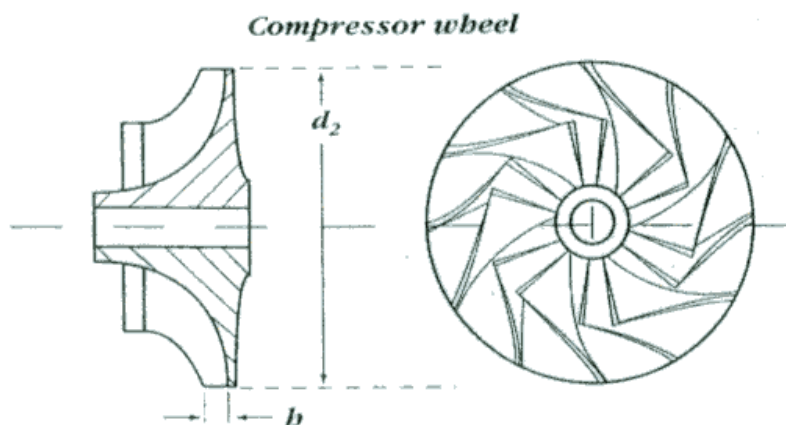
$$\text{สมการ } \rho_2 = \frac{P_2}{R T_2}$$

เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของอากาศ (0.287 J/kg K)

แทนค่าใน

$$\begin{aligned}\rho_2 &= \frac{155.343 \text{ kPa}}{0.287 \text{ kJ/kg K} \times 368.232 \text{ K}} \\ &= 1.469 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

พื้นที่ที่อากาศไหลออกจากใบพัด (A_2) ซึ่งเงื่อนไขการออกแบบกำหนดความสูงของครีบบใบพัด (b_{com}) มีค่าที่ 13 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออก (D_2) ซึ่งมีค่าที่ 142 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 34 ความสูงครีบบของใบพัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด

$$\text{สมการ } A_2 = \pi D_2 b_2$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned}A_2 &= \pi \times (0.142 \text{ m}) \times (0.013 \text{ m}) \\ &= 0.00579 \text{ m}^2\end{aligned}$$

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศหาได้จาก (4)

$$\text{สมการ } \dot{m} = \rho_2 \times C_{r2} \times A_2$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned}\dot{m} &= 1.469 \text{ kg/m}^3 \times 121.012 \text{ m/s} \times 0.00579 \text{ m}^2 \\ &= 1.029 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

เงื่อนไขในการออกแบบดิฟฟิวเซอร์โดยกำหนดให้มุมองศาของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลเมื่อใบพัดมีค่ามุมที่ 60 องศา ฉะนั้นความเร็วของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด (C_{com}) หาได้จาก (6) และเมื่อความเร็ว $C_{r2} = 121.012 \text{ m/s}$ และความเร็ว $U_2 = 371.755 \text{ m/s}$

$$\text{สมการ } C_{com} = U_2 - \left(\frac{C_{r2}}{\tan \beta} \right)$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned}C_{com} &= 371.755 - \left(\frac{121.012}{\tan 60} \right) \\ &= 301.888 \text{ m/s}\end{aligned}$$

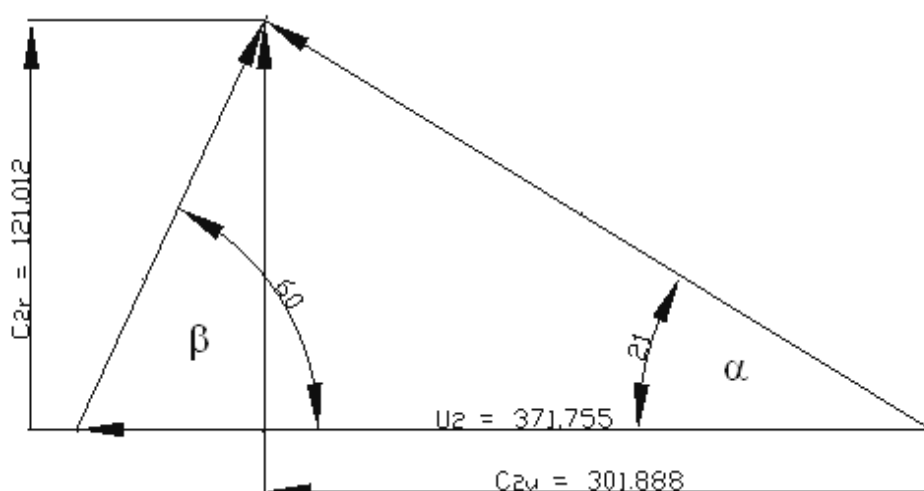
ฉะนั้นมุมทิศทางของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด (α) หาได้จาก (7) เมื่อความเร็วของ $C_{r2} = 121.012 \text{ m/s}$ และความเร็วของ $C_{com} = 301.888 \text{ m/s}$

$$\text{สมการ } \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{C_{r2}}{C_{com}} \right)$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned}\alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{121.012 \text{ m/s}}{301.888 \text{ m/s}} \right) \\ &= 21.84 \text{ องศา}\end{aligned}$$

ฉะนั้นมุมทิศทางของอากาศที่ไหลออกจากวงล้อจึงมีค่าเท่ากับ $\alpha = 21.84$ องศา ซึ่งมุมองศาการไหลนี้จะคงที่ตลอดหลังจากอากาศไหลผ่านใบพัดเป็นวงแหวนอากาศด้วยความกว้างคงที่ ฉะนั้นจึงทราบได้ว่ามุมใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ควรปรับตั้งค่ามุมที่ 21.84 องศา หรือปรับตั้งมุมที่ 21 องศา



ภาพประกอบ 35 แสดงไดอะแกรมความเร็วของอากาศที่ปลายใบพัด

ค่าตัวเลขมัคนัมเบอร์ของอากาศที่ไหลออกจากใบพัดหาได้จาก (22)

$$\text{สมการ } M = \frac{C_u}{\sqrt{k R T_2}}$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} M &= \frac{347.413 \text{ m/s}}{\sqrt{1.4 \times 287 \text{ J/Kg K} \times 368.232 \text{ K}}} \\ &= 0.903 \end{aligned}$$

ความเร็วของเสียงในอากาศที่ปลายใบพัด (C_a) หาได้จาก (23)

$$\text{สมการ } C_a = \sqrt{k R T_2}$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} C_a &= \sqrt{1.4 \times 287 \text{ J/Kg K} \times 368.232 \text{ K}} \\ &= 384.649 \text{ m/s} \end{aligned}$$

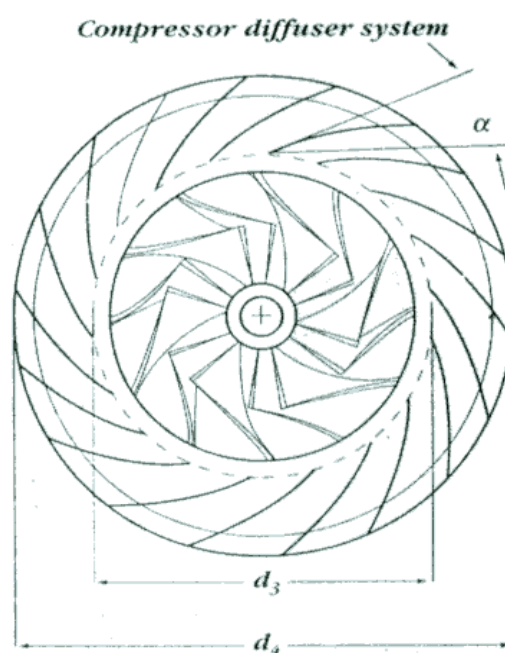
เมื่ออากาศไหลผ่านออกจากใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลถึงช่องใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ กำหนดให้เป็นแบบไฮเซนโทรปิกโดยให้เป็นตามทฤษฎีการไหลวนอิสระ (Free Vortex) และรัศมีขอบนอกของใบพัดหาได้จาก

$$\text{เมื่อ } r_2 = \frac{D_2}{2}$$

แทนค่าใน

$$r_2 = \frac{142 \text{ mm}}{2} = 71 \text{ mm}$$

จากเนื้อหาทฤษฎีในบทที่ 2 และภาพประกอบ 22 ได้กล่าวอธิบายถึงการเพิ่มขนาดของรัศมีที่ช่องว่างระหว่างทางออกของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลถึงทางเข้าใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ซึ่งกำหนดค่าที่ระหว่าง $0.1D_2$ ถึง $0.2D_2$ เมื่อ D_2 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออก



ภาพประกอบ 36 แสดงตำแหน่งระยะช่องว่างรัศมีใบครีบของดิฟฟิวเซอร์

ดังนั้นในการศึกษาและออกแบบงานวิจัยจึงเลือกใช้ค่าที่ $0.1D_2$ เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมในการลดความยาวของเส้นทางการไหลที่ออกจากใบพัดฉะนั้นระยะรัศมีที่ช่องว่างระหว่างทางออกของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลถึงทางเข้าใบครีบของดิฟฟิวเซอร์

$$\text{เมื่อ } r_3 = r_2 + \left(\frac{0.1 D_2}{2} \right)$$

แทนค่าใน

$$r_3 = 71 \text{ mm} + \left(\frac{0.1 \times 142 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 78.1 \text{ mm}$$

$$\text{ฉะนั้น } D_3 = 156.2 \text{ mm}$$

เมื่อความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัดที่ช่องใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ (C_{diff})
หาได้จาก (28)

$$\text{สมการ } C_{\text{diff}} = \frac{C_{\text{com}} r_2}{r_3}$$

แทนค่าใน

$$C_{\text{diff}} = \frac{301.888 \text{ m/s} \times 0.071 \text{ m}}{0.0781 \text{ m}}$$

$$= 274.443 \text{ m/s}$$

จำนวนใบครีบของดิฟฟิวเซอร์

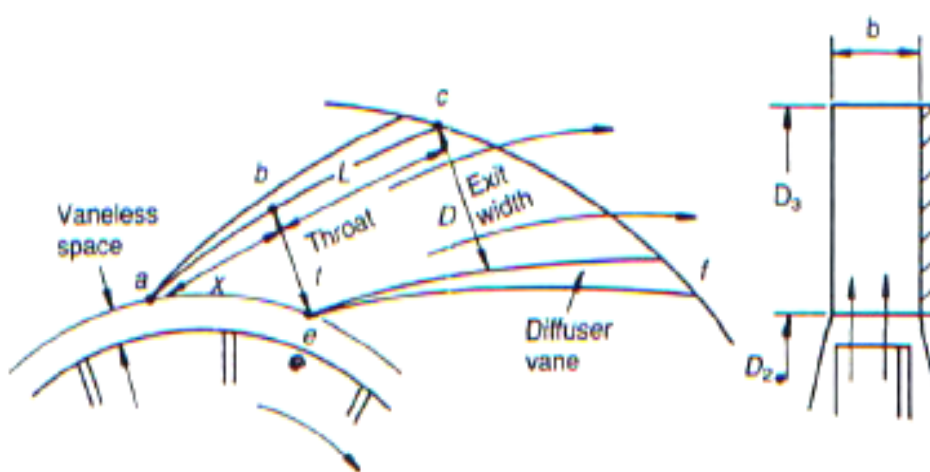
จากเนื้อหาทฤษฎีในบทที่ 2 ได้กล่าวอธิบายถึงจำนวนใบครีบของดิฟฟิวเซอร์เพื่อควบคุมความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพของการกระจายตัวกับความสูญเสียเนื่องจากความฝืดของผิวสัมผัส ซึ่งในส่วนจำนวนใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ในทางปฏิบัติจะเริ่มคิดที่จำนวนครีบของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแล้วบวกเข้าไปอีกหนึ่งคือ $(Z + 1)$ แต่จะไม่มากไปกว่าจำนวนที่ 29 ใบครีบ เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากความฝืดที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการศึกษาและออกแบบงานวิจัยจึงเลือกจำนวนใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 17 ใบครีบ

ความสูงใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์

ซึ่งเป็นส่วนที่จะเชื่อมต่อกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลโดยจะมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องอัดอากาศและควรมีขนาดเล็ก ดังนั้นการศึกษาและการออกแบบงานวิจัยจึงเลือกใช้ความสูงช่องทางไหลของใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 0.013 เมตร ให้เท่ากับความสูงของครีบบใบพัด

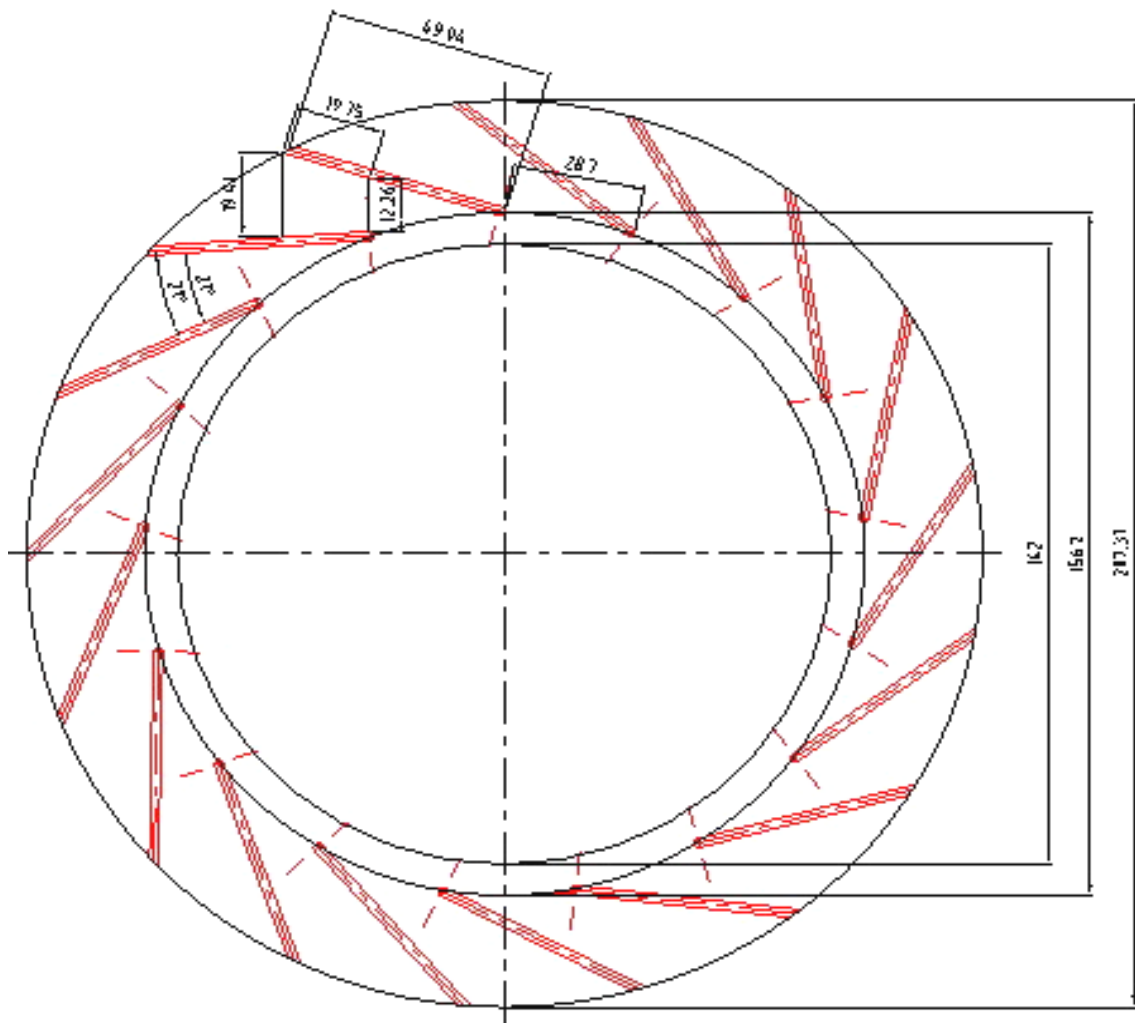
ความยาวใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ (L)

จากเนื้อหาทฤษฎีในบทที่ 2 และภาพประกอบ 23 ได้กล่าวอธิบายถึงอากาศจะไหลไปตามช่องทางเข้าสู่ช่องแคบ (Throat) ใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ซึ่งเป็นส่วนที่แคบที่สุดก่อนและจะค่อยๆ ขยายตัวออกฉะนั้นการกระจายตัวของอากาศจึงเกิดขึ้นบนช่วงความยาว bc และเพื่อให้ได้ขนาดใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ไม่ใหญ่จนเกินไปเพราะอาจมีผลทำให้เส้นทางไหลของของไหลยาวมากจนเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืด ดังนั้นส่วนพื้นผิว abc และ ef เป็นรัศมีโดยประมาณ ทุกๆ ช่องมีความยาวเท่ากับ L ซึ่งในทางปฏิบัติความยาว L นี้จะมีค่าเท่ากับ 3t ถึง 4t (เมื่อ t คือทางเข้าสู่ช่องแคบ) เพื่อควบคุมความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพของการกระจายตัวกับความสูญเสียเนื่องจากความฝืดของผิวสัมผัส ดังนั้นในการศึกษาและการออกแบบงานวิจัยจึงเลือกใช้ความยาว L ใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ค่าเท่ากับ 4t



ภาพประกอบ 37 สัดส่วนทางเข้าสู่ช่องแคบ (Throat) ใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์

จากจำนวนใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ได้ออกแบบไว้ 17 ใบครีบบ แสดงดังภาพประกอบ 34 พบว่าช่องแคบที่สุดของ Throat มีค่าเท่ากับ 12.26 มิลลิเมตร ฉะนั้นระยะของความยาว L ที่ใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์จึงมีค่าเท่ากับ 49.04 มิลลิเมตร แสดงดังภาพประกอบ 38 และทำให้ทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออกซึ่งมีค่าเท่ากับ 207.31 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 38 แสดงระยะช่องแคบ (Throat) และความยาวใบครีบของดัดฟิวเซอร์

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบครีบของดัดฟิวเซอร์ที่ทางออก (D_4)

เมื่อทราบความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบของดัดฟิวเซอร์ (C_{diff}) ซึ่งมีค่าที่ 273.443 m/s ฉะนั้นพื้นที่ใบครีบของดัดฟิวเซอร์ที่ทางออก (A_4) เพื่อให้อากาศไหลผ่านซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 36 หาได้จาก

$$\text{สมการ } Q = A_4 C_{diff}$$

$$\text{ฉะนั้น } A_4 = \frac{Q}{C_{diff}}$$

แทนค่าใน

$$A_4 = \frac{42.108 \text{ m}^3/\text{min}}{(273.443 \text{ m/s} \times 60)}$$

$$= 0.002566 \text{ m}^2$$

เมื่อค่า A_4 คือพื้นที่ใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก ฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก (D_4) หาได้จาก

$$\text{เมื่อ } A_4 = \frac{\pi D_4^2}{4}$$

แทนค่าใน

$$D_4^2 = \frac{0.002566 \text{ m}^2 \times 4}{\pi}$$

$$= 0.0571 \text{ m} \sim 57.15 \text{ mm}$$

ฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก (D_4) มีค่าเท่ากับ $207.31 \text{ mm} + 57.15 \text{ mm} = 264.46 \text{ mm}$

4. วัสดุอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้สำหรับสร้างอุปกรณ์ทดสอบนั้นได้แบ่งแยกตามประเภทชิ้นงานเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน คือ

1. วัสดุที่ใช้ทำเพลลาและอุปกรณ์โครงสร้างกำหนดใช้วัสดุ Stainless Steel เกรด 304 เหล็กเพลลา S45C และ N695 เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมาะสมและสามารถทนลักษณะการหมุนที่ความเร็วสูงๆ ได้ดีและปลอดภัยจากการเป็นสนิมของเนื้อชิ้นงานรวมถึงอายุการใช้งานที่ยาวนาน
2. แบร์ริงรองรับน้ำหนักกำหนดเลือกใช้ตามมาตรฐานในคู่มือการเลือกใช้ตลับลูกปืนและคู่มือของเพลลารับน้ำหนักจากตำราการออกแบบวัสดุวิศวกรรมโดยเลือกแบร์ริงยี่ห้อ SKF ชนิดหล่อลื่นด้วยจารบี
3. วัสดุที่ใช้ทำจานโรเตอร์ดิฟฟิวเซอร์และพูลเลย์ขับเคลื่อนด้วยสายพานกำหนดใช้วัสดุอลูมิเนียมอัลลอยด์เนื่องจากมีคุณสมบัติของน้ำหนักที่เบา

4. วัสดุที่ใช้ทำตัวเรือนสำหรับครอบชุดจานโรเตอร์ดีฟิวเซอร์กำหนดเลือกใช้แผ่นพลาสติกอะครีลิกใสสีขาวเพื่อสำหรับการฉายแสงเลเซอร์ตรวจวัดความเร็วการไหลของอากาศ
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนการหมุนดีฟิวเซอร์กำหนดใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า แรงดันกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ (VAC) และควบคุมด้วยชุดควบคุมปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Speed motor control)

บทที่ 4

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและทดสอบ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการทดสอบดิฟฟิวเซอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้น และการทดสอบในงานวิจัยนี้มีการวัดค่าอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการวัดค่าความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องใบครีบของดิฟฟิวเซอร์ ส่วนที่สองเป็นการวัดการไหลของของไหลด้วยเครื่องวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดและภาพถ่ายไปวิเคราะห์พารามิเตอร์เปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 เพื่อนำค่าที่ได้และมีความเหมาะสมไปสร้างตัวเครื่องโดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนหัวข้อดังต่อไปนี้

1. กรณีของการทดสอบโดยใช้อากาศเป็นเงื่อนไข
2. กรณีของการทดสอบโดยใช้น้ำเป็นเงื่อนไข

1. กรณีของการทดสอบโดยใช้อากาศเป็นเงื่อนไข

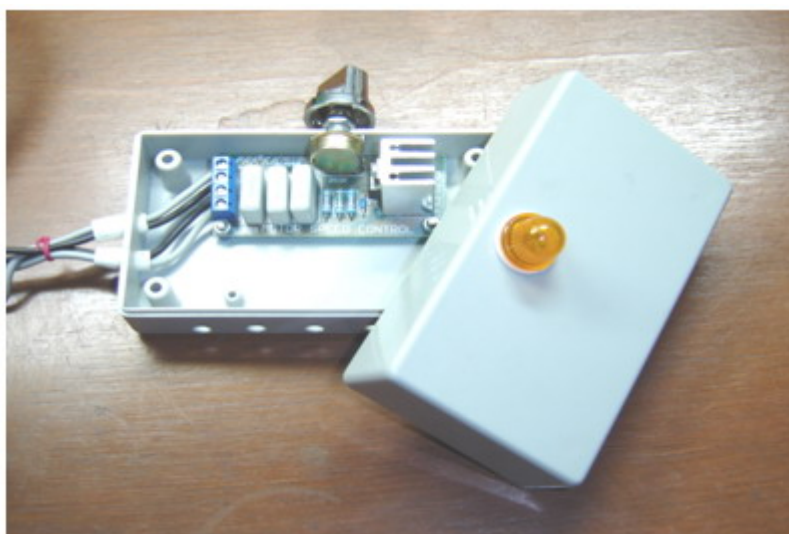
การทดสอบโดยใช้อากาศนั้นเป็นการศึกษาในด้านอากาศพลศาสตร์ภายใต้อุณหภูมิห้องทั่วไปที่ใช้โดยเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าทดสอบโดยไม่คำนึงถึงเรื่องของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ
2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
3. ผลการทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

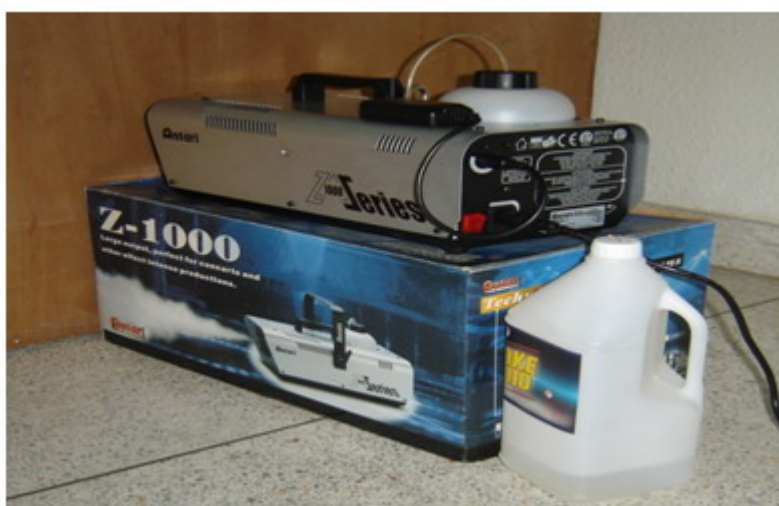
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบได้แบ่งแยกตามชนิดและประเภทเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานซึ่งจะได้กล่าวถึงอุปกรณ์แต่ละรายการโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ชุดควบคุมปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Speed motor control) แสดงดังภาพประกอบ 39 โดยสามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้หมุนที่ความเร็วรอบต่ำๆ ไปจนความเร็วรอบสูงสุดโดยไม่มีผลต่อ Torque ของมอเตอร์ในการทำงานของวงจรนั้นจะอาศัยหลักการกระตุ้นให้ไทรแอกทำงานที่เฟสของสัญญาณไฟ AC แตกต่างกันไป ตั้งแต่เฟส 0 ไปจนถึง 360 องศา เพื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงไฟให้กระตุ้นเกทของไทรแอกให้ทำงานที่เฟสของแรงไฟที่ต้องการหากไทรแอกเริ่มทำงานที่เฟส 0 แรงไฟที่ส่งไปขับมอเตอร์ก็จะสูงสุดแต่หากเราปรับให้ไทรแอกทำงานที่เฟสสูงๆ แรงไฟที่จ่ายให้มอเตอร์ก็จะลดลงทำให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบต่ำๆ



ภาพประกอบ 39 ชุดควบคุมปรับความเร็วรอบมอเตอร์

2. เครื่องสร้างควัน (Antari fog machine) Mode. Z-1000R เพื่อใช้สำหรับการสร้างบรรยากาศของอนุภาคของของไหลในการทดสอบแสดงดังภาพประกอบ 40 Output 10,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และถึงบรรจุขนาด 1.35 ลิตร



ภาพประกอบ 40 เครื่องทำควัน (Antari fog machine)

3. เครื่องมือวัดความเร็วรอบมอเตอร์ ยี่ห้อ Testo 470 Str.1D-79853 เป็นชนิดดิจิทัลมีความละเอียดสูง เพื่อใช้ในการวัดความเร็วเปรียบเทียบสำหรับการปรับชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แต่ละความเร็ว โดยเครื่องมือสามารถตรวจสอบได้หลายหน่วยของค่าตัวแปร เช่น หน่วยเป็นรอบต่อนาที และเมตรต่อวินาที แสดงดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 เครื่องมือวัดความเร็วรอบมอเตอร์

4. มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนการหมุนของดีฟฟิวเซอร์โดยกำหนดใช้มอเตอร์ Single phase แสดงดังภาพประกอบ 42 ยี่ห้อ Crompton ขนาด 1 แรงม้า 5.15 แอมป์ 50 Hz แรงดันกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ (VAC) ความเร็วรอบที่ 2,800 รอบต่อนาที ลักษณะของการทำงานส่งกำลังการขับเคลื่อนโดยสายพานเพื่อเพิ่มความเร็วยังสูงขึ้น



ภาพประกอบ 42 มอเตอร์ขับเคลื่อน

5. เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)



ภาพประกอบ 43 เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

5.1 อุปกรณ์ประมวลผลและแสดงผล ได้แก่ คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแสดงผลซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ในการประมวลผลเพื่อหาเวกเตอร์ความเร็วของของไหลและแสดงผลการวิเคราะห์ห้่อกทางหน้าจอ



