

การออกแบบอุปกรณ์จัดเรียงการไหลของอากาศ โดยใช้หลักการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

The Design of Airflow Straightener by Using Computational Fluid Dynamics

กীরดี สดีเดช¹, ปาริณา วิทย์ไพสิฐสันต์¹, ชัชวาล วงศ์ชูสุข², ชนินทร์ ตรงจิตภักดี³ และ ชินภัทร ทิพย์โยภาส^{3*}

¹ นักศึกษาคณะวิศวกรรมกรรมบริหารและอวกาศ, ² อาจารย์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ³ อาจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมกรรมบริหารและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
*ติดต่อ: fengcpt@ku.ac.th, โทรศัพท์ +66 82 490 2449, โทรสาร +66 25 79 5870

บทคัดย่อ

การออกแบบอุปกรณ์จัดเรียงการไหลของอากาศโดยใช้หลักการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยมีที่มาจากแนวความคิดที่จะนำพลังงานลมที่เกิดขึ้นจากพัดลมระบายอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรมมาสร้างพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กังหันลม แต่การนำกังหันลมทั่วไปติดตั้งโดยตรงนั้นกลับให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดีเนื่องจากการหมุนวนของกระแสอากาศที่ออกจากระบบระบายอากาศ จึงได้ออกแบบอุปกรณ์จัดเรียงการไหลในลักษณะของ Etoile Flow Straightener เพื่อลดการหมุนวนของอากาศ โดยกำหนดตัวแปรหลักได้แก่ จำนวนและความสูงของครีป โดยกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 35 เซนติเมตร และความยาว 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ในการคำนวณหาลักษณะที่เหมาะสม โดยผลการคำนวณด้วย CFD จะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยทำการสร้างกระแสอากาศจากพัดลมขนาด 12 นิ้ว ผ่านแบบจำลองอุปกรณ์จัดเรียงการไหลเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร วัดความเร็วลมด้วย Hot Wire ผลจากการวิเคราะห์พบว่า จำนวนครีปมีผลในการลดการกระจายตัวของ Tangential velocity ในแง่ของการกระจายตัวของ Axial velocity ที่น้อยที่สุดจะอยู่ที่ 8 ครีป ความสูงครีปมีผลอย่างชัดเจนในการลดขนาดและการกระจายตัวของ Tangential velocity

คำหลัก : อุปกรณ์จัดเรียงการไหล; พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ; การลดการหมุนวนของการไหล

Abstract

The flow straightener designing by using principle of computational fluid dynamics. Background of this project is to find the way to use the wind energy from industrial ventilation fan, to produce electricity by using wind turbine. But installing wind turbine directly doesn't give a good performance due to swirl of the air flow from the ventilation system. To resolve the problem, we design the etoile flow straightener to reduce swirl effect of the flow. The important parameters for designing the straightener are number and height of straightener's fin. The diameter of straighten is 35 centimeters and the length is two times of diameter. Using the computational fluid dynamics to optimize the number and height of the fin. The result from numerical solution is going to be validated to the experimental result, using 12-inch diameter fan generate flow through the straightener and measure the flow velocity by using hotwire. The result from CFD can be concluded that the 8 fins is the best condition for reducing the axial velocity distribution. More fins are better to reduce radial and tangential velocity. The height of fin is between 0.35 to 0.4 times of straightener's diameter, can reduce the magnitude and distribution of tangential velocity.

Keywords: Flow Straightener; CFD; Swirl reduction

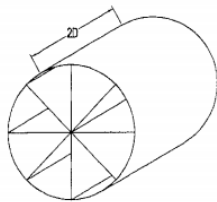
AME-09

1. บทนำ

อุปกรณ์จัดเรียงการไหลมีความสำคัญในการช่วยปรับการไหลที่มีความหมุนวนให้กลับเข้าสู่การไหลในแนวแกน ถูกใช้ในการจัดเรียงการไหลในท่อก่อนเข้าสู่อุปกรณ์วัดอัตราการไหลเพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำขึ้น และใช้ในอุโมงค์ลมเพื่อลด Swirl และ Turbulent ก่อนเข้าพื้นที่ส่วนทดสอบ