ภาพประกอบ 44 เครื่องคอมพิวเตอร์และหน่วยประมวลผล

5.2 อุปกรณ์ให้กำเนิดและส่องแสงเลเซอร์ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ชุดส่งลำแสงเลเซอร์ และชุด Light Sheet Optic ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ในการส่องแสงสว่างไปยังพื้นที่หน้าตัดของลำของของไหล (หรืออนุภาคในลำของของไหล) ด้วยแสงเลเซอร์

5.3 อุปกรณ์ตรวจจับภาพ ได้แก่ กล้องดิจิทัล ชุดเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างกล้องกับคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ถ่ายภาพและส่งภาพไปประมวลผลไปยังคอมพิวเตอร์และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานเข้ากันได้

5.4 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) ยี่ห้อ TSI ประกอบด้วย

5.4.1 เครื่องกำเนิดเลเซอร์รุ่น Mini YAG12 กำเนิดคลื่นแสงสีเขียวมีความยาวคลื่น 529 นาโนเมตร ให้ตั้งค่าความเร็วของเลเซอร์ไว้ที่ 20 ไมโครวินาที หมายความว่ามีความถี่ของการฉายเลเซอร์ 2 ครั้งเท่ากับ 20 ไมโครวินาที

5.4.2 กล้องถ่ายรูป รุ่น 630046 PIVCAM 10-30 มีระยะเวลาในการเปิดหน้ากล้องเท่ากับ 255 ไมโครวินาที และมีค่า Frame rate เท่ากับ 30 เฮิร์ต

5.4.3 เครื่องควบคุมกล้องถ่ายรูปและเครื่องกำเนิดเลเซอร์ให้ทำงานพร้อมกันรุ่น Version. 7.0

5.4.4 โปรแกรม Insight 6.0 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้องเลเซอร์และประมวลผลรูปภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพทำให้ได้ขนาดและทิศทางของความเร็วบนหน้าตัด

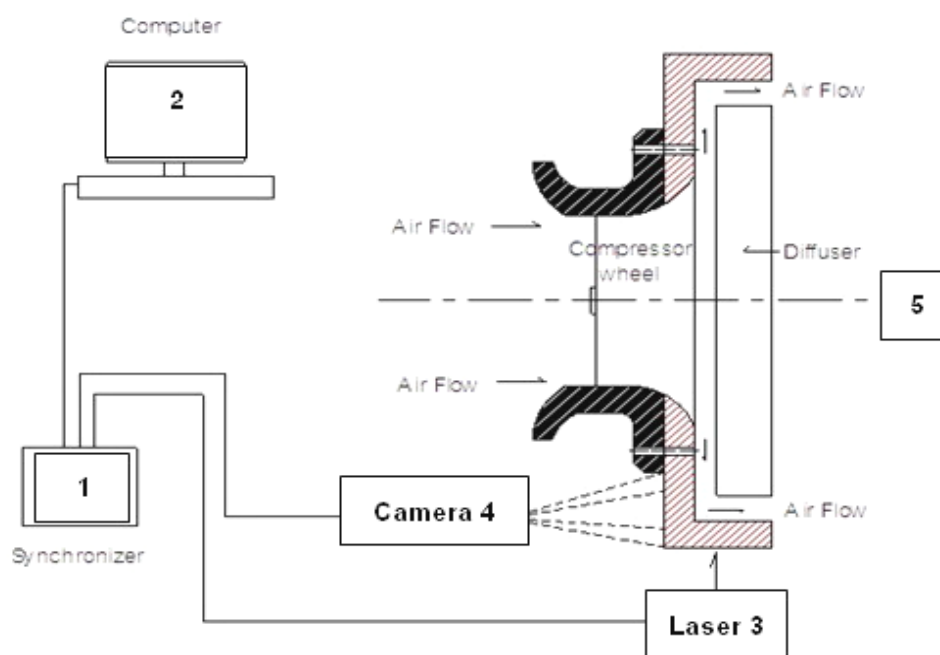
5.4.5 โปรแกรม Tecplot 10.0 หลังจากที่ได้ถ่ายภาพและทำการประมวลผลจากโปรแกรม Insight แล้ว เราก็จะนำข้อมูลที่ได้เหล่านั้นมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งในโปรแกรมนี้อาจให้เราเลือกที่เราต้องการข้อมูลตัวไหนบ้างมาเฉลี่ยแล้วแต่เราเลือกและค่าที่ได้นั้นก็จะเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของจำนวนภาพที่เราถ่ายได้ ซึ่งโปรแกรมนี้อาจให้เราเลือกที่เราจะคำนวณค่าอะไรออกมา เช่น ระดับความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulent intensity) ความเค้นในของไหลหรือความเค้นเรย์โนลด์ (Reynolds Stress) เป็นต้น

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ [1] การติดตั้งระบบและอุปกรณ์การทดสอบ [2] เงื่อนไขของการทดสอบ [3] ขั้นตอนการทดสอบ

1. การติดตั้งระบบและอุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับอุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้น โดยตลอดการทดสอบต้องการระยะความห่างในการถ่ายภาพและยิงลำแสง ดังนั้นจึงต้องติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบให้มีค่าคงที่เพื่อรักษาระดับระยะไม่ให้เคลื่อนที่



ภาพประกอบ 45 แผนภาพระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- 1) ชุด Synchronizer
- 2) เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผล
- 3) ชุดกำเนิดลำแสงเลเซอร์
- 4) กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
- 5) ดิฟฟิวเซอร์

2. เงื่อนไขการทดสอบ

การไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบ โดยมีข้อกำหนดการทดสอบให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่เหมือนกันเพื่อให้มีขอบเขตที่ชัดเจนดังรายละเอียดที่กล่าวต่อไปนี้

2.1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าของใบครีบบที่เท่ากัน

2.2 ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์เริ่มต้นที่เท่ากันคือ 2500, 3500, 4500, และ 5500 รอบต่อนาที

2.3 ใบครีบบที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 5 มุมคือ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา

2.4 ใช้น้ำยาทำควัน (Smoke Fluid) ปลอยผสมกับอากาศเพื่อสร้างเป็นอนุภาคติดตามการไหล

3. ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์เพื่อให้การทดสอบได้ค่าที่ถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนจากการหมุนของมอเตอร์น้อยที่สุดจึงได้ทดสอบถึง

ความพร้อมการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ และอัตราการปล่อยควันเพื่อสำหรับการสร้างบรรยากาศของอนุภาคเพื่อติดตามการไหล ซึ่งการไหลของอากาศเป็นการไหลโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนให้ใบพัดคอมเพรสเซอร์วิลหมุนเพื่อดูอากาศและควันเข้าไปยังช่องใบครีบบของดีฟฟิวเซอร์ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า การหมุนของมอเตอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยมากไม่ถึง 3 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 46 ทดสอบความพร้อมการใช้งานของอุปกรณ์

การทดสอบการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบของดีฟฟิวเซอร์ซึ่งมีหัวข้อการวัดค่าดังรายละเอียดนำเสนอต่อไปนี้

3.1 วัดความดันของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบ

3.2 วัดการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

3.1 วัดความดันของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบ

การวัดความดันที่ทางเข้าและทางออกของใบครีบบซึ่งกำหนดเลือกใช้เครื่องมือวัดชนิด U-Tube Monometer ซึ่งตำแหน่งการวัดจะทำการเจาะรูขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร โดยแบ่งจุดวัดออกเป็น 2 จุด

3.2 วัดการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

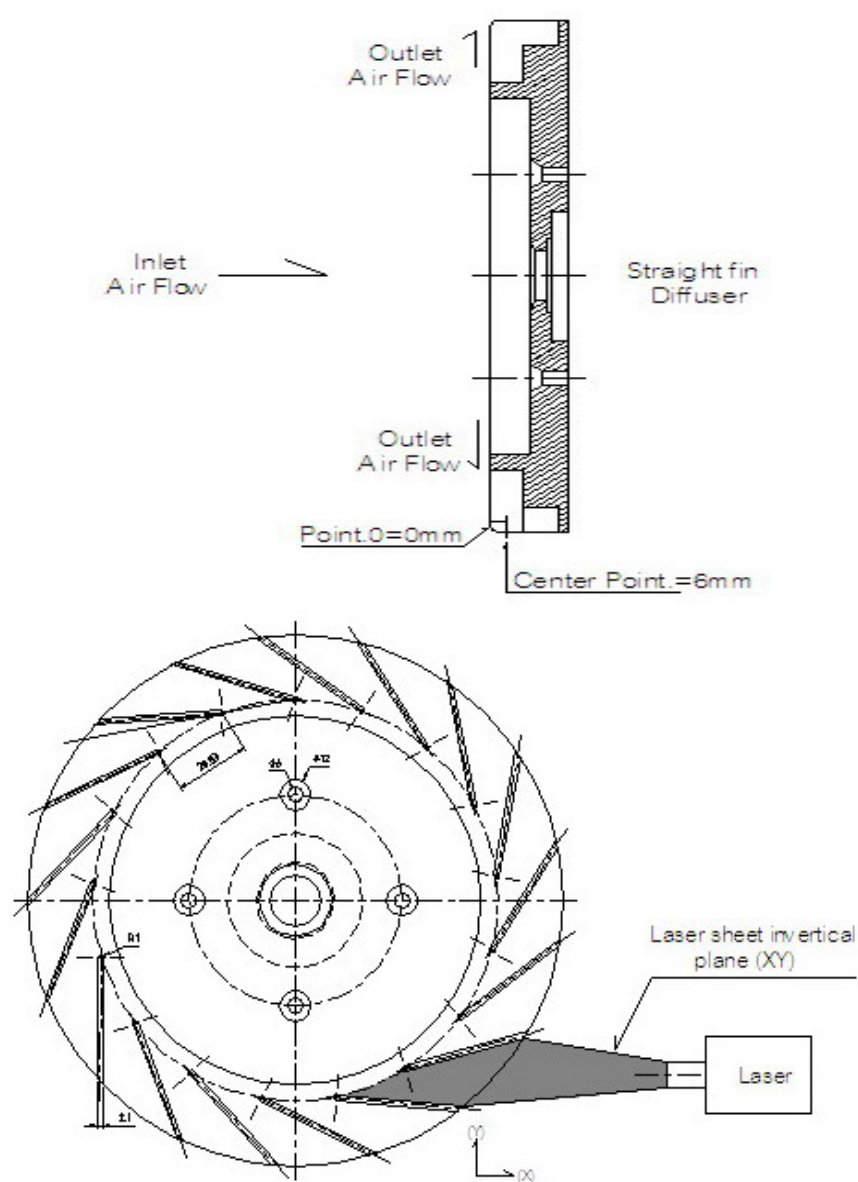
ศึกษาการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบบที่มีลักษณะของพื้นที่หน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) มาวิเคราะห์พารามิเตอร์เพื่อดูผลกระทบที่มีต่อการสูญเสีย

เนื่องจากความเสียดทานและการแยกชั้นการไหล ในการทดสอบได้ใช้ควันสร้างบรรยากาศ (Smoke Fluid) ปลอยผสมกับอากาศเพื่อสร้างเป็นอนุภาคติดตามการไหล



ภาพประกอบ 47 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิค
วิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

ตำแหน่งการวัดการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบก่อนการทดสอบทำการถ่ายภาพการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องใบครีบก โดยมีจำนวนคู่เฟรมการยิงลำแสงเลเซอร์ที่ต่างกัน โดยค่า Sequence Setup เริ่ม Start Number ที่ 0 ถึง Number of Captures ที่ 15, 20, 25, 30 และ 35 เฟรม เพื่อต้องการตรวจหาค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดซึ่งผลที่ออกมามีความแตกต่างกันไม่ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าการถ่ายภาพอนุภาคการไหลของอากาศที่ 30 เฟรม จึงมีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้



ภาพประกอบ 48 แสดงการยิงลำแสงเลเซอร์ไปยังตำแหน่งจุดวัดที่ใบครีบ



ภาพประกอบ 49 การทดสอบดีฟิวเซอร์โดยใช้เงื่อนไขของอากาศ

ผลการทดสอบ

การศึกษาโดยใช้อากาศเป็นเงื่อนไขทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ พบปัญหาเกิดขึ้นว่าการไหลของอากาศมีความเร็วที่สูงเกินขีดความสามารถของกล้องถ่ายภาพและโปรแกรมประมวลผลของเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) ที่จะจับภาพอนุภาคการไหลของอากาศได้ และงานวิจัยครั้งนี้จึงได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการจัดสร้างใบครีบบางของดีฟฟิวเซอร์จำลองขึ้นมาและเปลี่ยนใช้น้ำเป็นเงื่อนไขในการทดสอบแทน ส่วนรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินการวิจัยนั้นจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2. กรณีของการทดสอบโดยใช้น้ำเป็นเงื่อนไข

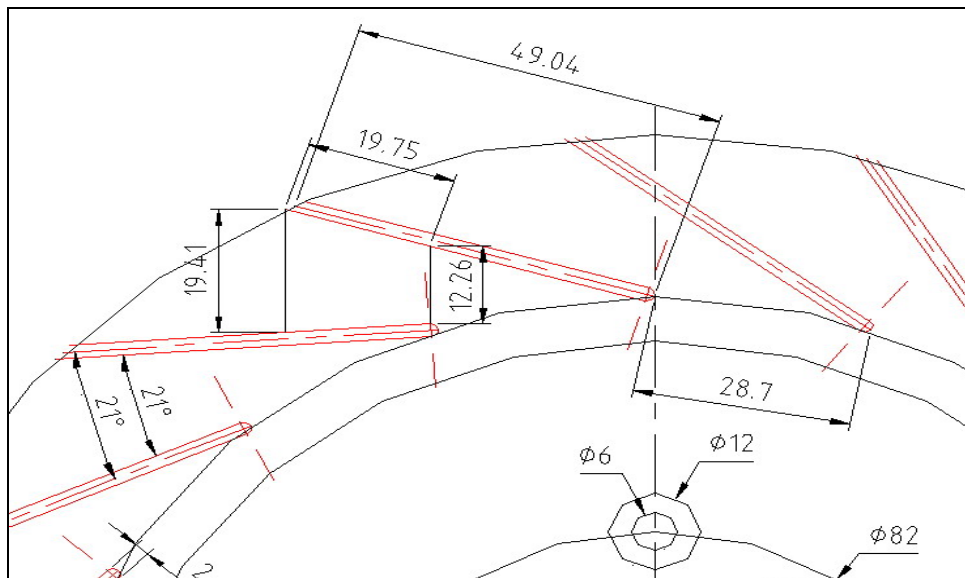
การทดสอบโดยใช้น้ำนั้นเป็นการศึกษาในด้านของเหลวภายใต้อุณหภูมิต่ำที่นำไปใช้โดยเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าทดสอบโดยไม่คำนึงเรื่องของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เงื่อนไขของขนาดใบครีบบางที่จัดสร้างจำลองขึ้น
2. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ
3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
4. ผลการทดสอบ

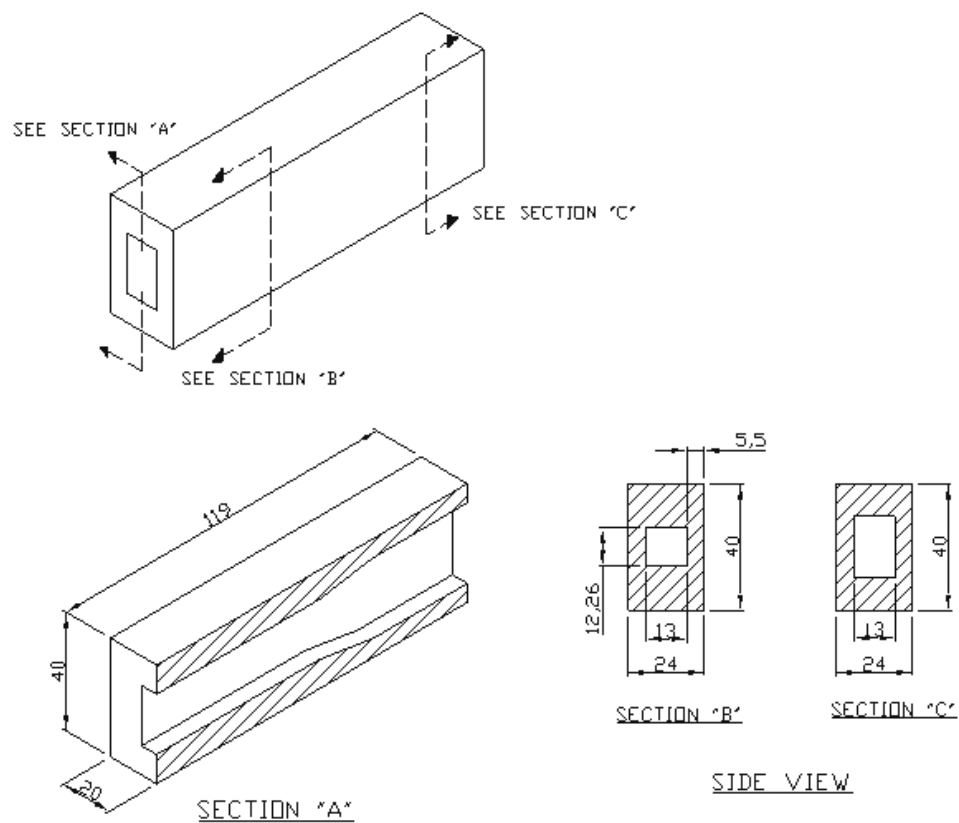
เงื่อนไขของขนาดใบครีบบางที่จัดสร้างจำลองขึ้น

จากเนื้อหาบทที่ 2 ในหัวข้อ 6. ลักษณะสัดส่วนของดีฟฟิวเซอร์และภาพประกอบ 22 แสดงสัดส่วนต่างๆ ของดีฟฟิวเซอร์จะเห็นว่าอากาศจะไหลไปตามช่องทางเข้าสู่ช่องแคบ (Throat) ใบครีบบางของดีฟฟิวเซอร์ซึ่งเป็นส่วนที่แคบที่สุดก่อนและจะค่อยๆ ขยายตัวออกจะนั้นการกระจายตัวของอากาศจึงเกิดขึ้นบนช่วงความยาว bc และเพื่อให้ได้ขนาดใบครีบบางของดีฟฟิวเซอร์ที่ไม่ใหญ่จนเกินไปที่อาจมีผลทำให้เส้นทางไหลของของไหลยาวมากจนเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืด

จึงทำให้ทราบถึงขนาดของใบครีบบางที่จัดสร้างจำลองขึ้น คือขนาดความกว้างทางเข้ามีค่าที่ 12.26 มิลลิเมตร ความยาวใบครีบบางของดีฟฟิวเซอร์มีค่าที่ 19.75 มิลลิเมตร และขนาดความกว้างทางออกมีค่าที่ 19.41 มิลลิเมตร หรือขึ้นอยู่กับค่ามุมใบครีบบางของดีฟฟิวเซอร์นั้นๆ



ภาพประกอบ 50 แสดงระยะช่องแคบและความยาวใบครีบของดัดฟิวเซอร์



ภาพประกอบ 51 ลักษณะใบครีบของดัดฟิวเซอร์ที่จัดสร้างจำลองขึ้น

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบได้แบ่งแยกตามชนิดและประเภทเพื่อความเหมาะสมในการใช้

1. งานซึ่งจะได้กล่าวถึงอุปกรณ์แต่ละรายการโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
2. ตู้กระจกขนาดบรรจุน้ำ 60 ลิตร 1 ชุด
3. เครื่องสูบน้ำ 1 ชุด
4. สายยางขนาด 3 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร
5. น้ำจำนวน 100 ลิตร
6. ถังน้ำขนาด 20 ลิตร 1 ถัง
7. นาฬิกาจับเวลา 1 ชุด
8. วาล์วน้ำขนาด 3/4 นิ้ว 2 ชุด
9. ท่อน้ำ PVC 3/4 นิ้ว ยาว 2 เมตร
10. U-Tube Monometer วัดความดัน 1 ชุด

อุปกรณ์ใบ crib ของดิฟฟิวเซอร์มีจำนวน 5 ชุด ซึ่งวัสดุชิ้นส่วนทำจากแผ่นพลาสติกอะครีลิคใส



ภาพประกอบ 52 ลักษณะอุปกรณ์ใบ crib ของดิฟฟิวเซอร์

11. สารไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาด 3 ไมครอน เพื่อเป็นอนุภาคติดตามการไหล



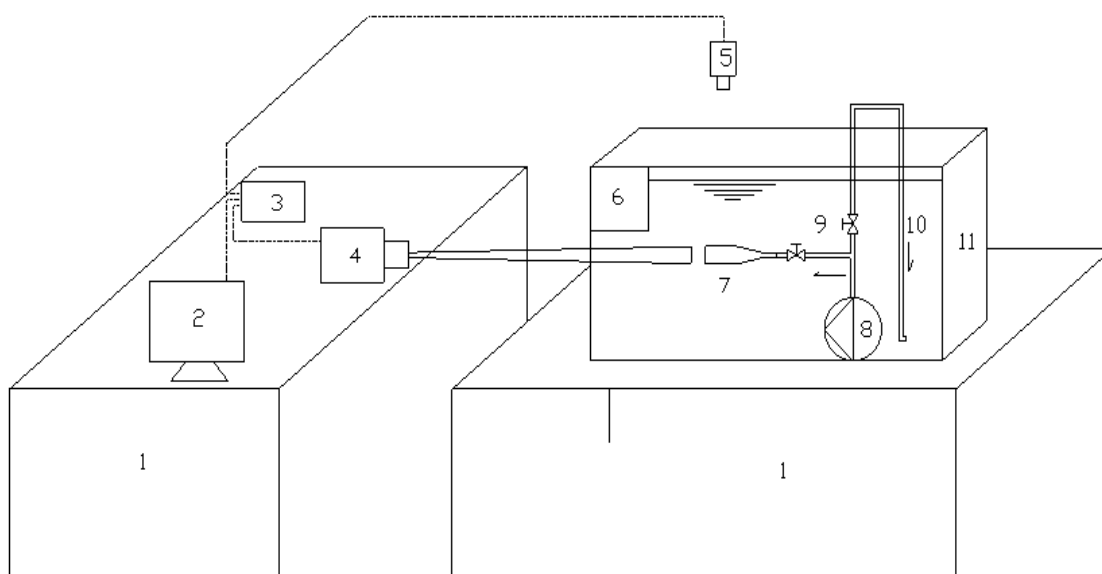
ภาพประกอบ 53 สารไทเทเนียมไดออกไซด์

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ [1] การติดตั้งระบบและอุปกรณ์การทดสอบ [2] เงื่อนไขของการทดสอบ [3] ขั้นตอนการทดสอบ

1. การติดตั้งระบบและอุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับอุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้น โดยตลอดการทดสอบต้องการระยะความห่างในการถ่ายภาพและยิงลำแสง ดังนั้นจึงต้องติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบให้มีค่าคงที่เพื่อรักษาระดับระยะไม่ให้เคลื่อนที่



ภาพประกอบ 54 แผนภาพระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. โต๊ะวางอุปกรณ์ทดสอบ
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผล
3. ชุด Synchronizer
4. ชุดกำเนิดลำแสงเลเซอร์
5. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
6. อุปกรณ์วัดความดัน (U-Tube Monometer)
7. ไบคริปของดิฟฟิวเซอร์
8. เครื่องสูบน้ำ
9. วาล์วควบคุมน้ำป้อนเข้า
10. ท่อส่งน้ำเข้าและออกระบบ
11. ตู้กระจกเก็บน้ำ

2. เงื่อนไขการทดสอบ

การไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องไบคริปโดยมีข้อกำหนดการทดสอบให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่เหมือนกันเพื่อให้มีขอบเขตที่ชัดเจนดังรายละเอียดที่กล่าวต่อไปนี้

2.1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าของไบคริปที่เท่ากัน

2.2 สภาวะอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าเริ่มต้นที่เท่ากันคือ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อ นาที

2.3 ไบคริปที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 5 มุมคือ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา

3. ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องไบคริปของดิฟฟิวเซอร์เพื่อให้การทดสอบได้ค่าที่ถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนจากสภาวะอัตราการไหลของน้ำน้อยที่สุดจึงได้ทดสอบถึงความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ และสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าซึ่งการไหลของน้ำเป็นการไหลโดยใช้เครื่องสูบน้ำช่วยในขณะที่ไบคริปทำงานและอีกทั้งเป็นการทดสอบระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าเพื่อไม่ให้ค่ามีการเปลี่ยนแปลงขณะทำการทดสอบ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่ามีความคลาดเคลื่อนที่น้อยมากไม่ถึง 3 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 55 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

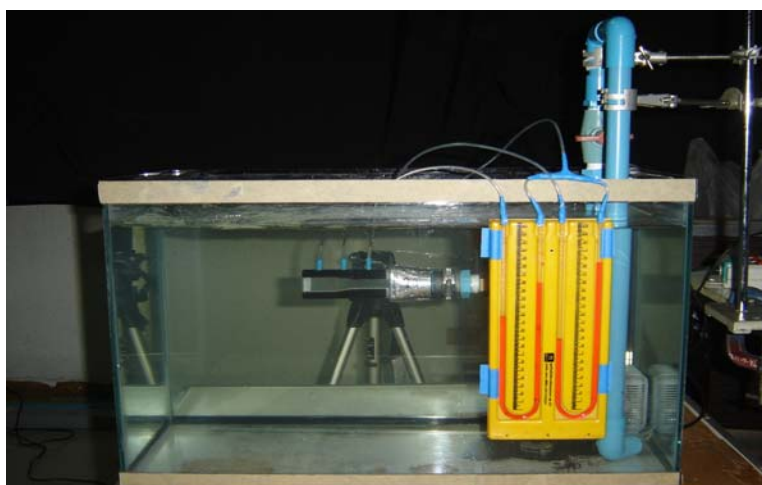
การทดสอบการไหลของน้ำที่ไหลผ่านที่ช่องใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ซึ่งมีหัวข้อการวัดค่าดังรายละเอียดนำเสนอต่อไปนี้

3.1 วัดความดันของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบบ

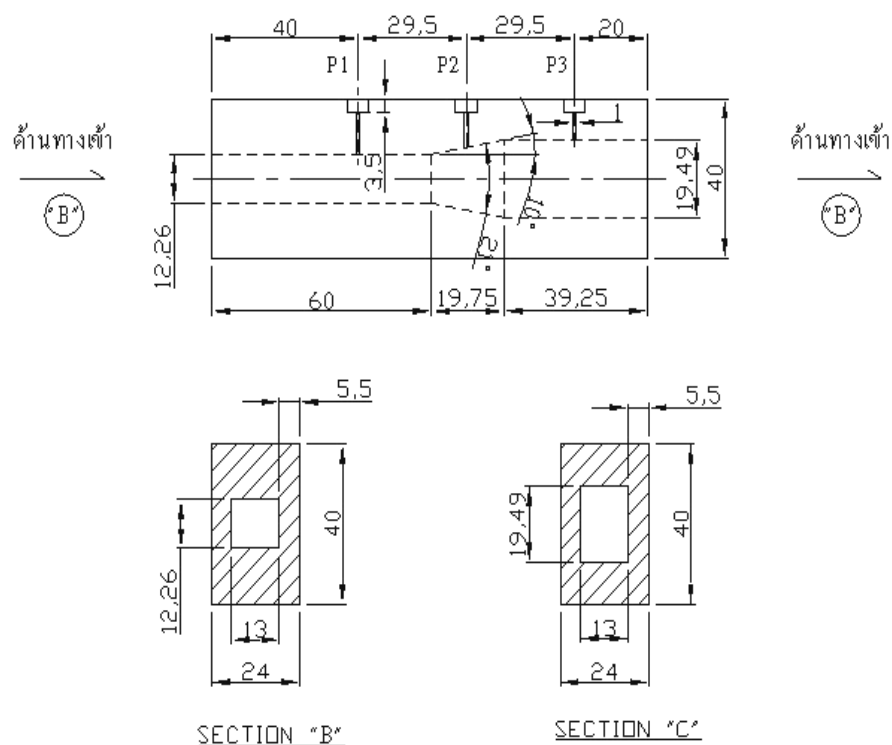
3.2 วัดการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