อุปกรณ์จัดเรียงการไหลแบบ Etoile (Etoile flow straightener) ดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถลดการหมุนวนได้ดี มีการสูญเสียพลังงานต่ำ แม้จะลดความปั่นป่วนได้น้อย จากงานวิจัยของ E. M. Laws และ A. K. Ouazzane (1995)^[1] พบว่า ความยาวของอุปกรณ์จัดเรียงการไหลแบบ Etoile ไม่มีผลสำคัญต่อการลดการหมุนวน แต่ผลจากส่วนต่อกันของครีปที่กลางอุปกรณ์มีผลทำให้เกิดเวค (Wake) หากตัดส่วนนี้ออกจะลดผลของเวคและทำให้อากาศที่ไหลออกจากอุปกรณ์มีความราบเรียบมากขึ้น

อุปกรณ์จัดเรียงการไหลสามารถนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ทำงานโดยที่อาศัยลมจากระบบระบายอากาศอุตสาหกรรมได้ โดยทำหน้าที่ปรับการไหลของอากาศหลังพัดลมระบายอากาศที่มีการหมุนวนให้กลับเข้าสู่แนวแกน ทำให้กังหันลมทำงานมีประสิทธิภาพและผลิตไฟฟ้าให้กับโรงงานได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 1 อุปกรณ์จัดเรียงการไหลแบบ Etoile

1.1 วัดคุณสมบัติของโครงงาน

ออกแบบอุปกรณ์จัดเรียงการไหลของอากาศที่สามารถลดการหมุนวนของการไหล โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ(CFD)

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

ออกแบบอุปกรณ์จัดเรียงการไหลในรูปแบบของ Etoile flow straightener โดยมีปัจจัยสำคัญได้แก่ จำนวนและความสูงของครีป ภายในของชุด Straightener โดยกำหนดความยาวชุด Straightener เป็น 2 เท่าของรัศมีท่อ

ผลการคำนวณจากโปรแกรมจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งใช้ลมจากพัดลมขนาด 12

นิ้วผ่านท่อรัศมี 35 เซนติเมตร โดยการวัดความเร็วลมด้วย Hotwire

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Flow Straighteners และ Flow Conditioners^[2]

Flow straighteners และ Flow conditioners ถูกใช้ในการเรียงกระแสการไหลให้ราบเรียบ เพื่อการวัดคุณสมบัติของการไหลในท่อให้แม่นยำขึ้นหลังจากถูกรบกวนด้วยอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีหน้าที่ในการลด Swirl และ จัดเรียงการไหลให้อยู่ในลักษณะ Fully develop turbulent ตามลำดับ

จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมแกนนอน ที่ใช้พลังงานจากลมออกจากระบบระบายอากาศอุตสาหกรรมที่มี Swirl มาผลิตไฟฟ้านั้น จึงพิจารณา Flow straightener ที่มีคุณสมบัติในการลด Swirl ในรูปแบบต่างๆ พบว่า Flow straighteners แบบ Etoile ที่ความยาว 2D ดังแสดงในรูปที่ 1 ลด Swirl ของการไหลได้ดี มีค่า Pressure loss coefficient 0.25 ซึ่งน้อยกว่าแบบกลุ่มท่อกลมหรือ Honeycomb จากงานวิจัยของ Laws และ Ouazzane (1995) พบว่าส่วนกลางที่เชื่อมต่อกันของ Etoile flow straightener แต่ละครีปทำให้เกิดเวค ซึ่งถ้าตัดส่วนนี้ออกจะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น

3. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

จากการพิจารณา Flow straightener รูปแบบต่างๆ Flow straightener แบบ Etoile ที่มี Pressure loss coefficient ต่ำที่สุด และยังสามารถลดการหมุนวนของการไหลได้ดี จึงถูกเลือกมาใช้ในการทดสอบ โดยควบคุมตัวแปรสำคัญได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 350 mm ความหนาของครีป (t) 3 mm ความยาว 2D โดยปรับเปลี่ยน ความสูงและจำนวนของครีปที่ ($H = 0.2D, 0.25D, 0.3D, 0.35D, 0.4D$ และ $N = 4, 6, 8, 10, 12$) เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดโดยการคำนวณด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการทดลองกับโมเดล Etoile Flow Straightener ที่มีความสูงของครีป 0.3D จำนวน 4 ครีป