3.1 วัดความดันของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบบ

การวัดความดันที่ทางเข้าและทางออกของใบครีบบซึ่งกำหนดเลือกใช้เครื่องมือวัดชนิด U-Tube Monometer ซึ่งตำแหน่งของการวัดจะทำการเจาะรูขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร โดยแบ่งตำแหน่งของจุดวัดออกเป็น 3 จุด ซึ่งมีระยะความห่างต่อจุดวัดจากด้านทางเข้าถึงจุดวัดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 40 มิลลิเมตร จากจุดที่ 1 ถึง 2 มีค่าเท่ากับ 29.5 มิลลิเมตร และจุดที่ 2 ถึง 3 มีค่าเท่ากับ 29.5 มิลลิเมตร ตามลำดับดังแสดงในภาพประกอบ 57



ภาพประกอบ 56 การติดตั้งอุปกรณ์และการวัดความดันของของไหล



ภาพประกอบ 57 แสดงตำแหน่งของจุดวัดความดัน

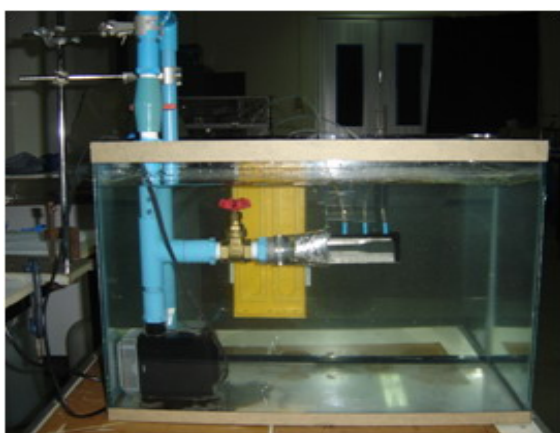
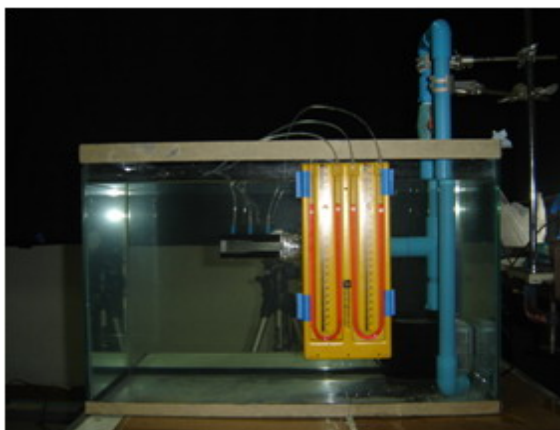
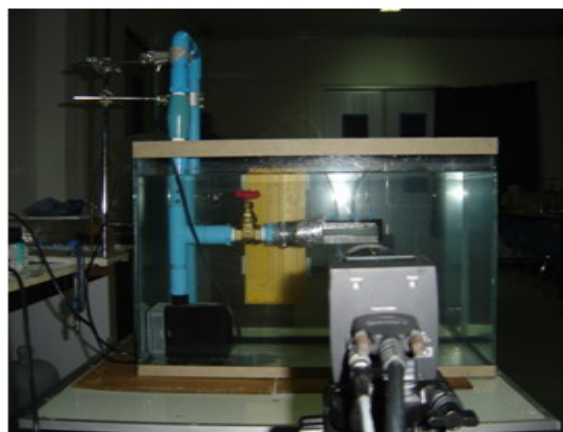
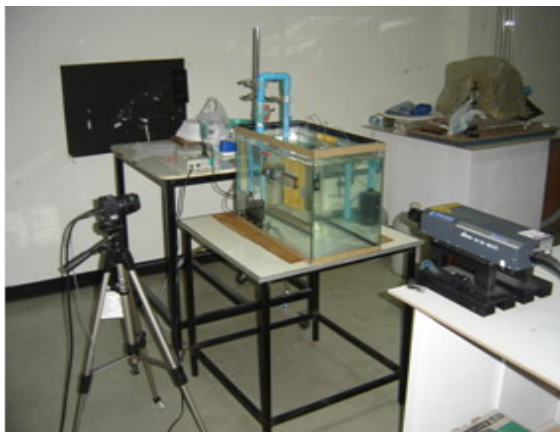
3.2 วัดการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหล โดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

โดยศึกษาการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบที่มีลักษณะของพื้นที่หน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) มาวิเคราะห์พารามิเตอร์เพื่อดูผลกระทบที่มีต่อการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานและการแยกชั้นการไหล ในการทดสอบได้ใช้สารไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาด 3 ไมครอน ผสมกับของเหลวเพื่อเป็นอนุภาคติดตามการไหล



ภาพประกอบ 58 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิค
วิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

ตำแหน่งการวัดการไหลของน้ำก่อนการทดสอบทำการถ่ายภาพการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบโดยมีจำนวนคู่เฟรมค่าการยิงลำแสงเลเซอร์ที่ต่างกัน โดยค่า Sequence Setup เริ่ม Start Number ที่ 0 ถึง Number of Captures ที่ 15, 20, 25, 30 และ 35 เฟรม เพื่อต้องการตรวจหาค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดซึ่งผลที่ออกมามีความแตกต่างกันไม่ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าการถ่ายภาพอนุภาคการไหลของน้ำที่ 25 เฟรม จึงมีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้

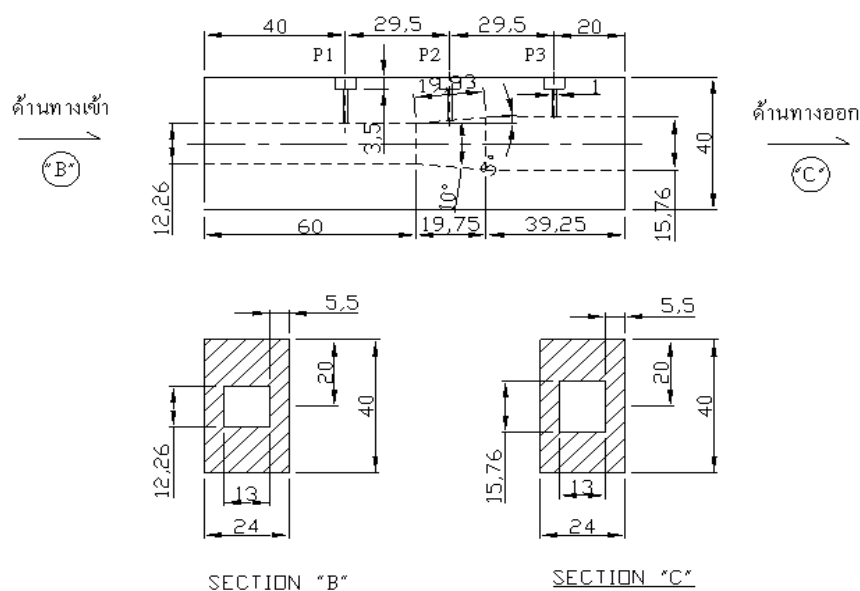


ภาพประกอบ 59 การทดสอบดีฟิวเซอร์โดยใช้เงื่อนไขของน้ำ

ผลการทดสอบ

1. ผลการศึกษาการวัดความดันของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีป

1.1 ผลการทดสอบมุมใบครีปของดิฟฟิวเซอร์ที่มุม 10 องศา

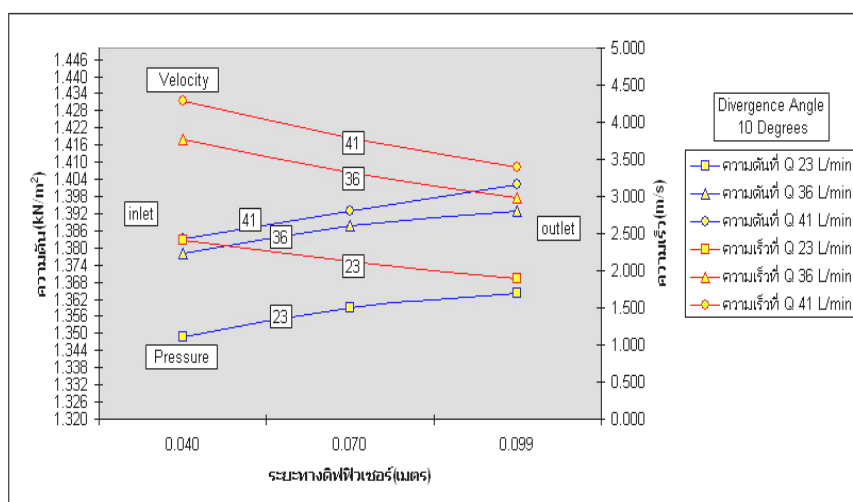


ภาพประกอบ 60 รายละเอียดมุมใบครีปของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา

ตาราง 2 ผลการทดสอบมุมใบครีปของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา

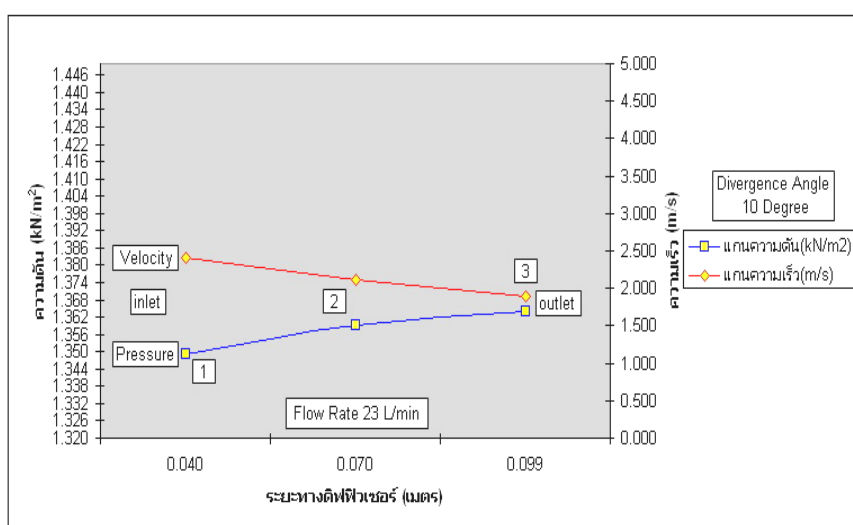
มุมใบครีป (องศา)	อัตราการไหล (L/min)	ความเร็วต่อจุด (m/s)			ความดันที่จุดเทียบกับ ความดันบรรยากาศ (cmH ₂ O)			ความดันที่จุด (kN/m ²)		
		p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3
10	23	2.41	2.12	1.90	13.80	13.90	13.95	1.349	1.359	1.364
	36	3.77	3.33	2.98	14.10	14.20	14.25	1.378	1.388	1.393
	41	4.29	3.79	3.39	14.15	14.25	14.34	1.383	1.393	1.402

การทดสอบมุมใบครีปของดิฟฟิวเซอร์นั้นได้แบ่งสภาวะอัตราการไหลของน้ำออกเป็น 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับ ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่าที่สภาวะอัตราการไหลของน้ำที่มากขึ้นจะทำให้ความดันของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีปมีค่าเพิ่มขึ้นตามและเมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์จะเห็นได้ถึงแนวโน้มของเส้นความเร็วกับเส้นความดันมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งได้ผลแสดงดังในภาพประกอบ 62, 63 และ 64



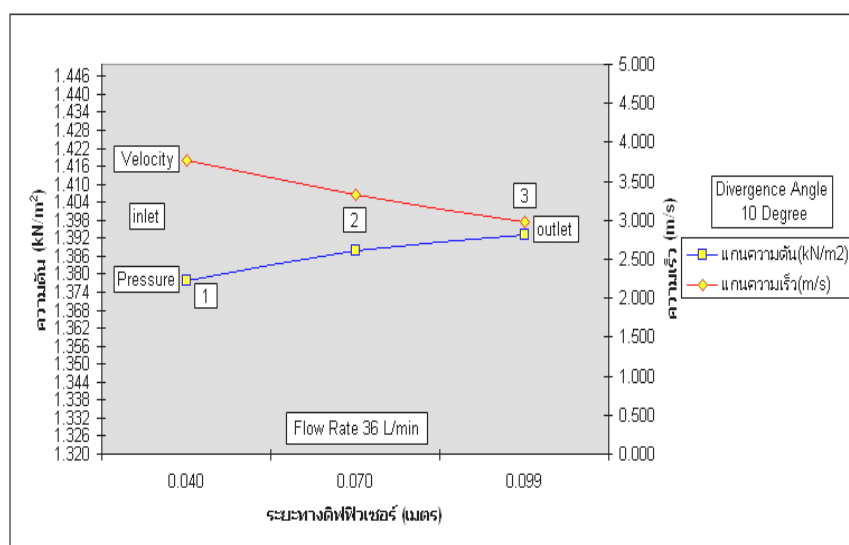
ภาพประกอบ 61 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที แสดงดังในภาพประกอบ 62 ซึ่งเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเส้นความเร็วกับเส้นความดันเป็นไปในลักษณะทิศทางของเส้นที่ลู่เข้าเสมือนรูปทรงกรวยและเป็นเส้นคู่ขนานไปตามแนวแกนของระยะการไหลถึงปลายทางออกของไบคริป ซึ่งความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 2.41 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 1.90 เมตรต่อวินาที ความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.349 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.364 kN/m^2 (เพิ่มขึ้น 0.015 kN/m^2 หรือ 1.09 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



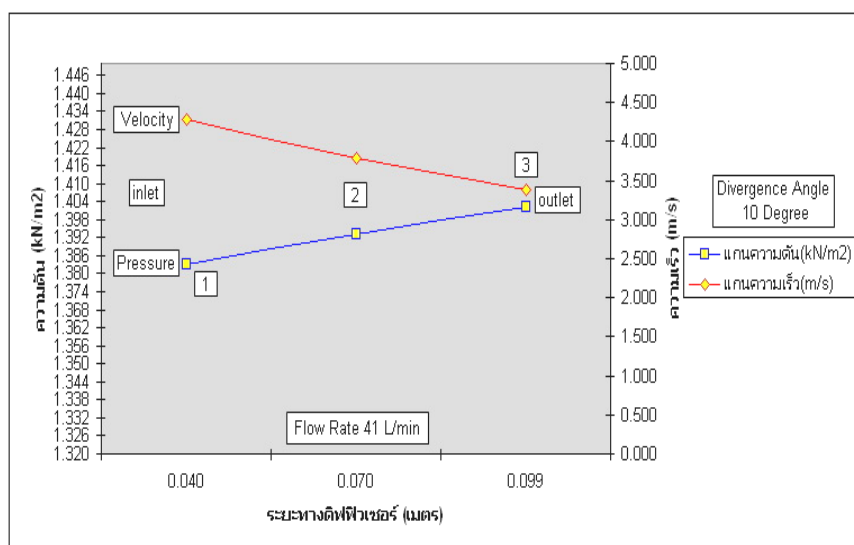
ภาพประกอบ 62 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 63 ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที ซึ่งผลแสดงดังในภาพประกอบ 61 ก็คือความดันที่เกิดขึ้นในช่วงของการขยายตัวมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งการเพิ่มขึ้นของความดันมีลักษณะของกราฟที่เป็นเส้นโค้งโดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.378 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.393 kN/m^2 (หรือเพิ่มขึ้น 0.015 kN/m^2) ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 3.77 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.98 เมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับความดันที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที พบว่าความดันที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าที่เท่ากัน



ภาพประกอบ 63 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที

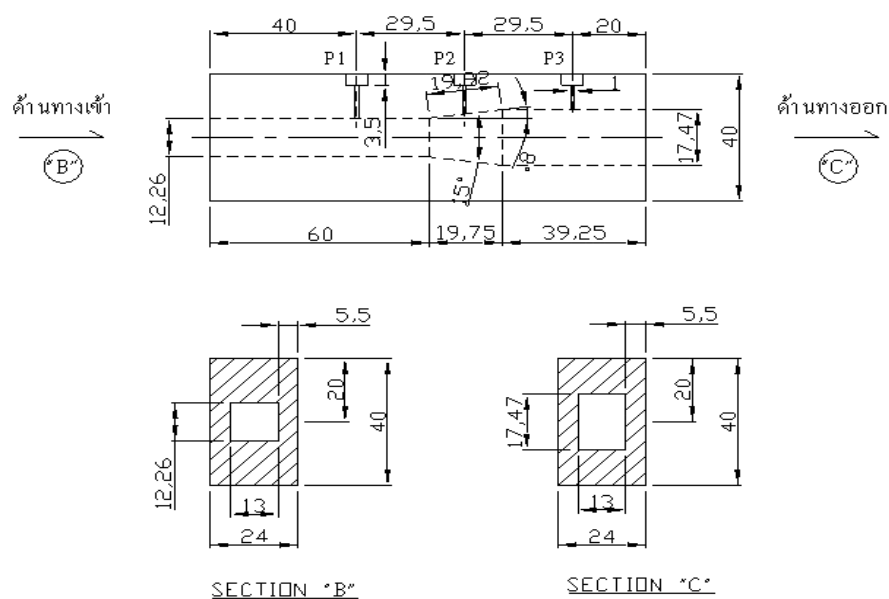
เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 64 ซึ่งเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความดันมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับการเพิ่มขึ้นของความดันที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที ผลแสดงดังในภาพประกอบ 61 แต่การเพิ่มของความดันมีลักษณะของกราฟที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันขึ้นตลอดจนถึงปลายทางออก โดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.383 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.402 kN/m^2 (หรือเพิ่มขึ้น 0.019 kN/m^2) ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 4.29 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 3.39 เมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับความดันที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 และ 36 ลิตรต่อนาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันมีค่าที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก



ภาพประกอบ 64 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 10 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที

จากผลการทดสอบมุมไบคริปของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที ซึ่งเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความดันมีค่าที่แคบๆ ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากมุมไบคริปมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดช่วงการขยายตัวที่แคบและระยะทางการไหลที่ยาวซึ่งมีผลทำให้เกิดการสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานขณะที่ไหลผ่านช่องไบคริป

1.2 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 15 องศา

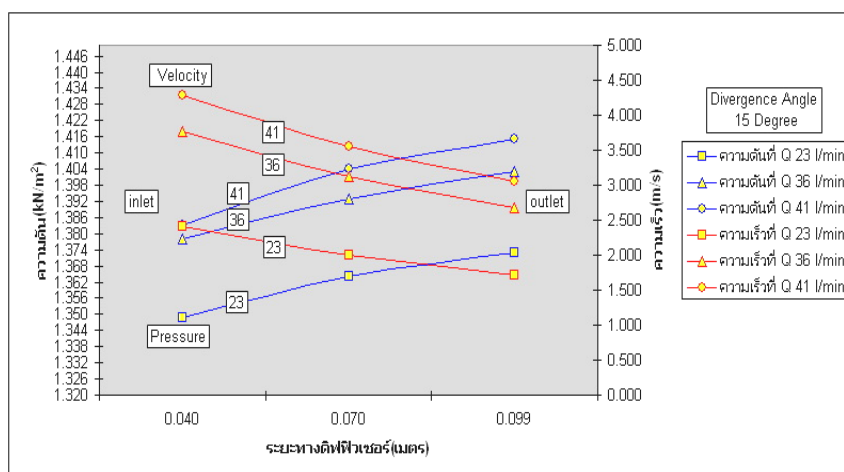


ภาพประกอบ 65 รายละเอียดมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 15 องศา

ตาราง 3 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 15 องศา

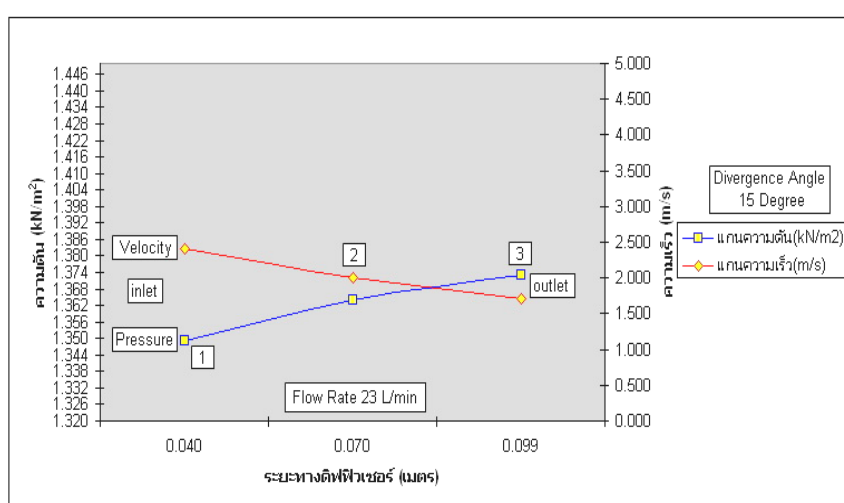
มุมไบครีบ (องศา)	อัตราการไหล (L/min)	ความเร็วต่อจุด (m/s)			ความดันที่จุดเทียบกับ ความดันบรรยากาศ (cmH ₂ O)			ความดันที่จุด (kN/m ²)		
		p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3
15	23	2.41	2.00	1.71	13.80	13.95	14.05	1.349	1.364	1.373
	36	3.77	3.13	2.68	14.10	14.25	14.35	1.378	1.393	1.403
	41	4.29	3.65	3.05	14.15	14.36	14.47	1.383	1.404	1.415

การทดสอบนี้ได้ใช้มุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 15 องศา โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามีค่าเท่ากับ 12.26 x 13 มิลลิเมตร และทางออกมีค่าเท่ากับ 17.47 x 13 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของไบครีบแสดงดังในภาพประกอบ 65 และการทดสอบจะเริ่มจากสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดด้านทางออกของไบครีบแต่ยังคงพื้นที่หน้าตัดด้านทางเข้าที่เท่าเดิม (ซึ่งเท่ากับพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา) ผลการทดสอบมุมไบครีบแต่ละกรณีดังแสดงในตาราง 3



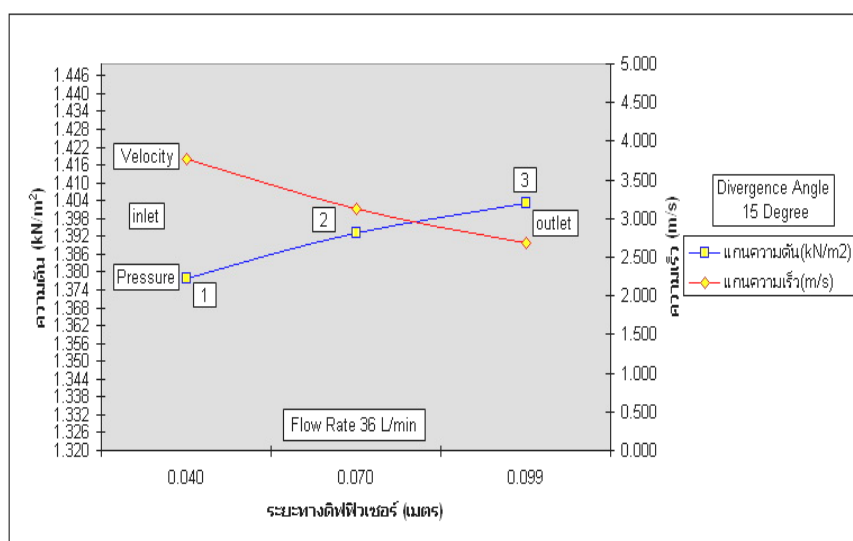
ภาพประกอบ 66 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 67 และจากภาพกราฟความสัมพันธ์ซึ่งเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเส้นความเร็วมีค่าที่ลดลงส่วนเส้นความดันมีค่าที่เพิ่มขึ้นโดยเป็นไปในลักษณะทิศทางของเส้นที่ลู่ออกคล้ายรูปกราฟทรงพาราโบลาช่วงระยะทางตามแนวแกนที่ 0.075 - 0.080 เมตร และเส้นกราฟทั้งสองมีการบานออกตามมุมลู่ออกของไบคริปตลอดถึงปลายทางออก ซึ่งความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 2.14 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 1.71 เมตรต่อวินาที ความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.349 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.373 kN/m^2 (เพิ่มขึ้น 0.024 kN/m^2 หรือ 1.74 เปอร์เซ็นต์)



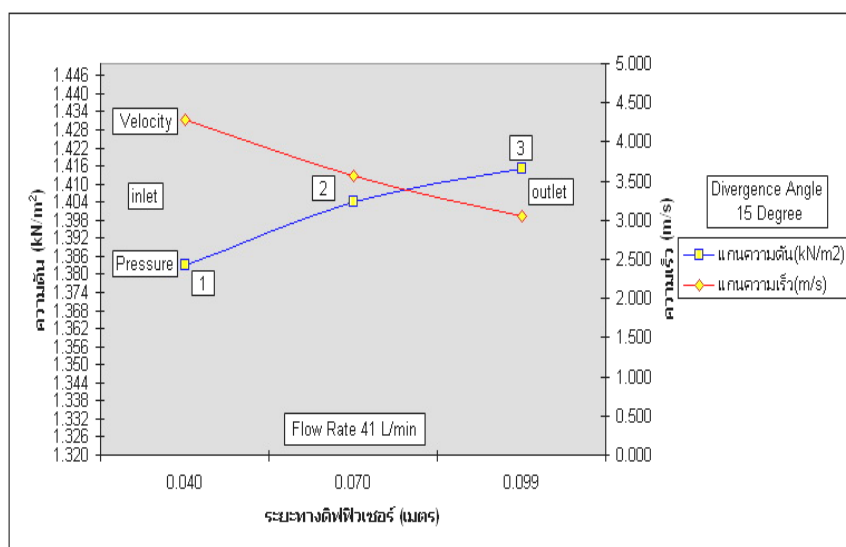
ภาพประกอบ 67 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 68 ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดแสดงผลดังในภาพประกอบ 66 ซึ่งเห็นได้ว่าการไหลที่สภาวะของอัตราการไหลที่มากขึ้นจะทำให้ความดันของน้ำที่ไหลผ่านช่องไบคริปมีค่าเพิ่มขึ้นตามและเส้นกราฟของความดันมีทิศทางเป็นเส้นตรงที่มีความชันขึ้น โดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.378 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.403 kN/m^2 (หรือเพิ่มขึ้น 0.025 kN/m^2) ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 3.77 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.68 เมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับความดันสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที พบว่าความดันที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก



ภาพประกอบ 68 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที

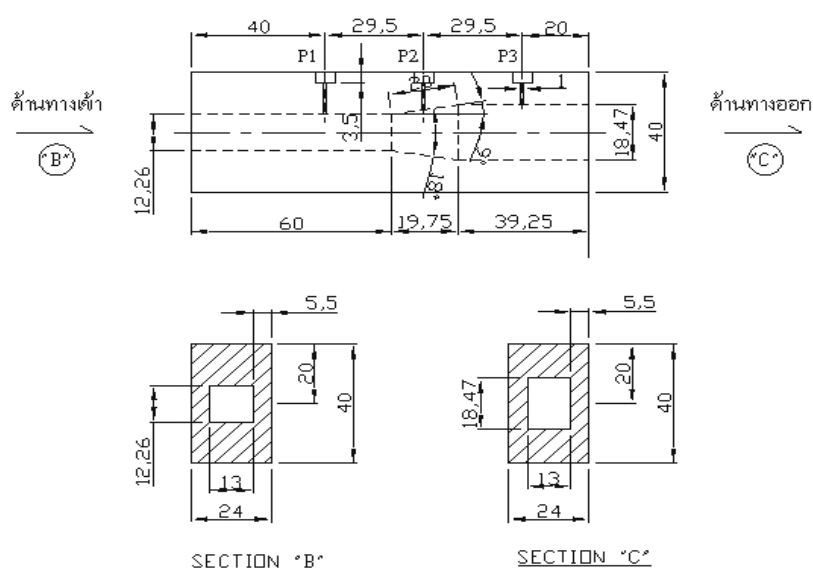
เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 68 ลักษณะของเส้นความเร็วกับเส้นความดันยังคงเหมือนกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที แต่ระยะทางของจุดตัดระหว่างเส้นความเร็วกับเส้นความดันขยับเข้าใกล้บริเวณจุดช่วงการขยายตัวมากขึ้นโดยผลแสดงดังในภาพประกอบ 66 ซึ่งเห็นได้ว่าความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องไบคริปมีค่าลดลง โดยความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 4.29 เมตรต่อวินาที ความเร็วทางออกมีค่าที่ 3.05 เมตรต่อวินาที (หรือมีค่าลดลง 1.24 เมตรต่อวินาที) และพบว่าความดันมีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที โดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.383 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.415 kN/m^2 (หรือเพิ่มขึ้น 0.032 kN/m^2)



ภาพประกอบ 69 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 15 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที

จากผลการทดสอบมุมไบคริปของดิวไฟเซอร์ที่ 15 องศา เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที ซึ่งเห็นได้ชัดว่าความเร็วของน้ำที่ลดลงและการเพิ่มขึ้นของความดันนั้นทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นโดยมีผลให้การสูญเสียของความดันมีการลดลงจากความเสียหายของความหนืดของไหลซึ่งผลของความดันที่เพิ่มขึ้นนั้นมีค่าที่แคบๆ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบกรณีของมุมไบคริปที่ผ่านมา

1.3 ผลการทดสอบมุมไบคริปของดิวไฟเซอร์ที่ 18 องศา

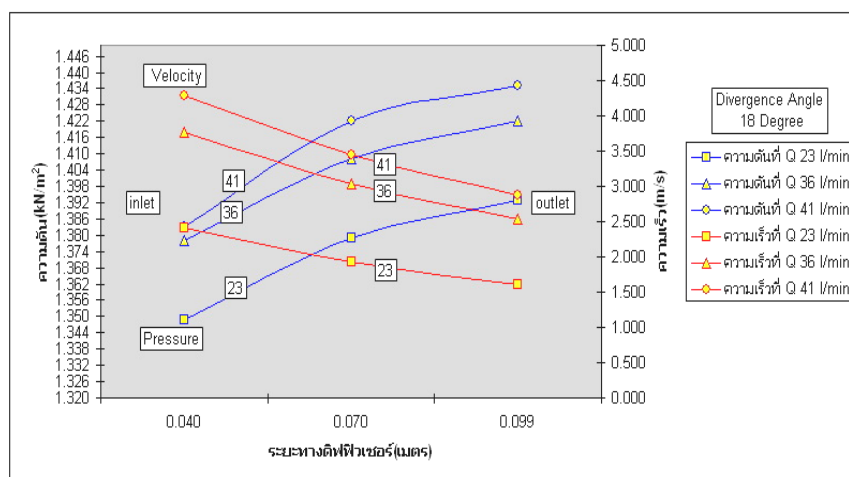


ภาพประกอบ 70 รายละเอียดมุมไบคริปของดิวไฟเซอร์ที่ 18 องศา

ตาราง 4 ผลการทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 18 องศา

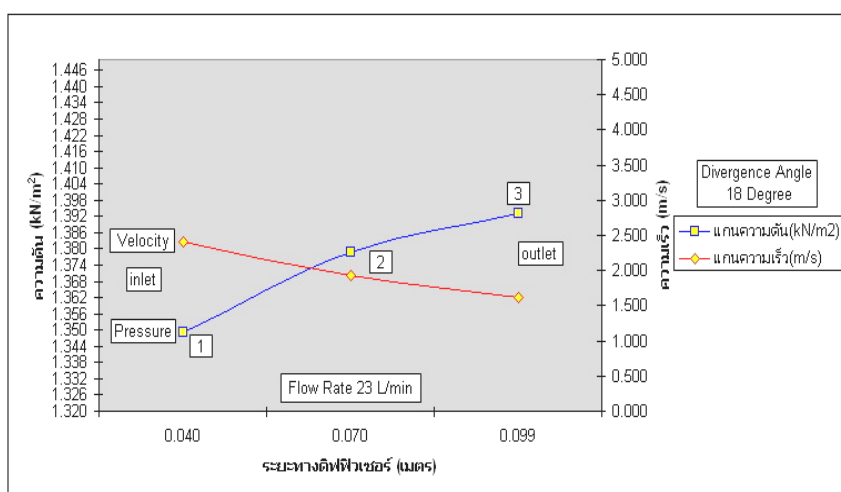
มุมไบครีบ (องศา)	อัตราการไหล (L/min)	ความเร็วต่อจุด (m/s)			ความดันที่จุดเทียบกับ ความดันบรรยากาศ (cmH ₂ O)			ความดันที่จุด (kN/m ²)		
		p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3
18	23	2.41	1.93	1.61	13.80	14.11	14.25	1.349	1.379	1.393
	36	3.77	3.03	2.53	14.10	14.40	14.55	1.378	1.408	1.422
	41	4.29	3.45	2.88	14.15	14.55	14.68	1.383	1.422	1.435

การทดสอบนี้ได้ใช้มุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 18 องศา โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามีค่าเท่ากับ 12.26 x 13 มิลลิเมตร และทางออกมีค่าเท่ากับ 18.47 x 13 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของไบครีบแสดงดังในภาพประกอบ 70 และการทดสอบจะเริ่มจากสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดด้านทางออกของไบครีบแต่ยังคงพื้นที่หน้าตัดด้านทางเข้าที่เท่าเดิม (ซึ่งเท่ากับพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา) ผลการทดสอบมุมไบครีบแต่ละกรณีดังแสดงในตาราง 4



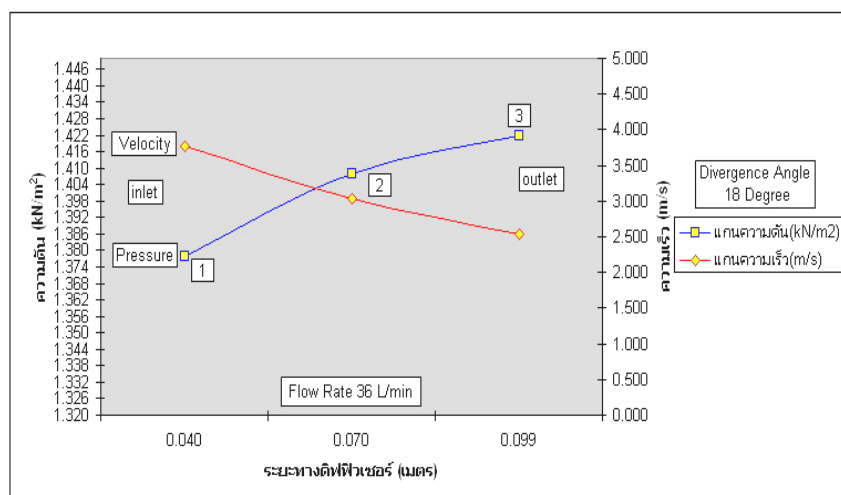
ภาพประกอบ 71 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีบที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 72 จากที่ได้ขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดด้านทางออกและทดสอบใบครีบบน ซึ่งเห็นได้ว่าการทำงานของใบครีบบนมีค่าที่เพิ่มขึ้นผลดังแสดงในตารางที่ 4 โดยเป็นการบ่งบอกให้เห็นถึงความสามารถของการขยายตัวของน้ำซึ่งเส้นกราฟทั้งสองมีลักษณะของการบานออกที่กว้างขึ้น ณ จุดเริ่มต้นของการขยายตัวของใบครีบบนช่วงระยะทางที่ 0.060 เมตร ซึ่งความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 2.41 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 1.61 เมตรต่อวินาที ความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.349 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.393 kN/m^2 (เพิ่มขึ้น 0.044 kN/m^2 หรือ 3.15 เปอร์เซ็นต์)



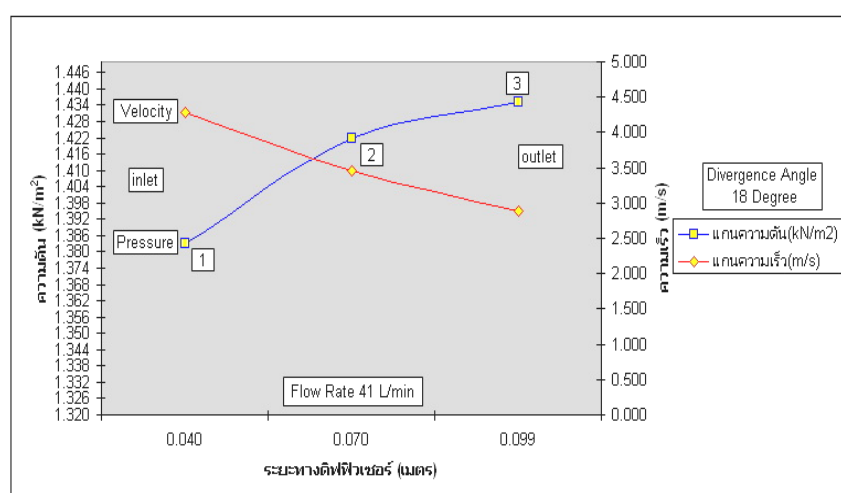
ภาพประกอบ 72 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบบนที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 73 ซึ่งเห็นได้ว่าความดันจากการไหลของน้ำยังคงมีค่าที่เพิ่มขึ้นต่อ ผลดังแสดงในตารางที่ 4 และลักษณะของเส้นความเร็วกับเส้นความดันยังคงเหมือนกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที ซึ่งเส้นกราฟทั้งสองมีลักษณะของการบานออกที่เป็นเส้นโค้งโดยคาดได้ว่าแนวโน้มการไหลของน้ำน่าจะมีระยะเส้นทางไหลที่สั้นลงซึ่งความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 3.77 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.53 เมตรต่อวินาที ซึ่งเห็นได้ชัดว่าความเร็วมีการลดลงค่อนข้างมาก ส่วนความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.378 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.422 kN/m^2 (หรือเพิ่มขึ้น 0.044 kN/m^2)



ภาพประกอบ 73 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที

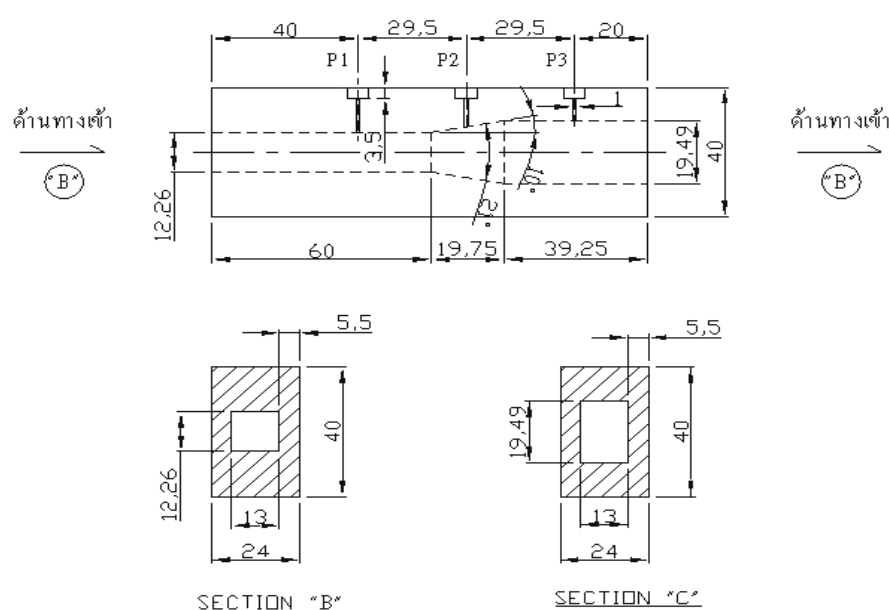
เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 74 ซึ่งเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความดันนั้นเส้นกราฟมีลักษณะที่แตกต่างจากการทดสอบสภาวะอัตราการไหลของน้ำกรณีที่ผ่านมาคือ เมื่อน้ำไหลผ่านระยะช่วงแนวแกนที่ 0.070 เมตร ความดันมีลักษณะเป็นลูกคลื่นขึ้นลงแสดงดังในภาพประกอบ 71 แต่ความดันยังคงมีค่าที่สูงกว่าสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 และ 36 ลิตรต่อนาที โดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.383 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.435 kN/m^2 (เพิ่มขึ้น 0.052 kN/m^2 หรือ 3.62 เปอร์เซ็นต์) ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 4.29 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.88 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 74 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบครีที่ 18 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที

จากผลการทดสอบมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 18 องศา เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที ซึ่งเห็นได้ว่าความดันมีการเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงโดยเส้นกราฟทั้งสองมีลักษณะของการขยายบานออกที่เป็นเส้นโค้งและยังคาดได้ว่าแนวโน้มการไหลของน้ำน่าจะมีระยะเส้นทางไหลที่สั้นลงเมื่อเทียบกับการทดสอบกรณีของมุมไบคريبที่ผ่านมาทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากการขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นทำให้ความเสียดทานของความหนืดขณะไหลผ่านไบคريبลดลง

1.4 ผลการทดสอบมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา

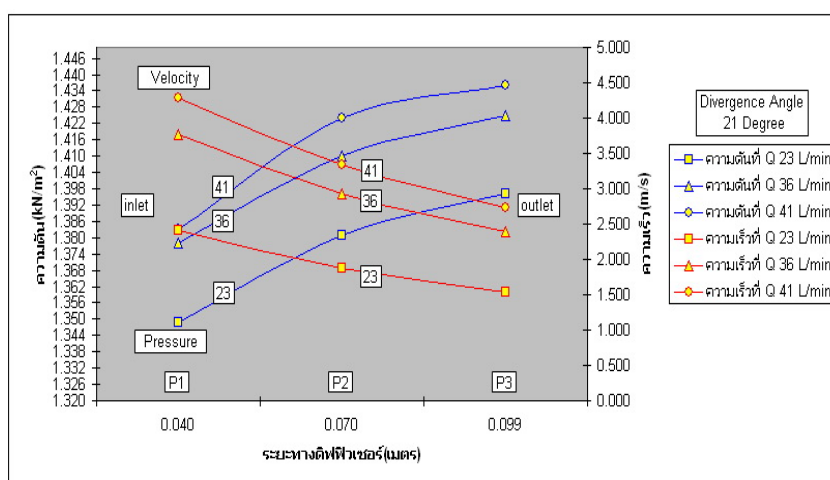


ภาพประกอบ 75 รายละเอียดมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา

ตาราง 5 ผลการทดสอบมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา

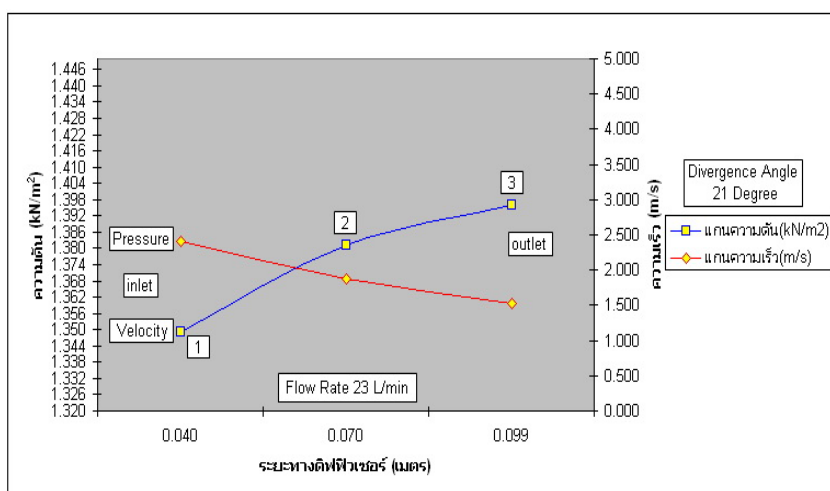
มุมไบคريب (องศา)	อัตราการไหล (L/min)	ความเร็วต่อจุด (m/s)			ความดันที่จุดเทียบกับ ความดันบรรยากาศ (cmH ₂ O)			ความดันที่จุด (kN/m ²)		
		p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3
21	23	2.41	1.87	1.53	13.80	14.19	14.33	1.349	1.388	1.402
	36	3.77	2.93	2.40	14.10	14.44	14.61	1.378	1.413	1.429
	41	4.29	3.34	2.73	14.15	14.58	14.74	1.383	1.426	1.442

การทดสอบนี้ได้ใช้มุมไบศรีของดิวไฟเซอร์ที่ 21 องศา โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามีค่าเท่ากับ 12.26×13 มิลลิเมตร และทางออกมีค่าเท่ากับ 19.49×13 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของไบศรีแสดงดังในภาพประกอบ 75 และการทดสอบจะเริ่มจากสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดด้านทางออกของไบศรีแต่ยังคงพื้นที่หน้าตัดด้านทางเข้าที่เท่าเดิม (ซึ่งเท่ากับพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามุมไบศรีของดิวไฟเซอร์ที่ 10 องศา) ผลการทดสอบมุมไบศรีแต่ละกรณีดังแสดงในตาราง 5



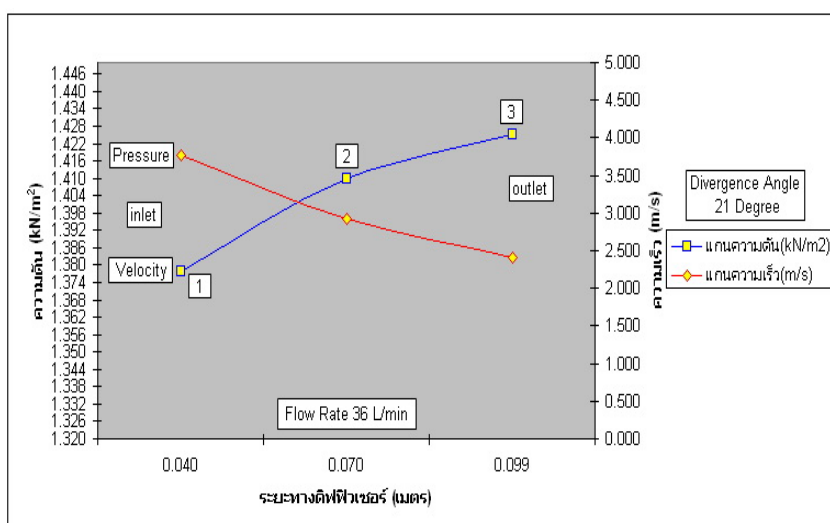
ภาพประกอบ 76 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบศรีที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที แสดงดังในภาพประกอบ 77 ซึ่งเห็นได้ว่าความดันยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นต่อแต่การเพิ่มขึ้นของความดันนั้นเพิ่มขึ้นเป็นไปอย่างแคบๆ ผลดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งการขยายตัวของน้ำนั้นเส้นกราฟทั้งสองมีลักษณะของการขยายบานออกโดยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ทดสอบไบศรีที่ผ่านมาโดยความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 2.41 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 1.53 เมตรต่อวินาที ส่วนความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.349 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.402 kN/m^2 (เพิ่มขึ้น 0.053 kN/m^2 หรือ 3.78 เปอร์เซ็นต์)



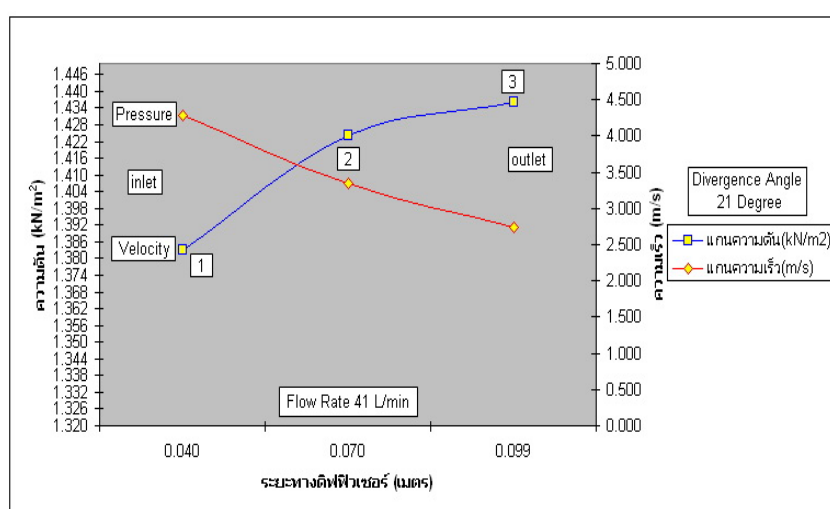
ภาพประกอบ 77 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 78 ซึ่งเห็นได้ว่าถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำแต่ความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องไบคริปก็ยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที และไม่ทำให้ความดันเกิดเพิ่มขึ้นได้แต่เป็นเพียงการพุ่งตัวของความดันให้คงอยู่ได้อย่างนี้ตลอดไปซึ่งผลดังแสดงในตารางที่ 5 โดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.378 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.429 kN/m^2 ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 3.77 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.40 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 78 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที

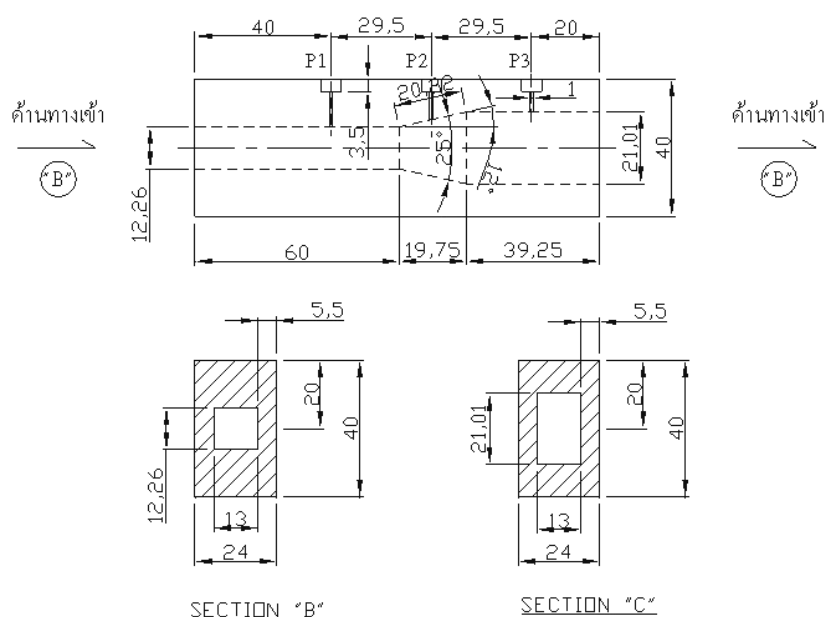
เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 79 และแสดงดังในภาพประกอบ 76 ซึ่งเห็นได้ว่าถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่มากขึ้นแต่ความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องไบคريبก็ยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบสภาวะของอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที และไม่ทำให้ความดันเกิดเพิ่มขึ้นได้แต่เป็นเพียงการพุ่งตัวของความดันให้คงอยู่ได้อย่างนี้ตลอดไปซึ่งผลดังแสดงในตารางที่ 5 โดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.383 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.442 kN/m^2 (หรือเพิ่มขึ้น 0.059 kN/m^2) ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 4.29 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.73 เมตรต่อวินาที ซึ่งความดันมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง



ภาพประกอบ 79 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคريبที่ 21 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที

จากผลการทดสอบมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา ซึ่งเห็นได้ว่าถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่มากขึ้นแต่ความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องไบคريبก็ยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกันคือ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที และไม่ทำให้ความดันเกิดเพิ่มขึ้นได้อีกแต่เป็นเพียงการพุ่งตัวของความดันให้คงอยู่ได้อย่างนี้ตลอดจนถึงปลายทางออกของไบคريب ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดของมุมไบคريبที่การไหลของน้ำนั้นจะสามารถขยายตัวต่อไปได้อีกแม้ว่าจะมีการขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่านี้ก็ไม่เป็นผลดีต่อการทำงานของดิฟฟิวเซอร์

1.5 ผลการทดสอบมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา

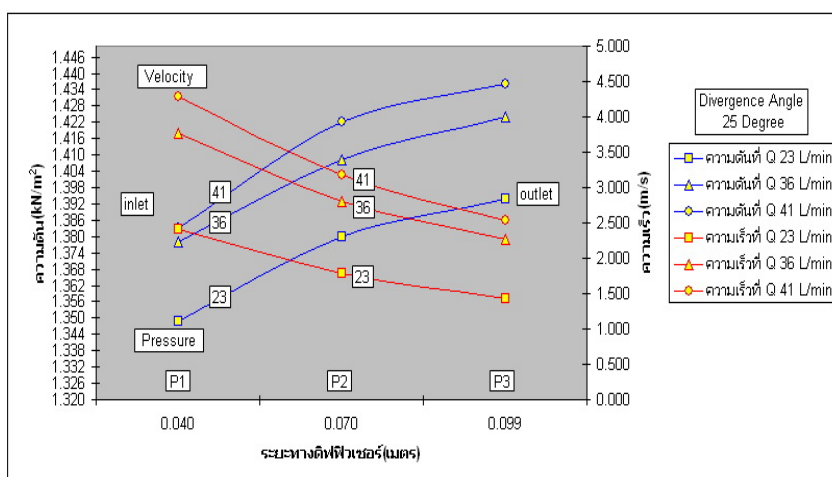


ภาพประกอบ 80 รายละเอียดมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา

ตาราง 6 ผลการทดสอบมุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา

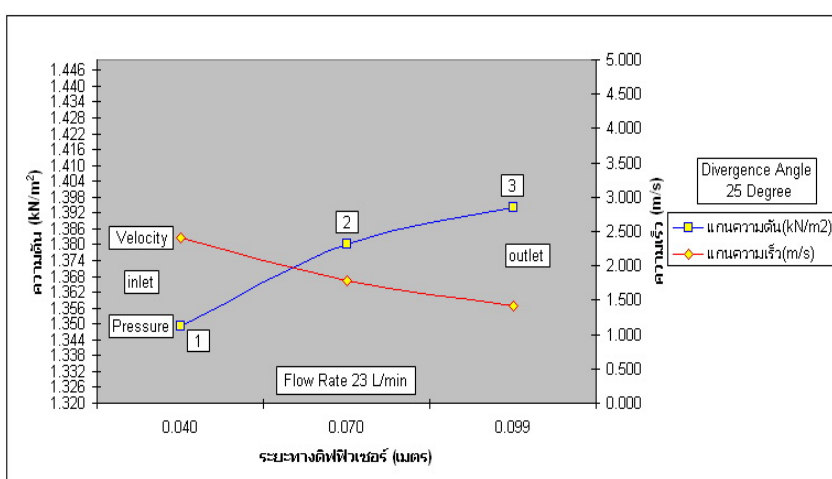
มุมไบคريب (องศา)	อัตราการไหล (L/min)	ความเร็วต่อจุด (m/s)			ความดันที่จุดเทียบกับ ความดันบรรยากาศ (cmH ₂ O)			ความดันที่จุด (kN/m ²)		
		p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3
25	23	2.41	1.78	1.42	13.80	14.13	14.26	1.349	1.382	1.395
	36	3.77	2.80	2.27	14.10	14.40	14.56	1.378	1.409	1.424
	41	4.29	3.18	2.53	14.15	14.55	14.69	1.383	1.423	1.437

การทดสอบนี้ได้ใช้มุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามีค่าเท่ากับ 12.26 x 13 มิลลิเมตร และทางออกมีค่าเท่ากับ 21.01 x 13 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของไบคريبแสดงดังในภาพประกอบ 64 และการทดสอบจะเริ่มจากสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการขยายเพิ่มขนาดของพื้นที่หน้าตัดด้านทางออกของไบคريبแต่ยังคงพื้นที่หน้าตัดด้านทางเข้าที่เท่าเดิม (ซึ่งเท่ากับพื้นที่หน้าตัดทางเข้ามุมไบคريبของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา) ผลการทดสอบมุมไบคريبแต่ละกรณีดังแสดงในตารางที่ 6



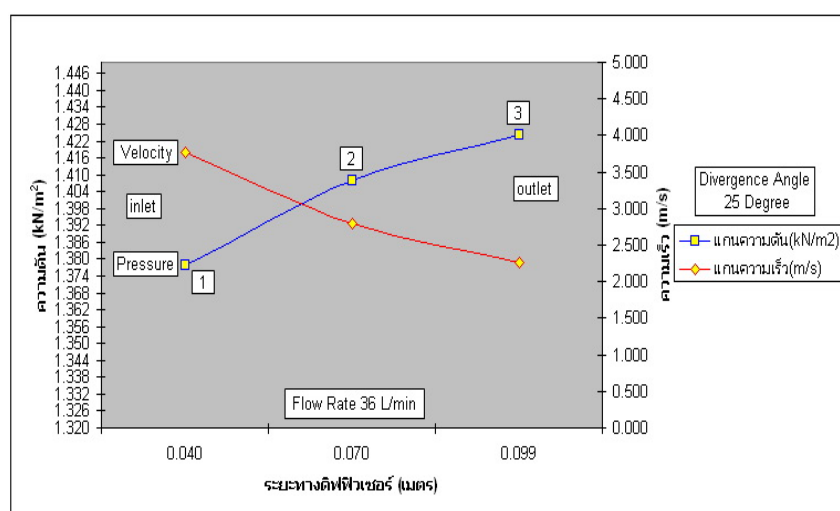
ภาพประกอบ 81 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที แสดงดังในภาพประกอบ 82 ซึ่งเห็นได้ว่าแนวโน้มของความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องไบคริปมีการลดลงโดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.349 kN/m² และทางออกมีค่าที่ 1.395 kN/m² ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 2.41 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 1.42 เมตรต่อวินาที โดยเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที ของมุมไบคริปที่ 21 องศา ที่ทดสอบกรณีที่ผ่านมาซึ่งความดันมีค่าลดลงที่ 0.007 kN/m² หรือ 0.499 เปอร์เซ็นต์ โดยคาดได้ว่าการไหลของน้ำอาจเกิดการแยกชั้นการไหลขึ้นช่วงการขยายตัว



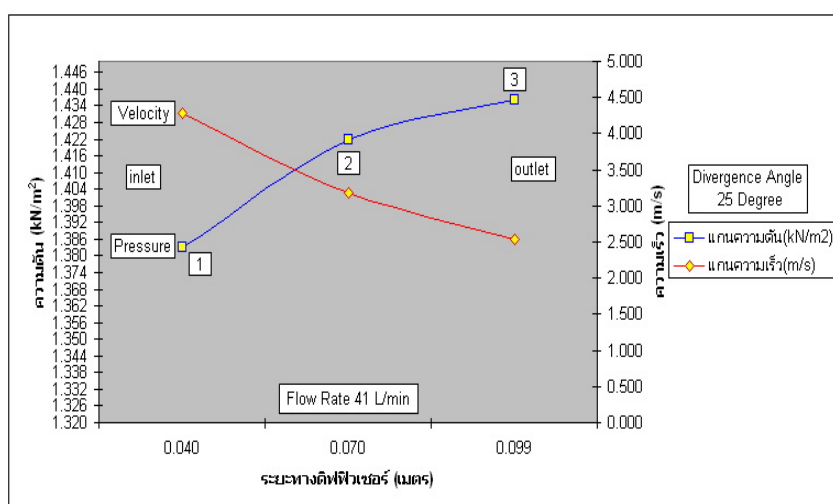
ภาพประกอบ 82 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 83 ซึ่งเห็นได้ว่าถึงจะขยายขนาดของพื้นที่หน้าตัดของใบครีบบและเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่มากขึ้นแต่ความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องใบครีบกียังมีแนวโน้มของการลดลงเช่นเดียวกับการทดสอบของกรณีที่ผ่านมาโดยความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.378 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.424 kN/m^2 ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 3.77 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.27 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 83 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมใบครีบบที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที

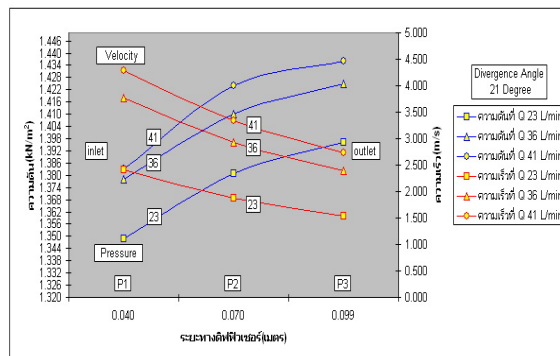
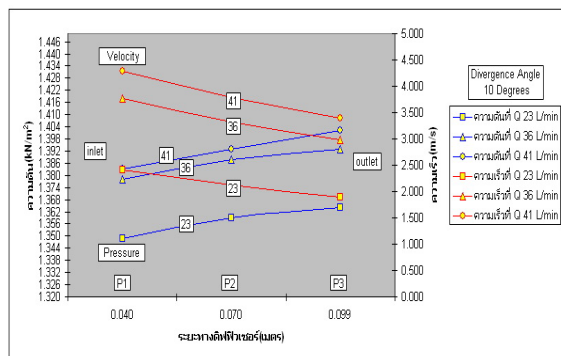
เมื่อพิจารณาที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที แสดงดังในภาพประกอบ 84 ซึ่งเห็นได้ว่าแนวโน้มของความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องใบครีบบมีการลดลงที่คล้ายคลึงกันและคาดได้ว่าการไหลของน้ำอาจเกิดการแยกชั้นการไหลขึ้นในช่วงการขยายตัวถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำและพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นก็ไม่มีผลที่จะทำให้ความดันมีค่าเพิ่มขึ้นได้ซึ่งความดันทางเข้ามีค่าที่ 1.383 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.437 kN/m^2 ความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 4.29 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.53 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 84 ความสัมพันธ์ของเส้นความเร็วกับเส้นความดันของมุมไบคริปที่ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที

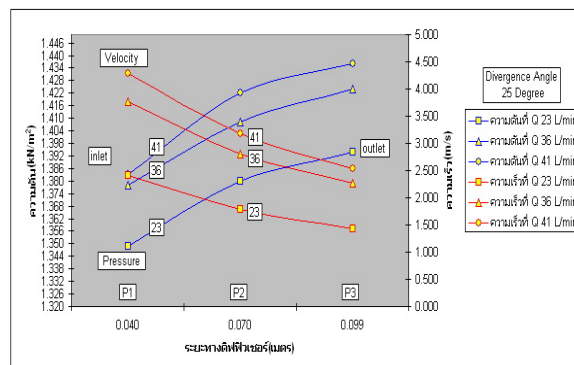
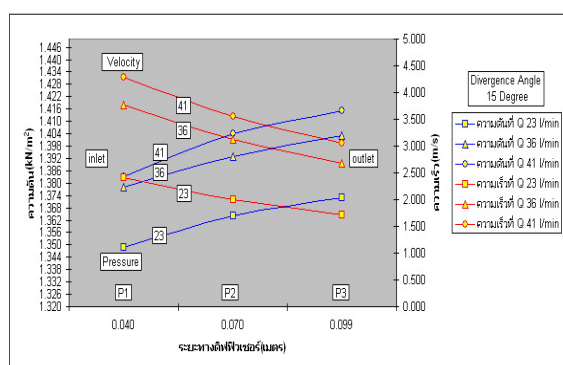
จากผลการทดสอบมุมไบคริปของดิฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที ซึ่งเห็นได้ว่าแนวโน้มของความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องไบคริปมีการลดลงที่คล้ายคลึงกันและคาดได้ว่าการไหลของน้ำอาจเกิดการแยกชั้นการไหลขึ้นในช่วงการขยายตัวถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำและพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นก็ไม่มีผลที่จะทำให้ความดันมีค่าเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการขยายเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นจนเกินจุดสูงสุดที่การไหลของน้ำนั้นจะสามารถขยายตัวออกด้านข้างได้จึงทำให้ความเร็วและความดันมีการลดลงซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการทำงานของดิฟฟิวเซอร์ถ้าจะนำค่ามุมไบคริปดังกล่าวไปใช้งาน

ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วกับค่าความดันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำ
ที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที



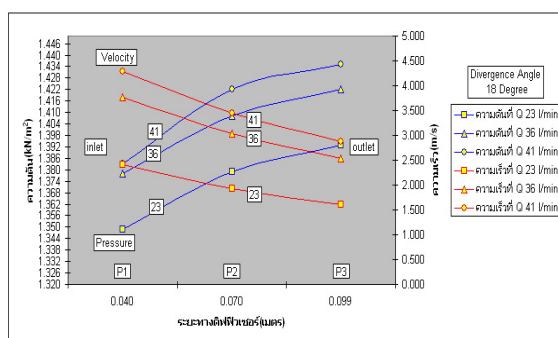
มุมไบศรีของดิวไฟเซอร์ที่ 10 องศา

มุมไบศรีของดิวไฟเซอร์ที่ 21 องศา



มุมไบศรีของดิวไฟเซอร์ที่ 15 องศา

มุมไบศรีของดิวไฟเซอร์ที่ 25 องศา

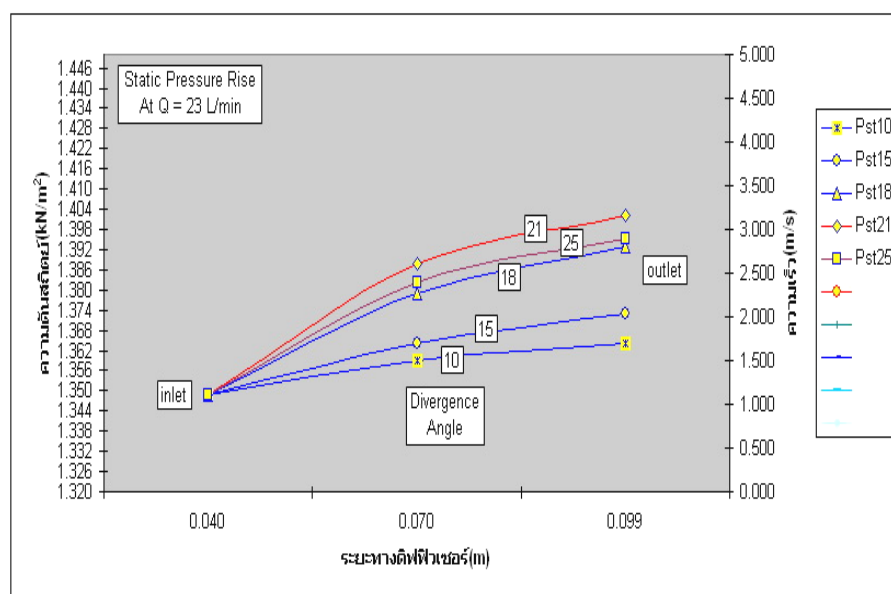


มุมไบศรีของดิวไฟเซอร์ที่ 18 องศา

ภาพประกอบ 85 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วกับค่าความดันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหล
ของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที

ตาราง 7 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของมุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที

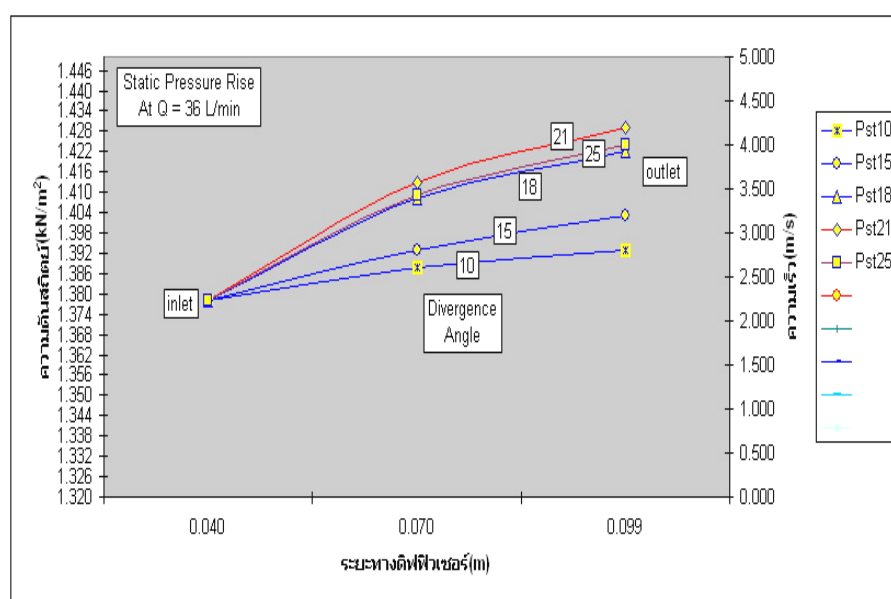
ตำแหน่งจุดวัดค่าความดัน	มุมไบครีปของดิวไฟเซอร์ที่ (องศา)				
	10	15	18	21	25
p1	1.349	1.349	1.349	1.349	1.349
p2	1.359	1.364	1.379	1.388	1.382
p3	1.364	1.373	1.393	1.402	1.395



ภาพประกอบ 86 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของมุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที

ตาราง 8 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของมุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที

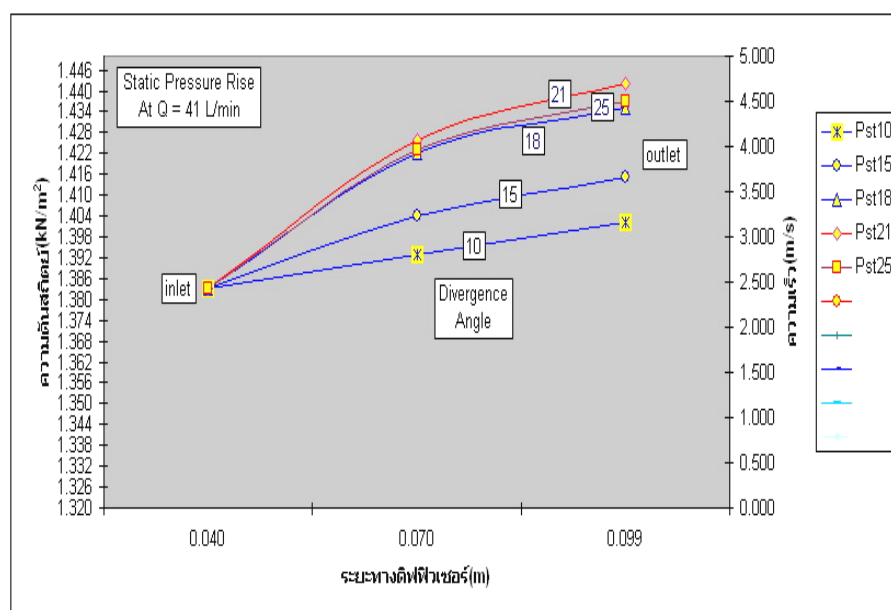
ตำแหน่งจุดวัดค่าความดัน	มุมไบครีปของดีฟฟิวเซอร์ที่ (องศา)				
	10	15	18	21	25
p1	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378
p2	1.388	1.393	1.408	1.413	1.409
p3	1.393	1.403	1.422	1.429	1.424



ภาพประกอบ 87 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของมุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที

ตาราง 9 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของมุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที

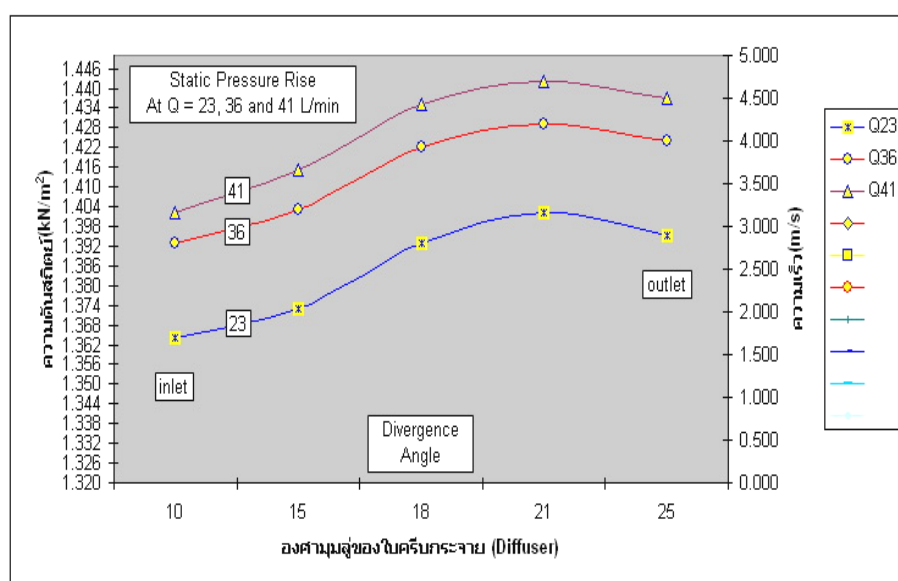
ตำแหน่งจุดวัดค่าความดัน	มุมไบครีปของดิวไฟเซอร์ที่ (องศา)				
	10	15	18	21	25
p1	1.383	1.383	1.383	1.383	1.383
p2	1.393	1.404	1.422	1.426	1.423
p3	1.402	1.415	1.435	1.442	1.437



ภาพประกอบ 88 ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความดัน (Static Pressure Rise) ของมุมไบครีปที่ต่างกันเมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที

ตาราง 10 ผลการเปรียบเทียบค่าความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบคริปที่มีขนาดต่างกัน

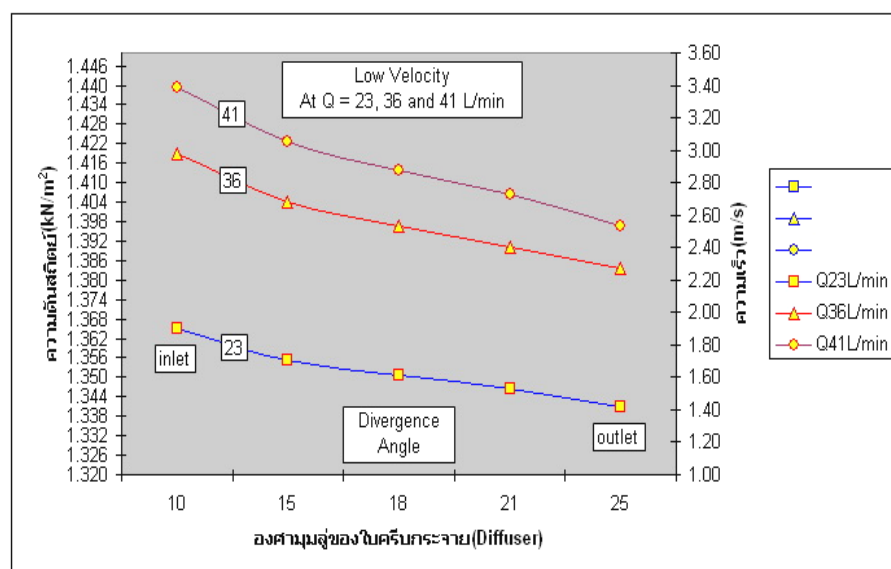
สภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ (L/min)	มุมไบคริปของดิฟฟิวเซอร์ที่ (องศา)				
	10	15	18	21	25
Q 23 L/min	1.364	1.373	1.393	1.402	1.395
Q 36 L/min	1.393	1.393	1.422	1.429	1.424
Q 41 L/min	1.402	1.415	1.435	1.442	1.437



ภาพประกอบ 89 ผลการเปรียบเทียบค่าความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบคริปที่มีขนาดต่างกัน

ตาราง 11 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ลดลงเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบศรีที่มีขนาดต่างกัน

สภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ (L/min)	ไบศรีกระจาย (Diffuser) ที่มุมลู่อิง (องศา)				
	10	15	18	21	25
Q 23 L/min	1.90	1.71	1.61	1.53	1.42
Q 36 L/min	2.98	2.68	2.53	2.40	2.27
Q 41 L/min	3.39	3.05	2.88	2.73	2.53



ภาพประกอบ 90 ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ลดลงเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบศรีที่มีขนาดต่างกัน

ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบมุมไบศรีของดีฟิวเซอร์ที่ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา โดยทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที แสดงดังในภาพประกอบ 86, 87 และ 88 และจากภาพประกอบ 86, 87 และ 88 ที่ได้ทำการทดสอบซึ่งมีข้อกำหนดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่เหมือนกัน คือขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าและสภาวะอัตราการไหลของน้ำเริ่มต้นที่เท่ากัน พบว่าทุกสภาวะอัตราการไหลของน้ำจะแปรผันกับพื้นที่หน้าตัดของมุมไบศรีซึ่งลักษณะของกราฟมีแนวโน้มที่เหมือนกันคือมีการเพิ่มขึ้นของความดันและการลดลงของความเร็วขณะไหลผ่านช่องไบศรี เมื่อขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดของมุมไบศรีเพิ่มขึ้นเส้นความเร็วกับเส้นความดันจะ

ขยายบานออกเสมือนเส้นกราฟพาราโบลาที่กว้างขึ้น และยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของความดันเกือบทั้งหมดจะเกิดขึ้นในบริเวณส่วนแรกของใบครีบบซึ่งมีการกระจายตัวตามแนวรัศมีจึงเป็นส่วนที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความดันในทางบวกและอาจจะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแยกชั้นการไหลในบริเวณนี้ได้ด้วย

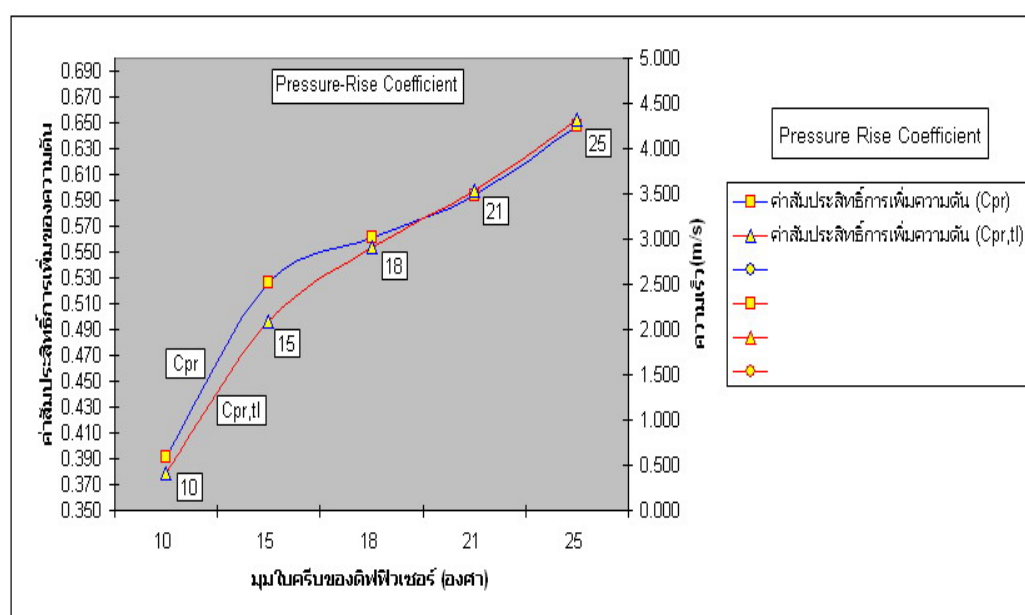
เมื่อพิจารณาที่ค่าสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่เท่ากัน พบว่ามุมใบครีบบที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ขนาดใหญ่กว่าสามารถถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดความดันได้มากกว่ามุมใบครีบบที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก แสดงดังในภาพประกอบ 89 และผลดังแสดงในตารางที่ 10 หากพิจารณาเปรียบเทียบค่าสภาวะอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่หน้าตัดมุมใบครีบบเดียวกันจะทำให้ความเร็วของน้ำมีการลดลง แสดงดังในภาพประกอบ 90 และจากภาพประกอบ 89 ยังพบว่ามุมใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที เห็นได้ว่าความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องใบครีบบมีการลดลงที่คล้ายคลึงกัน ผลดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งคาดได้ว่า การไหลของน้ำอาจเกิดการแยกชั้นการไหลขึ้นในช่วงการขยายตัวถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำและพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นก็ไม่มีผลที่จะทำให้ความดันมีค่าเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการขยายเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นจนเกินจุดสูงสุดที่การไหลของน้ำนั้นจะสามารถขยายตัวออกด้านข้างได้จึงทำให้ความเร็วและความดันมีการลดลง ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการทำงานของดิฟฟิวเซอร์ ถ้านำค่ามุมใบครีบบดังกล่าวไปใช้งาน

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าความดันกับพื้นที่หน้าตัดมุมใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที ได้ผลแสดงดังในภาพประกอบ 89 และ 90 แสดงให้เห็นว่าค่าความเร็วมีค่าที่ลดลงและค่าความดันมีค่าที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะสอดคล้องกันในทุกกรณีการศึกษาโดยพบว่าค่าความดันที่สูงสุดจากการทดสอบอยู่ที่มุมใบครีบบของดิฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.442 kN/m^2 ณ สภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อวินาที

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดัน (Pressure Rise Coefficient, C_{pr}) ซึ่งคำนวณโดยใช้ข้อมูล [1] ค่าผลลัพธ์ของความดัน (P_{st}) ค่าความเร็วที่ทางเข้าและทางออกของใบครีบบ [2] ใช้ค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (AR) ทางเข้าของใบครีบบและความยาวของผนังใบครีบบแนวมุมเอียง โดยใช้สมการที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 และวิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก. โดยได้ค่าผลลัพธ์การคำนวณของค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดัน (C_{pr}) และ ($C_{pr,u}$) ของมุมใบครีบบที่ต่างกันดังนี้

ตาราง 12 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน (C_{pr}) และ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที ของมุมใบครีปที่แตกต่างกัน

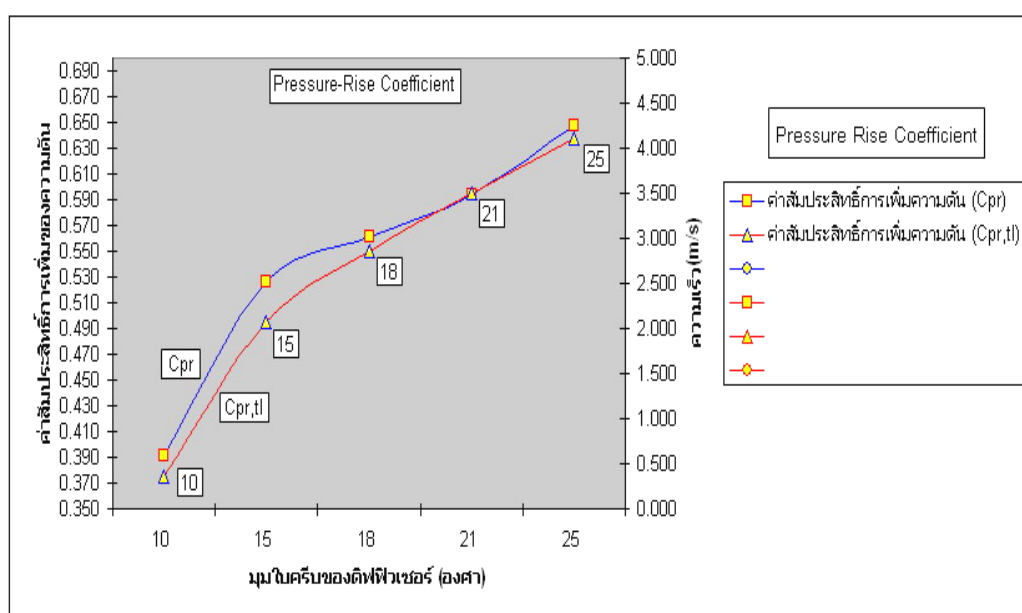
ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน สภาวะของอัตราการไหลของน้ำที่ 23 L/min	มุมใบครีปของดีฟฟิวเซอร์ที่ (องศา)				
	10	15	18	21	25
AR	1.2819	1.4522	1.5103	1.5688	1.6858
Cpr	0.3914	0.5258	0.5615	0.5936	0.6481
Cpr,tl	0.3784	0.4965	0.5537	0.5969	0.6528



ภาพประกอบ 91 ความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันระหว่าง (C_{pr}) กับ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23 ลิตรต่อนาที ของมุมใบครีปที่แตกต่างกัน

ตาราง 13 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน (C_{pr}) และ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที ของมุมใบครีปที่แตกต่างกัน

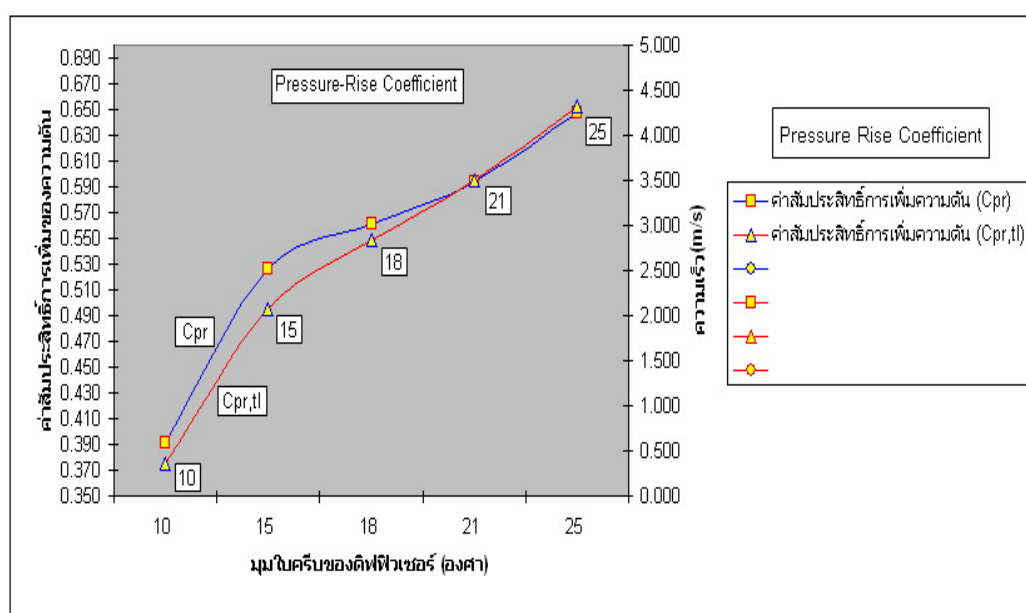
ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน สภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 L/min	มุมใบครีปของดีฟฟิวเซอร์ที่ (องศา)				
	10	15	18	21	25
AR	1.2819	1.4522	1.5103	1.5688	1.6858
Cpr	0.3914	0.5258	0.5615	0.5936	0.6481
Cpr,tl	0.3751	0.4946	0.5496	0.5947	0.6374



ภาพประกอบ 92 ความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันระหว่าง (C_{pr}) กับ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 36 ลิตรต่อนาที ของมุมใบครีปที่แตกต่างกัน

ตาราง 14 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน (C_{pr}) และ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที ของมุมใบครีปที่แตกต่างกัน

ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน สภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 L/min	มุมใบครีปของดีฟฟิวเซอร์ที่ (องศา)				
	10	15	18	21	25
AR	1.2819	1.4522	1.5103	1.5688	1.6858
Cpr	0.3914	0.5258	0.5615	0.5936	0.6481
Cpr,tl	0.3755	0.4945	0.5493	0.5950	0.6522



ภาพประกอบ 93 ความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันระหว่าง (C_{pr}) กับ ($C_{pr,tl}$) เมื่อทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที ของมุมใบครีปที่แตกต่างกัน

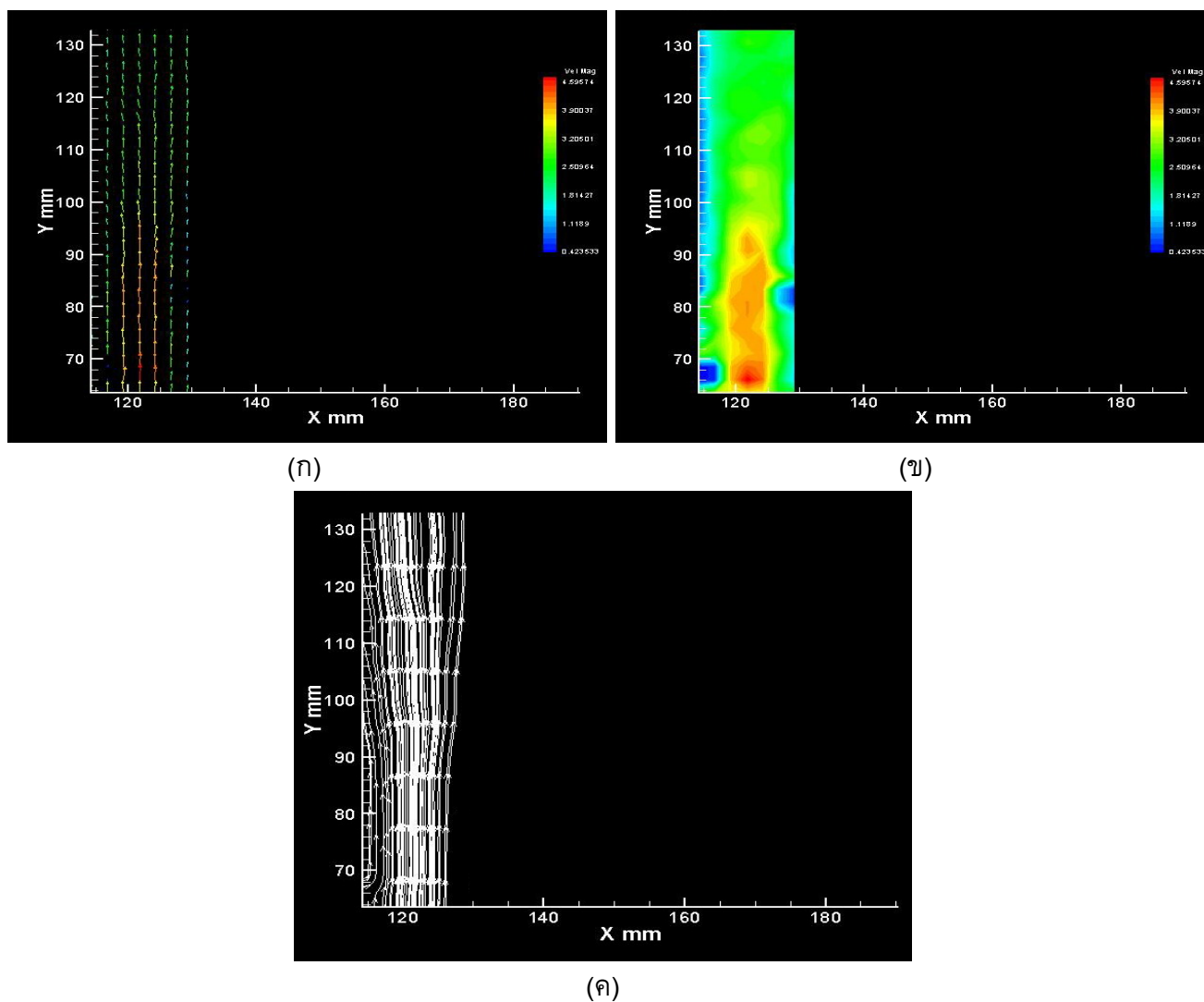
จากผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดัน ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นการบ่งบอกแสดงให้เห็นถึงความสามารถของการเพิ่มขยายปริมาตรภายในช่องใบครีป โดยผลของค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันจากการคำนวณ (C_{pr}) และค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันจากการทดสอบ ($C_{pr,tl}$) มุมใบครีปของดีฟฟิวเซอร์ที่ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา ซึ่งผลแสดงดังในภาพประกอบ 91, 92 และ 93 และผลดังแสดงในตารางที่ 12, 13 และ 14)

ซึ่งเห็นได้ว่าทั้ง 2 วิธีค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามพื้นที่หน้าตัดที่ขยายและความเร็วที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดของช่วงการทดสอบมุมไบครีปที่สภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 ลิตรต่อนาที่ โดยมีลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟที่คล้ายคลึงกัน

และการขยายเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของมุมไบครีปทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันมีค่าที่เพิ่มขึ้นตาม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันนั้นจะมีค่าสูงสุดก็ต่อเมื่อชั้นขีดผิวใกล้เคียงเกิดการแยกชั้นการไหล ณ ผนังของไบครีป และจากผลการทดสอบพบว่ามุมไบครีปของดีฟิวเซอร์ที่ 21 องศา ให้ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันที่สูงสุดก่อนที่ความดันภายในช่องของมุมไบครีปที่ 25 องศา จะมีค่าที่ลดลงซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันจากการคำนวณ (C_{pr}) มีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0.3914 ถึง 0.6481 และค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันจากการทดสอบ ($C_{pr,tl}$) มีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0.3751 ถึง 0.6528

2. ผลการศึกษาการวัดการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV)

2.1 ผลการทดสอบมุมใบครีบบของดีฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา

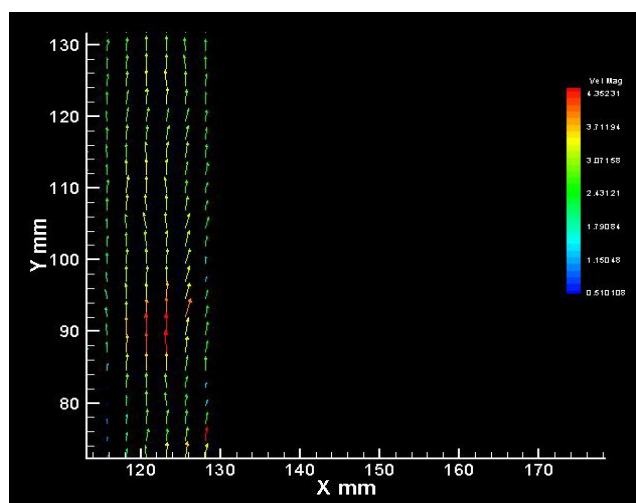


ภาพประกอบ 94 ลักษณะการไหลของมุมใบครีบบที่ 21 องศา (ก) ทิศทางการไหลของเวกเตอร์ (ข) ลักษณะคอนทัวร์ (ค) เส้นการไหลของของไหล

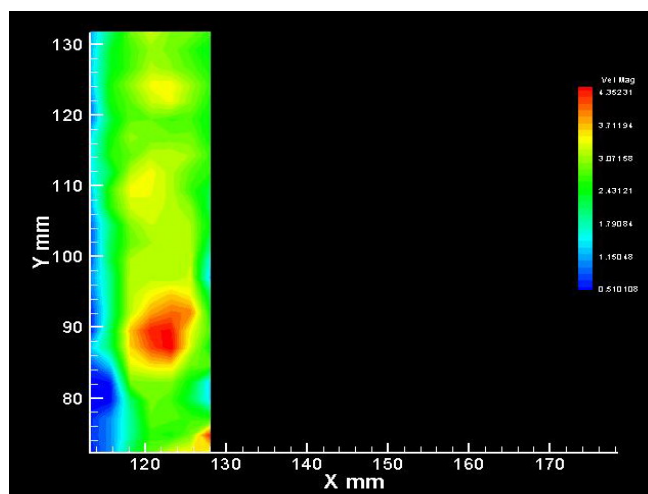
จากภาพประกอบ 94 (ก) ซึ่งเห็นได้ว่าเวกเตอร์ความเร็วเฉลี่ยการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบบตามระยะแนวระนาบทางเข้ามีความเร็วที่สูงซึ่งมีค่าระหว่าง 4.3 - 4.0 เมตรต่อวินาที ก่อนที่ทิศทางการไหลจะมีการกระจายตัวออกด้านข้างที่ขยายกว้างตามพื้นที่หน้าตัดของใบครีบบซึ่งผลแสดงดังในภาพประกอบ 94 (ค) และขณะเดียวกันก็จะทำให้การไหลมีการขยายตัวออก ณ บริเวณดังกล่าวโดยมีความเร็วที่ลดลงตามเช่นกันซึ่งมีค่าระหว่าง 3.5 - 2.7 เมตรต่อวินาที ซึ่ง

ลักษณะการไหลมีการกระจายตัวออกด้านข้างที่มีความคล้ายคลึงกันทั้งสองด้านและเส้นการไหล (Path Line) มีลักษณะที่ขนานไปตามพื้นที่หน้าตัดของใบครีบทลอดจนถึงปลายทางออก

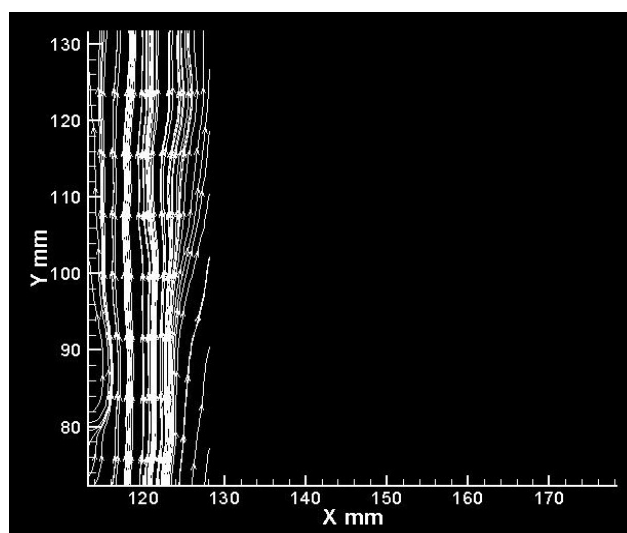
2.2 ผลการทดสอบมุมใบครีบบของดีฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพประกอบ 95 ลักษณะการไหลของมุมใบครีบบที่ 25 องศา (ก) ทิศทางการไหลของเวกเตอร์ (ข) ลักษณะคอนทัวร์ (ค) เส้นการไหลของของไหล

จากภาพประกอบ 95(ก) ซึ่งเห็นได้ว่าเวกเตอร์ความเร็วเฉลี่ยการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีปตามระยะแนวระนาบทางเข้ามีความเร็วที่สูงซึ่งมีค่าระหว่าง 4.3 - 4.0 เมตรต่อวินาที ก่อนที่ทิศทางการไหลจะมีการกระจายตัวออกด้านข้างที่ขยายกว้างตามพื้นที่หน้าตัดของใบครีป ซึ่งผลแสดงดังในภาพประกอบ 95(ค) และขณะเดียวกันก็จะทำให้ของไหลที่ขยายตัวออก ณ บริเวณดังกล่าวมีความเร็วที่ลดลงตามเช่นกันซึ่งมีค่าระหว่าง 3.2 - 2.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งลักษณะการไหลมีการกระจายตัวเกิดการแยกชั้นการไหลขึ้นซึ่งมีทิศทางของเส้นการไหลที่อิสระออกจากกันที่ช่วงบริเวณส่วนขยายของใบครีป

และผลการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าการไหลที่เกิดขึ้นภายในช่องใบครีปจะเกิดจุดแยกตัว (Separation point) ในบริเวณส่วนโค้งของใบครีปดังแสดงในภาพประกอบ 95(ค)

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงการออกแบบและทดสอบดิฟฟิวเซอร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบการไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค ซึ่งในการออกแบบดิฟฟิวเซอร์นั้นได้กำหนดใช้ค่าความเร็วทางออกและค่ามุมมองของใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลชนิดเซ็นตริฟูกอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 142 มิลลิเมตร เป็นจุดเริ่มต้นการคำนวณหาค่ามุมใบครีบบนของดิฟฟิวเซอร์และนำเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาคแบบ Particle Image Velocimetry (PIV) มาวัดค่าพารามิเตอร์การไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่องใบครีบบ

1. สรุปผลการทดสอบ

การศึกษางานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบและคำนวณ ส่วนที่สองเป็นการจัดสร้างและทดสอบอุปกรณ์ และส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธี โดยใบครีบบนของดิฟฟิวเซอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้นนั้นมีทั้งหมด 5 มุมคือ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อนาที การทดสอบมีข้อกำหนดภายใต้เงื่อนไขของขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าและสภาวะอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้ามีค่าเริ่มต้นที่เท่ากัน

1. ผลการทดสอบเมื่อพิจารณาที่ขนาดพื้นที่หน้าทางเข้ามีค่าที่เท่ากันและทางออกมีค่าที่ต่างกัน พบว่าเมื่อทดสอบกับทุกสภาวะอัตราการไหลของน้ำจะแปรผันกับพื้นที่หน้าของใบครีบบนโดยมีลักษณะแนวโน้มที่เหมือนกันคือการเพิ่มขึ้นของความดันและการลดลงของความเร็ว เมื่อขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดของใบครีบบนเพิ่มขึ้นเส้นความเร็วกับเส้นความดันจะขยายบานออกที่กว้างขึ้นตามและยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของความดันเกือบทั้งหมดจะเกิดขึ้นในบริเวณส่วนแรกของใบครีบบนซึ่งมีการกระจายตัวตามแนวรัศมีจึงเป็นส่วนที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความดันในทางบวกและยังเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแยกชั้นการไหลในบริเวณนี้ได้ด้วย

2. ผลการทดสอบเมื่อพิจารณาที่ค่าสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่เท่ากัน พบว่าใบครีบบนของดิฟฟิวเซอร์ที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่กว่าจะสามารถถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความดันได้มากกว่าใบครีบบนของดิฟฟิวเซอร์ที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก และหากพิจารณาเปรียบเทียบค่าสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ทดสอบในพื้นที่หน้าตัดใบครีบบนของดิฟฟิวเซอร์เดียวกันพบว่าความเร็วของสภาวะอัตราการไหลของน้ำมีการลดลง

3. ผลการทดสอบเมื่อพิจารณาใบครีบบนของดิฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวคงที่แต่มีอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดที่ปรับค่าได้ พบว่าใบครีบบนของดิฟฟิวเซอร์ที่มีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดที่มีค่าน้อย

หรือแคบจะทำให้ชั้นขีดผิวยังคงติดอยู่กับผนังใบครีบและทำให้ค่า C_{pr} มีค่าปานกลางและการเกิดความดันสูญเสียมีผลเนื่องมาจากความเสียดทาน และกรณีที่เพิ่มค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดมากขึ้นจนถึงค่าๆ หนึ่งที่ทำให้น้ำหนักของชั้นขีดผิวเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังติดอยู่กับผนังใบครีบจึงมีไม่ผลมากนักที่ทำให้ค่า C_{pr} ที่ได้ตกลงแต่ก็ยังมีความมากกว่าเดิมซึ่งการเกิดความดันสูญเสียมีผลเนื่องมาจากการแยกชั้นการไหลแต่ถึงอย่างไรก็ตามถ้าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดมีค่าสูงมากๆ อาจก่อให้เกิดการแยกชั้นการไหลเป็นจำนวนมากได้

4. ผลการทดสอบเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มความดันที่ทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที พบว่ามุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา แสดงให้เห็นว่าเป็นตำแหน่งที่ให้ค่าความดันมากที่สุดและเส้นการไหลมีลักษณะที่เป็นเส้นตรงซึ่งเป็นการบ่งบอกให้เห็นถึงความสามารถของการเพิ่มขยายปริมาตรภายในช่องใบครีบเพื่อเพิ่มความดันและลดความเร็วจากการไหลและยังพบอีกว่ามุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์ที่ 25 องศา ค่าความดันที่เกิดขึ้นภายในช่องใบครีบมีการลดลงที่คล้ายคลึงกันและการไหลของน้ำเกิดการแยกชั้นการไหลขึ้นในช่วงการขยายตัวทั้งนี้เป็ผลเนื่องมาจากการขยายเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นจนเกินจุดสูงสุดที่การไหลของน้ำนั้นจะขยายตัวออกได้จึงทำให้ความเร็วและความดันมีค่าลดลงถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำและพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นก็ไม่มีผลที่จะทำให้ความดันมีค่าเพิ่มขึ้นได้อีก

5. เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันต่างๆ สรุปได้ว่าการขยายเพิ่มพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นนั้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันมีค่าที่เพิ่มขึ้นตาม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มของความดันนั้นจะมีค่าสูงสุดก็ต่อเมื่อชั้นขีดผิวใกล้เกิดการแยกชั้นการไหล ณ ผนังของใบครีบ

6. เมื่อเปรียบเทียบค่าความดันและค่าความเร็วของน้ำกับพื้นที่หน้าตัดมุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์ที่ 10, 15, 18, 21 และ 25 องศา โดยทดสอบกับสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 23, 36 และ 41 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับสรุปได้ว่าผลการทดสอบที่ได้ในครั้งนี้ซึ่งค่าจะสอดคล้องกันในทุกกรณีการศึกษาโดยมุมใบครีบของดีฟฟิวเซอร์ที่ 21 องศา นั้นซึ่งให้ค่าความดันที่สูงสุดโดยทางเข้ามีค่าที่ 1.383 kN/m^2 และทางออกมีค่าที่ 1.442 kN/m^2 ส่วนค่าความเร็วทางเข้ามีค่าที่ 4.29 เมตรต่อวินาที และทางออกมีค่าที่ 2.73 เมตรต่อวินาที เปอร์เซนต์การเพิ่มความดันที่ไหลผ่านมีค่าที่ 67.79 เปอร์เซนต์ และเส้นการไหลมีลักษณะที่ขนานไปกับพื้นที่หน้าตัดใบครีบ จึงมีความเหมาะสมเป็นตัวแทนที่ใช้ในการพิจารณาค่าของพารามิเตอร์ ถึงจะเพิ่มสภาวะอัตราการไหลของน้ำและพื้นที่หน้าตัดที่มากขึ้นก็ไม่มีผลที่จะทำให้ความดันมีค่าเพิ่มขึ้นได้อีกซึ่งไม่เป็นผลดีประสิทธิภาพการไหลผ่านใบครีบถ้าจะนำค่ามุมใบครีบที่มากกว่านี้ไปใช้งาน

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

การทดสอบมุมไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ในครั้งนี้พบว่าพื้นที่หน้าตัดทางเข้าทางออกและสภาวะอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อค่าความดันและค่าความเร็วที่เกิดขึ้นภายในช่องไบครีบและการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ได้จำลองใช้ค่าสภาวะอัตราการไหลของน้ำเพียง 3 สภาวะจึงเป็นเหตุผลหนึ่งของพารามิเตอร์การไหลที่ควรศึกษาต่อไปในอนาคตเพิ่มเติม

1. ออกแบบและจัดสร้างไบครีบของดิฟฟิวเซอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
2. เพิ่มสภาวะอัตราการไหลและแรงดันน้ำให้มากขึ้นเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ใกล้เคียงกับสภาวะการนำไปใช้งานจริง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กิตติ แก้วชาติ. (2551). การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็กโดยมีระบบอัดอากาศและระบบกังหันเป็นแบบการไหลในแนวรัศมี. ปรินทิพนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ไกรสิทธิ์ มหิวรรณ ร.อ. (2544, กุมภาพันธ์). การวัดความเร็วของของไหลโดยวิธีภาพถ่ายของอนุภาค. วารสารโรงเรียนนายเรือ. 1(4): 23-29.
- (2545, มีนาคม). การวัดความเร็วของของไหลโดยวิธีภาพถ่ายของอนุภาค. วารสารโรงเรียนนายเรือ. 2(1): 47-53.
- ชานันท์ ชัยสุข. (2550). การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องยนต์เจ็ทขนาดเล็ก. ปรินทิพนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- รังสิวุฒิ ชินลี; และสรารุจ เจนวรรัฐ. (2549). การปรับปรุงประสิทธิภาพของดีฟฟิวเซอร์โดยใช้เทคนิคการควบคุมวอร์เท็กซ์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการบินและอวกาศ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- สัมพันธ์ ไชยเทพ. (2535). อากาศพลศาสตร์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สิทธิพร ไชยชนายศ. (2547). เครื่องจักรกลของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Ali Pinarbasi. (2008). *Experimental Hot wire Measurements in a Centrifugal Compressor with Vaned Diffuser*. International Journal of Heat and Fluid Flow, from <http://www.sciencedirect.com>
- Cohen H.; GFC Rogers; & HIH Saravanamuttu. (1996). *Gas Turbine Theory*. 4th ed. Longman: Group Limited.
- David Gordon Wilson; & Theodosios Korakianitis. (1998). *The Design of High-efficiency Turbo Machinery and Gas Turbines*. 2nd ed. New York: United States of America.
- Ernesto Benini; & Stefano Giacometti. (2007). *Design Manufacturing and Operation of a Small Turbojet Engine for Research Purposes*. Applied Energy. P.1102-1116, from <http://www.sciencedirect.com>
- Hideaki Tamaki; Ji Dai; Hiroshi Yamaguchi; & Takeshi Aizawa. (2004). *Analysis of Effect of Vaned Setting Angle on Vaned Diffuser Performance*. Journal of Turbomachinery, from <http://www.sciencedirect.com>

- Jack D. Mattingly. (1996). *Elements of Gas Turbine Propulsion*. New York: McGraw – Hill, Inc.
- Ling J.; K.C. Wong & S. Armfield. (2007). *Numerical investigation of a small gas turbine compressor*. *Australasian Fluid Mechanics Conference*. from <http://www.sciencedirect.com>
- Mark P. Wernet. (2000). *Application of Digital Particle Imaging Velocimetry to Study both Steady State and Transient Turbo machinery flows*. *Journal Optics & Laser Technology*. P.497-525, from <http://www.sciencedirect.com>
- Thomas Kamps. (1995). *Model Jet Engines*. Traplet Publications Limited: United Kingdom.
- Yunus A. Cengel; & Michael A. Boles. (2002). *Thermodynamics an Engineering Approach*. 4th ed. New York: McGraw – Hill, Inc.

ภาคผนวก

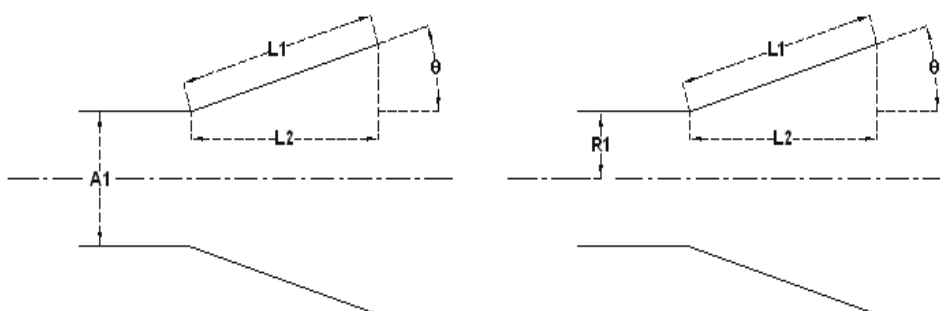
ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดัน

ตาราง ก-1 ตัวอย่างผลการทดสอบมุมไบศรีของดิฟฟิวเซอร์ที่ 10 องศา

มุมไบศรี (องศา)	อัตราการไหล (L/min)	ความเร็วที่จุด (m/s)			ความดันที่จุดเทียบกับ ความดันบรรยากาศ (cmH ₂ O)			ความดันที่จุด (kN/m ²)		
		p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3
10	23	2.41	2.12	1.90	13.80	13.90	13.95	1.349	1.359	1.364
	36	3.77	3.33	2.98	14.10	14.20	14.25	1.378	1.388	1.393
	41	4.29	3.79	3.39	14.15	14.25	14.34	1.383	1.393	1.402

ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดัน (Pressure Rise Coefficient, C_{pr})



ภาพประกอบ ก-1 การกำหนดขนาดไบศรีของดิฟฟิวเซอร์

- เมื่อ
- L_1 คือ ความยาวของไบศรี
 - L_2 คือ ความยาวของไบศรี
 - A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดไบศรีของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางเข้า
 - A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดไบศรีของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก
 - θ คือ มุมรัศมีของไบศรี
 - AR คือ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดไบศรีของดิฟฟิวเซอร์

$$\begin{aligned}
 C_{pr} &= 1 - \frac{1}{1.2819^2} \\
 &= 0.3914
 \end{aligned}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดันทางทฤษฎี (Theoretical Pressure Rise Coefficient, $C_{pr,tl}$)

$$\text{สมการ } C_{pr,tl} = 1 - \left(\frac{U_4}{U_3} \right)^2 \quad (26)$$

เมื่อ $C_{pr,tl}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดันทางทฤษฎี
 U_3 คือ ความเร็วของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางเข้า
 U_4 คือ ความเร็วของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก

แทนค่าในสมการ (26) จะได้ว่า (คิดสภาวะอัตราการไหลของน้ำที่ 41 L/min)

$$\begin{aligned}
 C_{pr,tl} &= 1 - \left(\frac{3.39}{4.29} \right)^2 \\
 &= 0.3755
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าดิฟฟูเซอร์

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าดิฟฟูเซอร์

ข้อมูลคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศและน้ำ ณ อุณหภูมิ 25 °C

$$\text{ความหนาแน่นของอากาศ } (\rho_{\text{air}}) = 1.184 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ความหนืดของอากาศ } (\mu_{\text{air}}) = 1.85 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$$

$$\text{ความหนาแน่นของน้ำ } (\rho_{\text{water}}) = 997.1 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ความหนืดของน้ำ } (\mu_{\text{water}}) = 0.000894 \text{ N.s/m}^2$$

จากการคำนวณในเนื้อหาบทที่ 3 พบว่าความเร็วที่ไหลผ่านช่องใบครีบบนของดิฟฟูเซอร์ (C_{diff}) มีค่าที่เท่ากับ 274.443 m/s ฉะนั้นพื้นที่หน้าตัดของใบครีบบนที่ทางเข้าหาได้จาก (31) ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของใบครีบบนมีรูปทรงลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$\begin{aligned} \text{สมการ } D_h &= \frac{4 \text{ (พื้นที่หน้าตัดการไหล)}}{(\text{เส้นรอบรูปหน้าตัดที่สัมผัสกับของไหล})} \\ &= \frac{4A}{P} \end{aligned}$$

เมื่อ D_h คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic Diameter)

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้น } D_h &= \frac{4ab}{2(a+b)} \\ &= \frac{2ab}{(a+b)} \end{aligned}$$

จากภาพประกอบ ก-2 เมื่อพื้นที่หน้าตัดใบครีบบนของดิฟฟูเซอร์ที่ทางเข้ามีขนาดความกว้างที่ $a = 12.26$ มิลลิเมตร และมีขนาดความยาวที่ $b = 13$ มิลลิเมตร

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} D_h &= \frac{2 \times 0.01226 \text{ m} \times 0.013 \text{ m}}{(0.01226 \text{ m} + 0.013 \text{ m})} \\ &= 0.01261 \text{ m} \end{aligned}$$

ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้าสู่ชุดทดสอบใบครีบบองติฟฟิวเซอร์หาได้จาก (32) โดยใช้ความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบตัวเลขเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds Number) ระหว่างค่าของอากาศและน้ำ

$$\text{เมื่อ} \quad \text{Reynolds}_{\text{air}} = \text{Reynolds}_{\text{water}}$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} \text{Reynolds}_{\text{air}} &= \frac{\rho_{\text{air}} V_{\text{diff, in}} D_h}{\mu_{\text{air}}} \\ &= \frac{1.184 \text{ kg/m}^3 \times 274.443 \text{ m/s} \times 0.01261 \text{ m}}{0.0000185 \text{ N.s/m}^2} \\ &= 221486.478 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reynolds}_{\text{water}} &= \frac{\rho_{\text{water}} V_{\text{diff, in}} D_h}{\mu_{\text{water}}} \\ &= \frac{997.1 \text{ kg/m}^3 \times V_{\text{diff, in}} \times 0.01261 \text{ m}}{0.000894 \text{ N.s/m}^2} \end{aligned}$$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} \frac{\rho_{\text{air}} V_{\text{diff, in}} D_h}{\mu_{\text{air}}} &= \frac{\rho_{\text{water}} V_{\text{diff, in}} D_h}{\mu_{\text{water}}} \\ 221486.478 &= \frac{997.1 \text{ kg/m}^3 \times V_{\text{diff, in}} \times 0.01261 \text{ m}}{0.000894 \text{ N.s/m}^2} \\ V_{\text{diff, in (water)}} &= 15.748 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ฉะนั้นหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าใบครีบบองติฟฟิวเซอร์เมื่อความเร็วของน้ำมีค่าเท่ากับ 15.748 m/s

สมการ $Q_{\text{diff, in}} = A_{\text{diff, in}} V_{\text{diff, in}}$

แทนค่าใน

$$\begin{aligned} Q_{\text{diff, in}} &= (0.01226 \text{ m} \times 0.013 \text{ m}) \times 15.748 \text{ m/s} \\ &= 0.002509 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.15054 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค

ตารางของคุณสมบัติทางฟิสิกส์

ตาราง ค-1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ (หน่วยเอสไอ)

อุณหภูมิ	ความหนาแน่น	น้ำหนักจำเพาะ	ความหนืดพลวัต	ความหนืดจลน์	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ	อัตราเร็วเสียง
T(°C)	$\rho(\text{Kg/m}^3)$	$\gamma(\text{N/m}^3)$	$\mu(\text{N.s/m}^2)$	$\nu(\text{m}^2/\text{s})$	k(-)	C(m/s)
-40	1.514	14.85	1.57×10^{-5}	1.04×10^{-5}	1.401	306.2
-20	1.395	13.68	1.63	1.17	1.401	319.1
0	1.292	12.67	1.71	1.32	1.401	331.4
5	1.269	12.45	1.73	1.36	1.401	334.4
10	1.247	12.23	1.76	1.41	1.401	337.4
15	1.225	12.01	1.80	1.47	1.401	340.4
20	1.204	11.81	1.82	1.51	1.401	343.3
25	1.184	11.61	1.85	1.56	1.401	346.3
30	1.165	11.43	1.86	1.60	1.400	349.1
40	1.127	11.05	1.87	1.66	1.400	354.7
50	1.109	10.88	1.95	1.76	1.400	360.3
60	1.060	10.40	1.97	1.86	1.399	365.7
70	1.029	10.09	2.03	1.97	1.399	371.2
80	0.9996	9.803	2.07	2.07	1.399	376.6
90	0.9721	9.533	2.14	2.20	1.398	381.7
100	0.9461	9.278	2.17	2.29	1.397	386.9
200	0.7461	7.317	2.53	3.39	1.390	434.5
300	0.6159	6.040	2.98	4.84	1.379	476.3
400	0.5243	5.142	3.32	6.34	1.368	514.1
500	0.4564	4.477	3.64	7.97	1.357	548.8
1000	0.2772	2.719	5.04	18.2	1.321	694.8

ที่มา : Bruce R. Munson and Others, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.

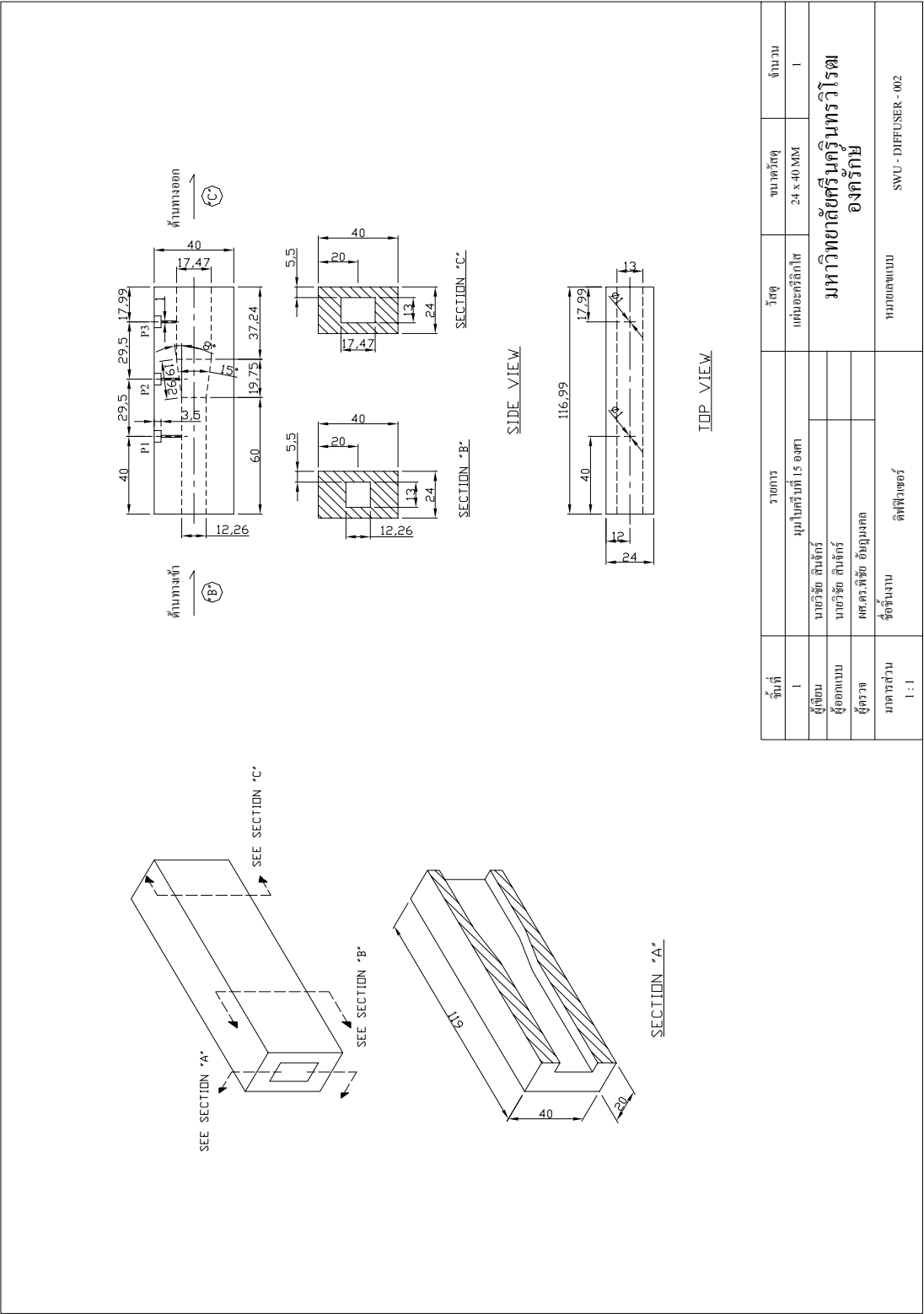
ตาราง ค-2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆ (หน่วยเอสไอ)

อุณหภูมิ $T(^{\circ}\text{C})$	น้ำหนัก จำเพาะ $\gamma(\text{N/m}^3)$	ความ หนาแน่น $\rho(\text{kg/m}^3)$	ความหนืด $\mu(\text{Pa}\cdot\text{s})$	ความหนืด จลน์ $\nu(\text{m}^2/\text{s})$	ความตึงผิว $\sigma(\text{N/m})$	อัตราเร็ว เสียง $C(\text{m/s})$
0	9805	999.9	$1.792 \times$	$1.792 \times$	7.62×10^{-3}	1403
5	9806	1000.0	1.519	1.519	7.54	1427
10	9803	999.7	1.308	1.308	7.48	1447
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	1464
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	1482
25	9779	997.1	0.894	0.897	7.26	1493
30	9767	995.7	0.801	0.804	7.18	1507
35	9752	994.1	0.723	0.727	7.10	1516
40	9737	992.2	0.656	0.661	7.01	1526
45	9720	990.2	0.599	0.605	6.92	1533
50	9697	988.1	0.549	0.556	6.82	1541
55	9679	985.7	0.506	0.513	6.74	1546
60	9658	983.2	0.469	0.477	6.68	1552
65	9635	980.6	0.436	0.444	6.58	1553
70	9600	977.8	0.406	0.415	6.50	1555
75	9589	974.9	0.380	0.390	6.40	1555
80	9557	971.8	0.357	0.367	6.30	1555
85	9529	968.6	0.336	0.347	6.20	1553
90	9499	965.3	0.317	0.328	6.12	1550
95	9469	961.9	0.299	0.311	6.02	1547
100	9438	958.4	0.284	0.296	5.94	1543

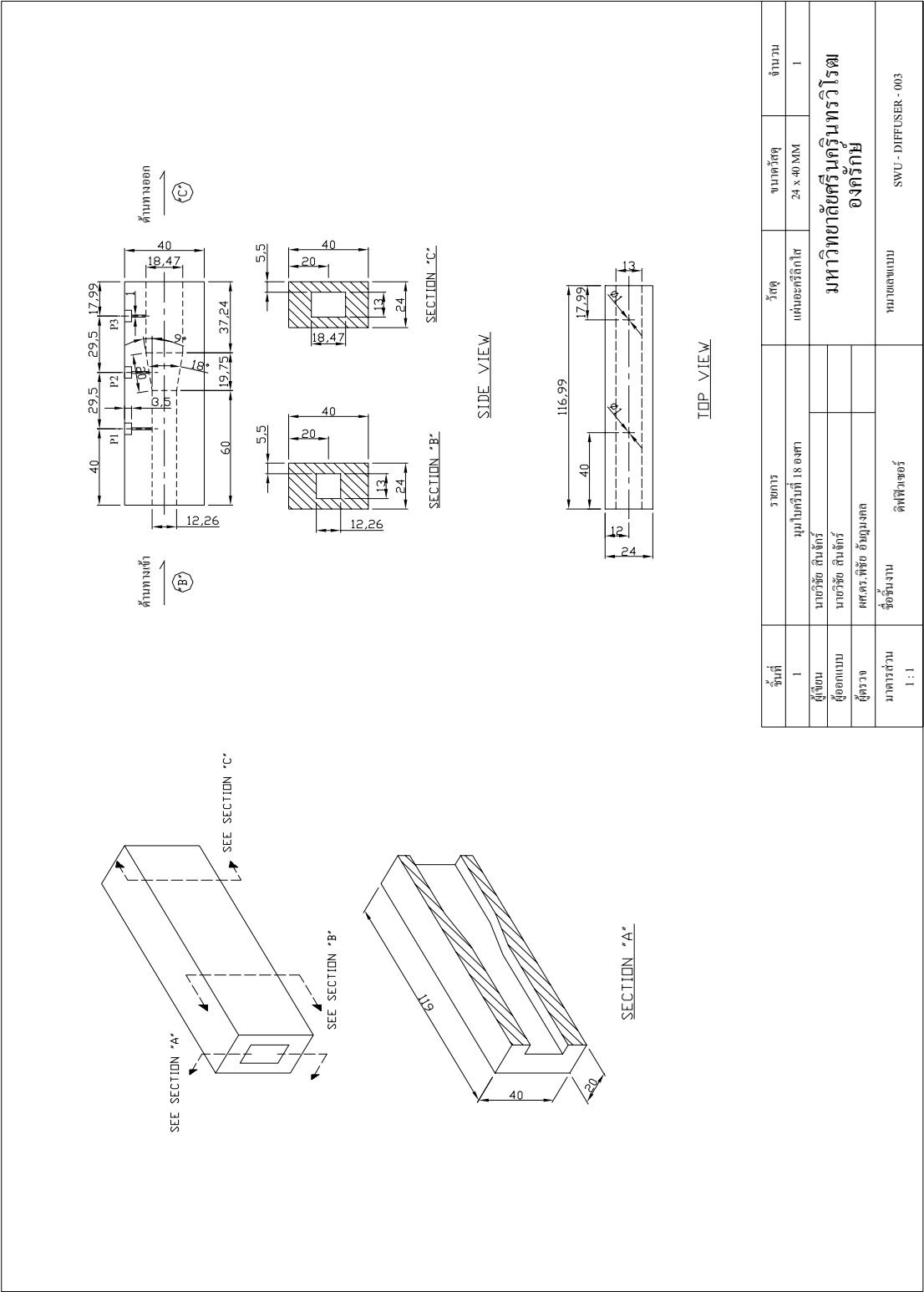
ที่มา: William S. Janna, Introduction to Fluid Mechanics, 3rd edition, PWS Publishing Company, Boston. 1993.

ภาคผนวก ง

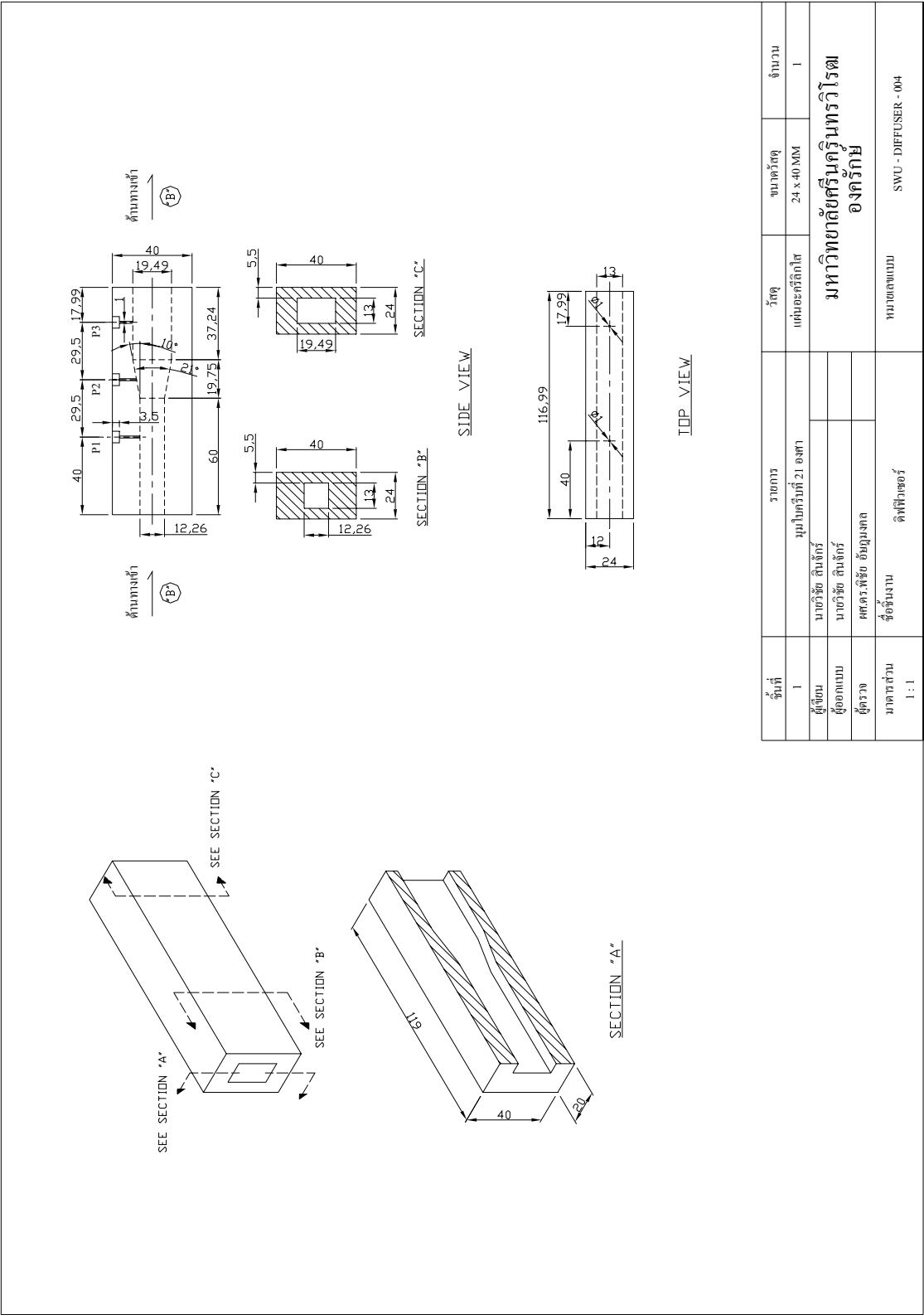
แบบรายละเอียดชิ้นส่วนดีฟิวเซอร์



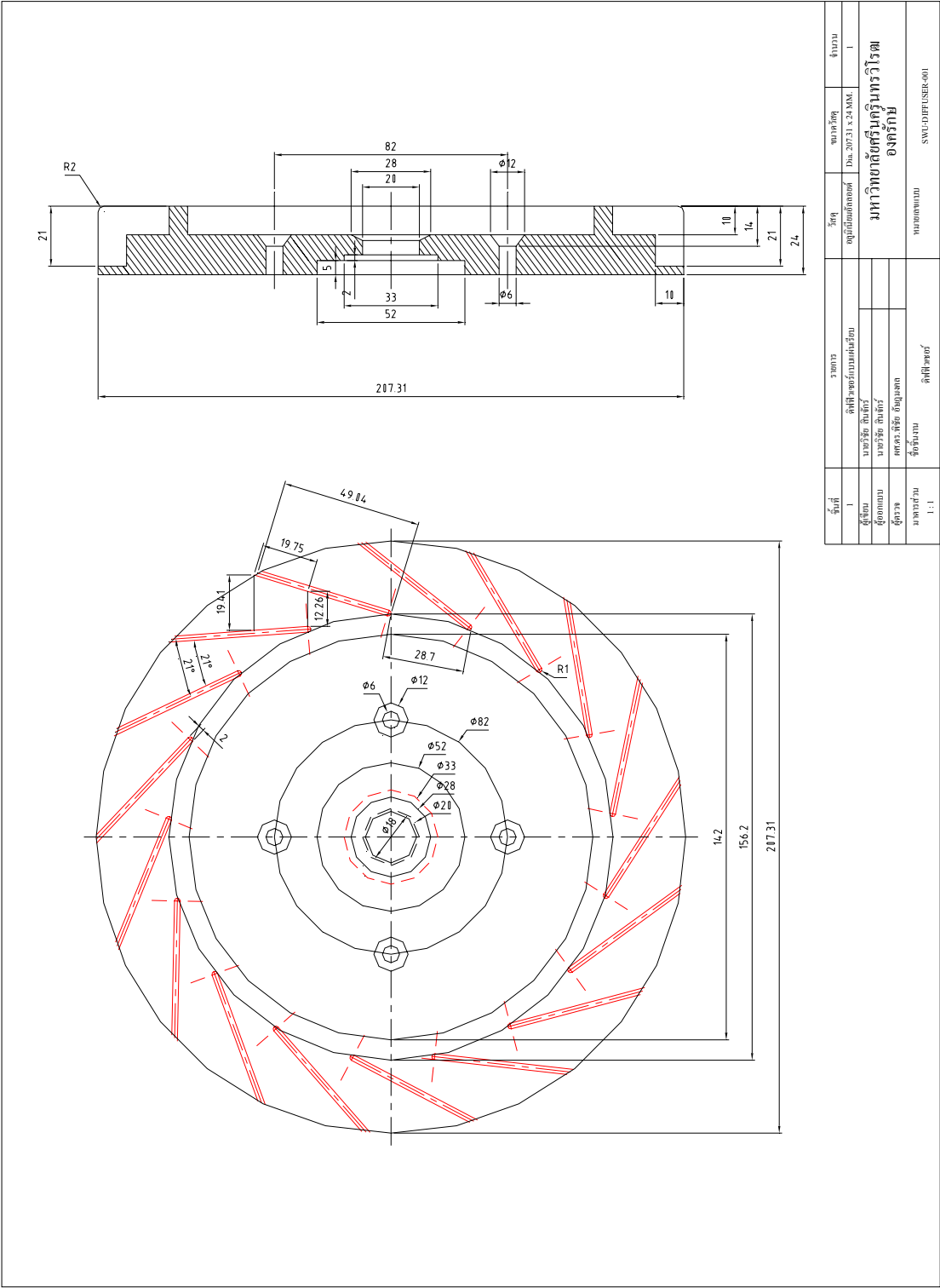
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	จำนวน
1	แผ่นกระจายอากาศ	แผ่นอลูมิเนียม	24 x 40 มม	1
ผู้เขียน	นายวิชาญ สันติรักษ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		
ผู้ออกแบบ	นายวิชาญ สันติรักษ์			
ผู้ตรวจ	ศส.ดร.พิชิต อัญมมงคล			
มาตรฐาน	ชื่อรุ่นงาน			
1:1	ดีฟิวเซอร์	ขนาดแผ่นแบบ	SWU - DIFFUSER - 002	

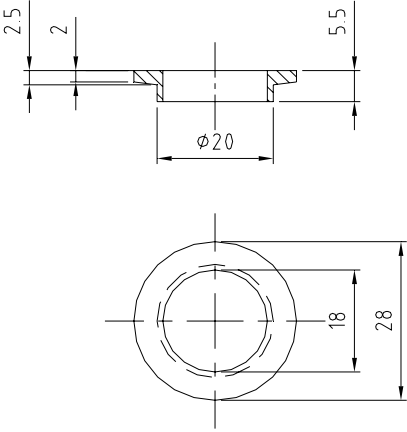


ชั้นที่	รายการ		วัสดุ	ขนาดวัสดุ	จำนวน
1	มุมใบรีเบอร์ 18 องศา		แผ่นอะคริลิกใส	24 x 40 MM	1
ผู้เขียน	นายวิรัช สีนิจกร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			
ผู้ออกแบบ	นายวิรัช สีนิจกร				
ผู้ตรวจ	ผศ.ดร.พีรช อัญมณกุล				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	พิมพ์แบบ		SWU - DIFFUSER - 003	
1 : 1	ดังไฟล์แนบ				

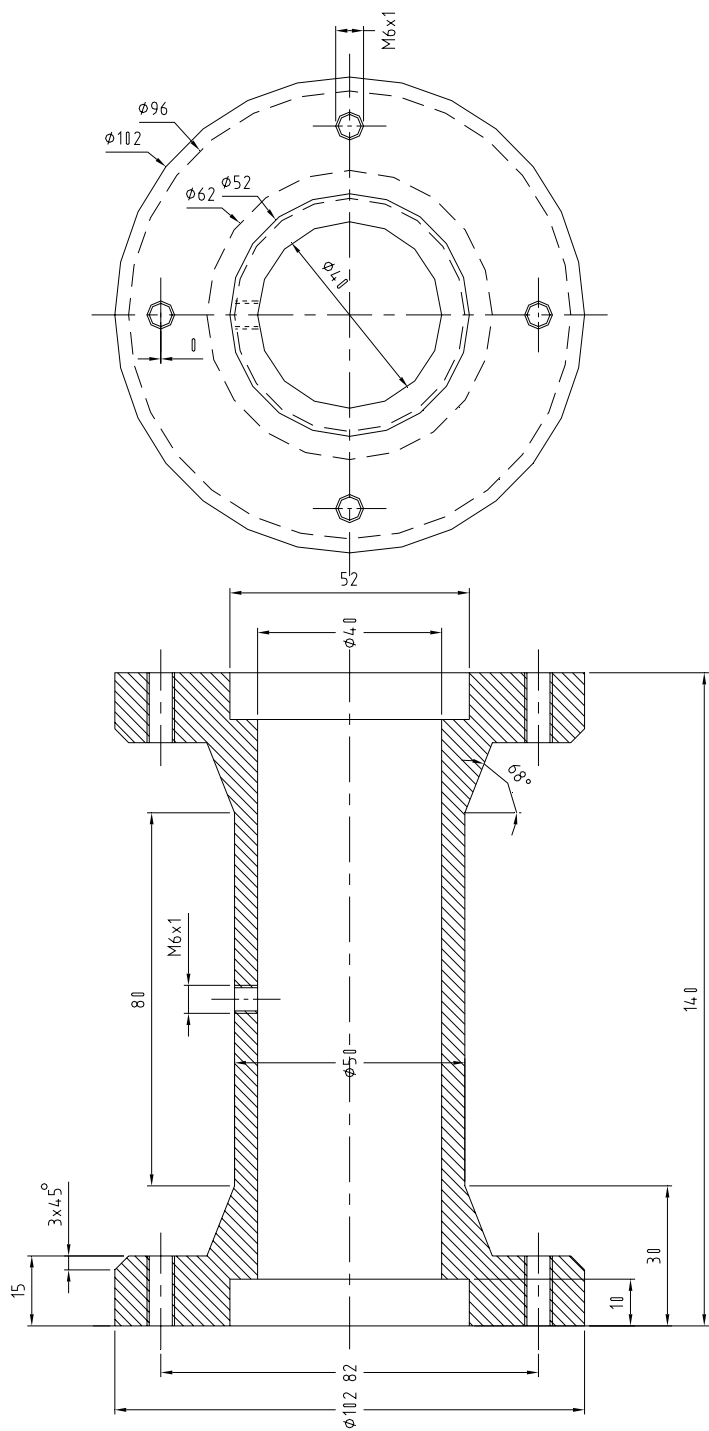


ง-2 แบบชั้นส่วนดัดฟิวเซอร์

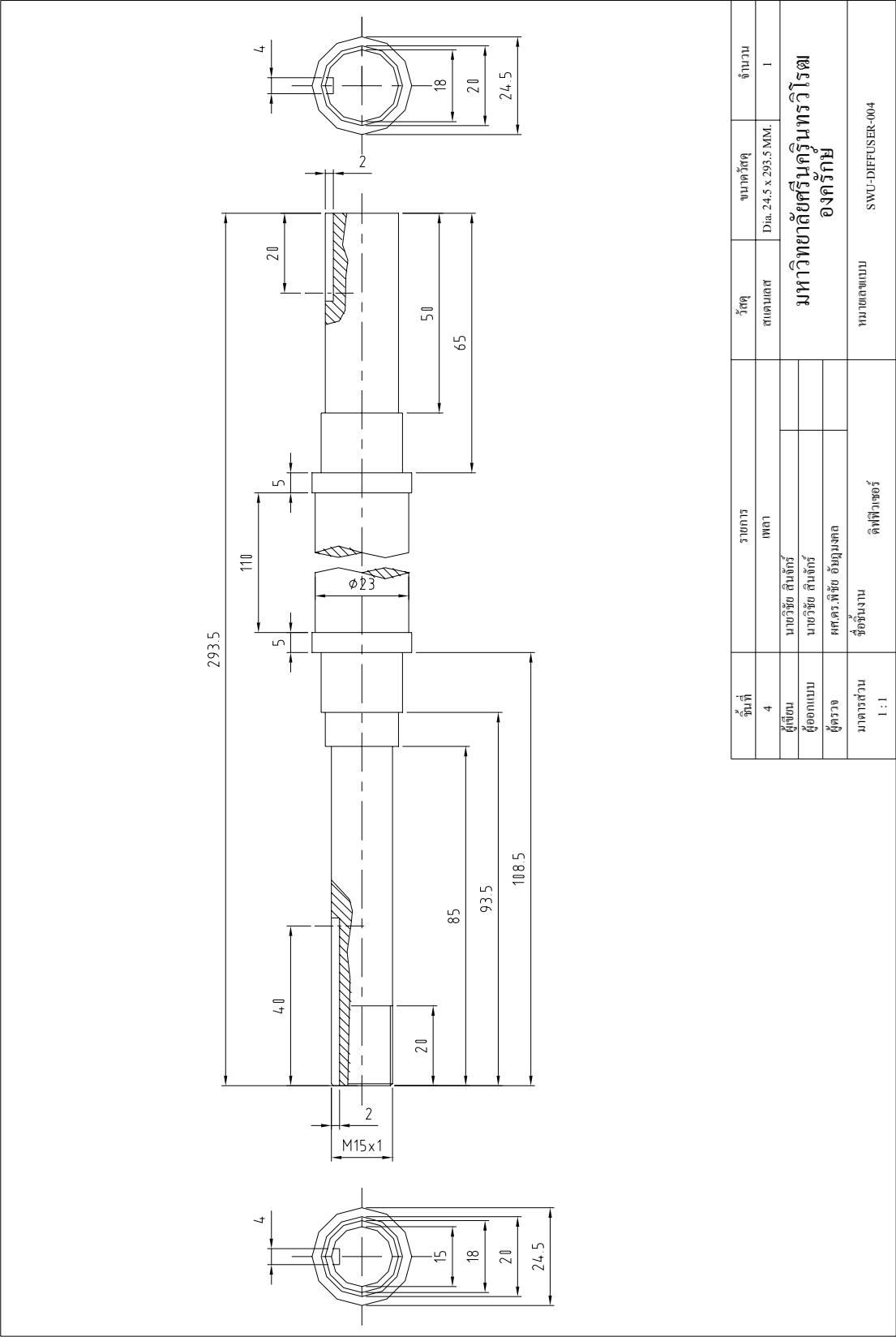


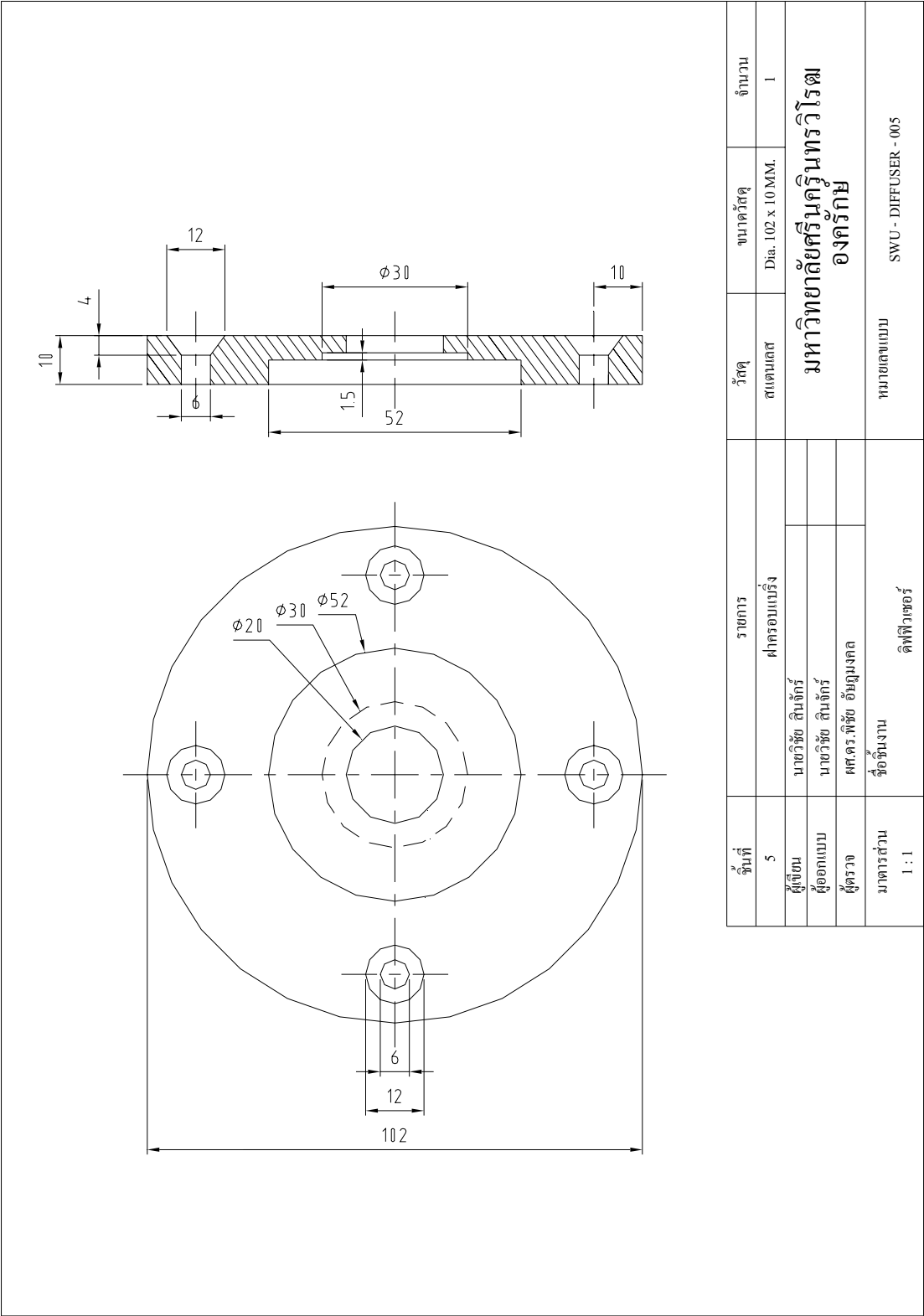


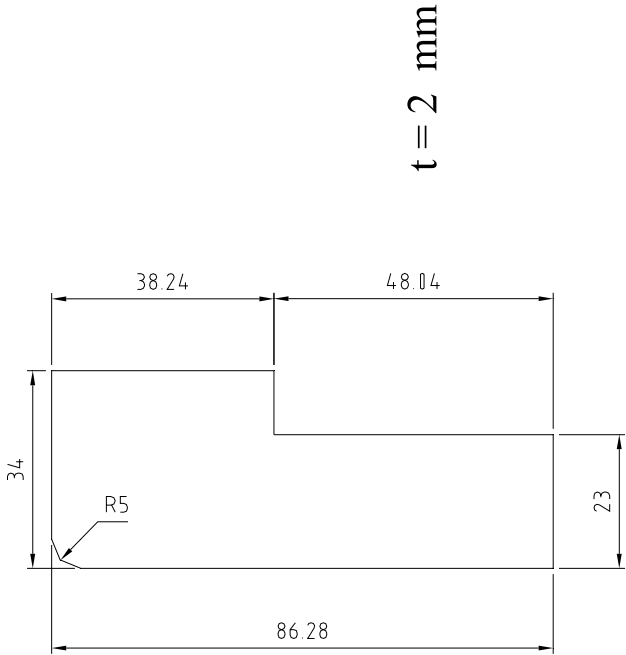
รุ่นที่	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	จำนวน
2	บุชทองเหลือง	ทองเหลือง	Dia. 28 x 5.5 MM.	1
ผู้เขียน	นายวิชัย ลินจันท์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		
ผู้ออกแบบ	นายวิชัย ลินจันท์			
ผู้ตรวจ	ศศ.ดร.พิชัย อินทมนต์			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ	SWU-DIFFUSER-002	
1 : 1	ดีฟิวเซอร์			



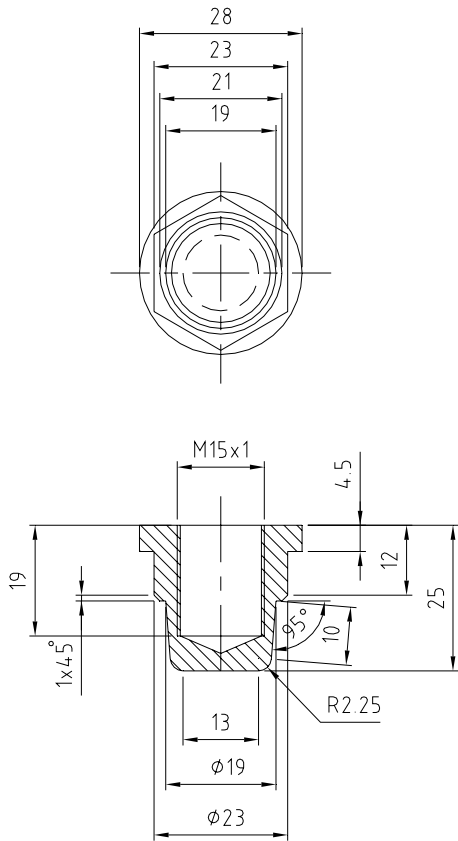
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	จำนวน
1	ชิ้นส่วนตัวอื่น	เหล็กกล้า S45C	Dia. 102 x 140 MM.	1
ผู้เขียน	นายรัช สันจักร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		
ผู้ออกแบบ	นายรัช สันจักร์			
ผู้ตรวจ	ศสว.พิชัย อัญมณฑล			
ภาพส่วน 1 : 1	ชื่อชิ้นงาน ดีฟิวเซอร์	ขนาดแบบ	SWU - DIFFUSER - 003	



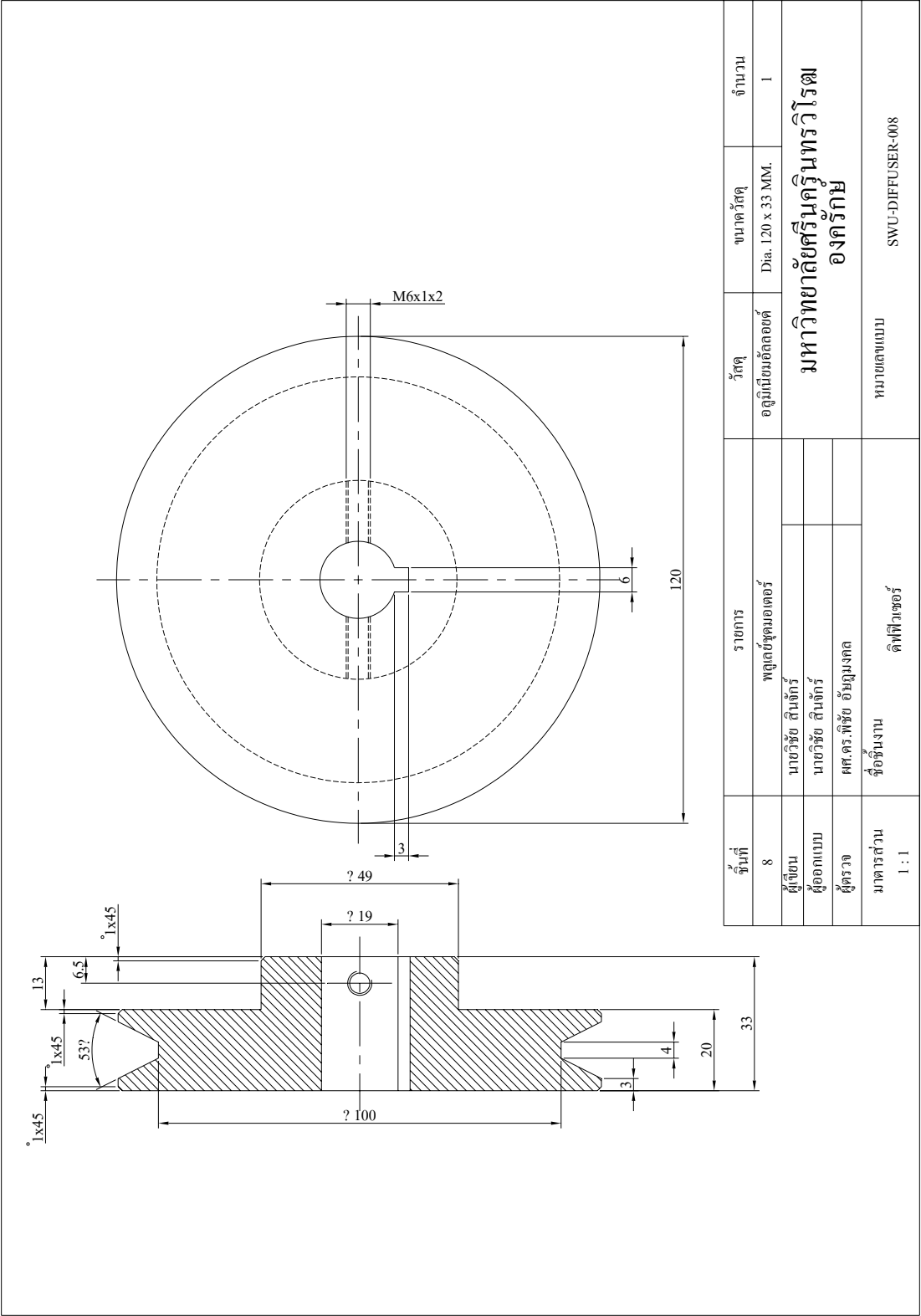


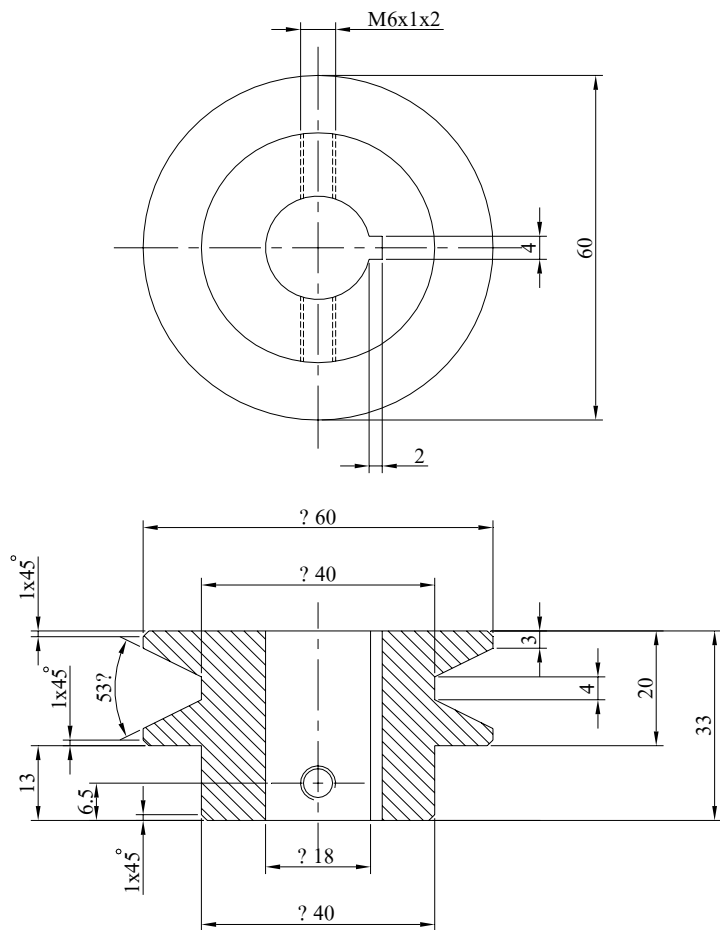


ชั้นที่	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	จำนวน
6	ใบกรับ	สแตนเลส SUS 304	$\square 2 \times 34 \times 68.28 \text{ MM.}$	17
ผู้เขียน	นายวิรัช สีนจิกร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์การ		
ผู้ออกแบบ	นายวิรัช สีนจิกร์			
ผู้ตรวจ	ผศ.ดร.พิรัช อัมมมงคล			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ		
1 : 1	ดีฟิวเซอร์	SWU-DIFFUSER-006		



ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	จำนวน
7	น็อตสล็อตปลา	สแตนเลส	Dia. 28 x 25 MM.	1
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์				
ผู้เขียน	นายวิชัย สันจักร์			
ผู้ออกแบบ	นายวิชัย สันจักร์			
ผู้ตรวจ	ศศ.ดร. พิรัช อัมมมงคล			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ		SWU-DIFFUSER-007
1 : 1	ดีฟิวเซอร์			





ชั้นที่	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	จำนวน
9	พลาตีสเตลิตฟิวเจอร์	อลูมิเนียมอัลลอยด์	Dia. 60 x 33 MM.	1
ผู้เขียน	นายวิชา สันจักร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		
ผู้ออกแบบ	นายวิชา สันจักร์			
ผู้ตรวจ	ศศ.ดร. พิชัย อัญมมงคล			
มาตรฐานส่วน	ชื่อชิ้นงาน			
1 : 1	ดัดฟิวเจอร์	หมายเลขแบบ	SWU-DIFFUSER-009	

ภาคผนวก จ

หนังสือรับรองการยอมรับผลงานปริญาณิพนธ์

หนังสือรับรองการยอมรับผลงานปริญญาณิพนธ์

จ-1 หนังสือรับรองการยอมรับผลงานปริญญาณิพนธ์เพื่อตีพิมพ์หรือเสนอต่อที่ประชุมวิชาการ



หนังสือตอบรับผลงานวิชาการ

เพื่อตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

ข้าพเจ้า รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย ตำแหน่งบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ สถานที่ทำงาน ศูนย์สำนักพิมพ์ มศว สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่ตั้ง 114 ซอยสุขุมวิท 23 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา จังหวัดกรุงเทพฯ 10110 โทรศัพท์
0-2649-5000 ต่อ 5911, 5912

ขอรับรองว่า นายวิชัย สีนจักร สถานที่ติดต่อ เลขที่ 18/806 เปี่ยมสุข ซอย 11/2 หมู่ 5 ถนน
สุขาประชาสรรค์ ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120 โทรศัพท์ 081-901-7843

มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตอบรับให้ลงตีพิมพ์และเผยแพร่ได้ โดยผ่านการพิจารณา
ตามขั้นตอนที่กำหนดของกองบรรณาธิการดังต่อไปนี้

- ☒ ผ่านคณะบรรณาธิการ/ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) พิจารณาตรวจและให้ความเห็นชอบ
เพื่อนำตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เรื่อง “การออกแบบและทดสอบตีพิมพ์เซ
อร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมพิวเตอร์วีลแบบการไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้
เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค”
เมื่อเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2552
- ☒ บรรณาธิการตอบรับให้ตีพิมพ์ในวารสาร ชื่อ วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ฉบับที่ 2 ปีที่ 4 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553


 (รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย)
 บรรณาธิการ
 วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 วันที่ 18/12/53



มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ขอขอบใจประกาศเกียรติคุณไว้เพื่อแสดงว่า

วิชัย สิ้นจักษ์ และคณะ

นำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง “การออกแบบและทดสอบดัดฟ้าเขียวประกอบรวมกับเบ็ดคอมเพรสเซอร์วัด
แบบการไหลผ่านของอากาศตามแนวรัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการกายภาพอนุภาค

ในงานประชุมศรีนครินทรวิโรฒวิชาการครั้งที่ ๔ วันที่ ๒๙ - ๓๐ มกราคม ๒๕๕๓

ณ อาคารวิจัยและการศึกษาคณะต่อเนื่องๆ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ศาสตราจารย์ ดร.วิฑูณ ตั้งเจริญ

อธิการบดี

รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี อนุพันธ์พิสิษฐ์

ประธานจัดงานประชุมศรีนครินทรวิโรฒวิชาการ

ภาคผนวก จ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
U_1	ความเร็วของใบพัดที่ทางเข้า	m/s
U_2	ความเร็วของใบพัดที่ทางออก	m/s
N	ความเร็วรอบของใบพัด	rpm
D_1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางเข้า	mm
D_2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออก	mm
C_x	ความเร็วของอากาศในทิศทางความเร็วของใบพัด	m/s
σ_s	ค่าองค์ประกอบการลื่นไถล (Slip factor)	-
C_r	ความเร็วของอากาศที่ไหลออกมีองค์ประกอบตามแนวรัศมี	m/s
b_{com}	ความสูงของครีบบใบพัด	mm
Q	อัตราการไหล	m ³ /min
A	พื้นที่หน้าตัด	m ²
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	Kg/m ³
C_u	ความเร็วสมบูรณ์ของอากาศ	m/s
C_{com}	ความเร็วของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด	m/s
α	มุมทิศทางของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด	Degree
Z	จำนวนครีบบของใบพัด	Fin
E	ค่าพลังงานที่ถ่ายเทให้แก่อากาศในเชิงทฤษฎี	J
ψ	ค่าตัวประกอบกำลังงาน (Power input factor)	-
h	ค่าเอนทาลปี	kJ/kg
W	พลังงานที่ถ่ายเทของเครื่องอัดอากาศ	J
η_{com}	ประสิทธิภาพในการไหลผ่านใบพัด	%
T	อุณหภูมิของอากาศ	K
k	ค่าคงที่ของอัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ	-
R	ค่าคงที่ของอากาศ	J/kg K
P	ความดันของของไหล	KPa
Δh	ค่าความต่างของเอนทาลปี	kJ/kg
M	ค่าตัวเลขมัคนัมเบอร์ของอากาศที่ไหลออกจากใบพัด	-

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_a	ความเร็วของเสียงในอากาศที่ปลายใบพัด	m/s
L_1	ความยาวของใบครีป	mm
A_1	พื้นที่หน้าตัดใบครีปของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางเข้า	m^2
A_2	พื้นที่หน้าตัดใบครีปของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก	m^2
θ	มุมรัศมีของใบครีป	Degree
AR	อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดใบครีปของดิฟฟิวเซอร์	-
C_{Pr}	ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดัน	-
$P_{st,1}$	ความดันสถิตยทางเข้า	kN/m^2
$P_{st,2}$	ความดันสถิตยทางออก	kN/m^2
$C_{pr,tl}$	ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มความดันทางทฤษฎี	-
U_3	ความเร็วของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางเข้า	m/s
U_4	ความเร็วของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางออก	m/s
C_{diff}	ความเร็วที่ช่องใบครีปของดิฟฟิวเซอร์	m/s
r_2	รัศมีใบพัดที่ทางออก	mm
r_3	รัศมีใบครีปของดิฟฟิวเซอร์ที่ทางเข้า	mm
R_e	เลขเรย์โนลด์นัมเบอร์กำหนดแบบการไหล	-
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์	mm
a	ความกว้างพื้นที่หน้าตัดใบครีปของดิฟฟิวเซอร์	mm
b	ความยาวพื้นที่หน้าตัดใบครีปของดิฟฟิวเซอร์	mm
V	ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ	m/s
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	mm
μ	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลในท่อ	$N.s/m^2$
U	ความหนืดจลน์ของของไหล	m^2/s

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวิชัย สีนจักร์
วันเดือนปีเกิด	13 มีนาคม 2515
สถานที่เกิด	จังหวัดลำปาง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	18/806 หมู่บ้านเปี่ยมสุข หมู่ที่ 5 ซอย.11/2 ถนนสุภาพรรณ ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120 โทรศัพท์ 02-9631748 และ 0819017843
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2527	ประถมศึกษา จาก โรงเรียนบ้านจอมปิง จังหวัดลำปาง
พ.ศ.2530	มัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนเกาะคาวิทยาคม จังหวัดลำปาง
พ.ศ.2533	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์ จาก เทคโนโลยีหมู่บ้านครูภาคเหนือ จังหวัดลำพูน
พ.ศ.2535	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเทคนิคยานยนต์ จาก เซนต์จอห์นโพลีเทคนิค กรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2540	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น กรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2553	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