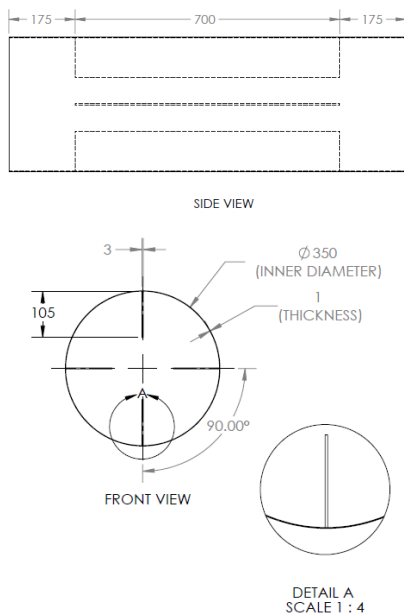
AME-09

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 3.1.1 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบ Hotwire (KIMO CTV110)
- 3.1.2 พัดลมขนาด 12 นิ้ว (TORY-925, 35 watt)
- 3.1.3 โมเดล Etoile flow Straightener แบบ 4 ครีบ
- 3.1.4 Linear Motion
- 3.1.5 NI USB-6008
- 3.1.6 Differential Pressure Gauge
- 3.1.7 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ANSYS ver. 14.5, SolidWorks และ National Instrument LABVIEW

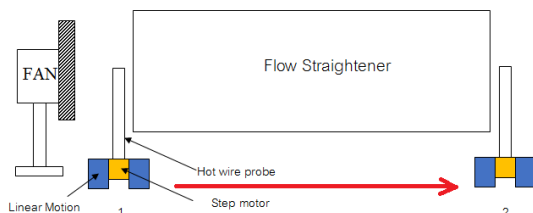
3.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.2.1 การสร้าง Etoile flow straightener ขนาด D = 350 mm โดยมีจำนวนครีบทั้งหมด 4 ครีบ ความสูงครีบเป็น 0.3D ความยาวทั้งหมดมีขนาดเป็น 3D



รูปที่ 2 โมเดลที่ใช้ในการทดสอบวัดความเร็วลมเข้าและออก

- 3.2.2 ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองได้แก่ อุปกรณ์วัดความเร็วลม Hotwire ยึดติดกับ Linear motion และทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

- 3.2.3 ทำการวัดความเร็วลมในแนวแกน Axial ตามแนวรัศมีของอุปกรณ์จัดเรียงการไหล โดยปรับให้ Hotwire

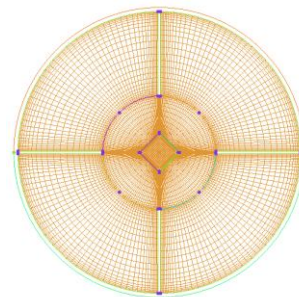
probe ทิศตามแนวแกน Axial ทั้งบริเวณทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์จัดเรียงการไหล บันทึกค่าผ่าน NI USB-6008

- 3.2.4 ทำการวัดความเร็วลมในแนวแกน Tangential ตามแนวรัศมีของอุปกรณ์จัดเรียงการไหล โดยปรับให้ Hotwire probe ทิศตั้งฉากกับแนวแกน Axial บันทึกค่าผ่าน NI USB-6008

- 3.2.5 เลื่อน Hotwire probe ไปด้านหลัง Flow straightener วัดความเร็วลมที่ทางออกตามข้อ 3.2.4-5

- 3.2.6 ทำการวัดความดันโดยใช้ pitot และ differential pressure gauge ทั้งบริเวณทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์จัดเรียงการไหล บันทึกค่าผ่าน NI USB-6008

- 3.2.7 ออกแบบ Etoile flow straightener ด้วย SolidWorks และออกแบบ Grid ที่ใช้วิเคราะห์ด้วย Ansys ICEM



รูปที่ 4 หน้าตัด Grid บริเวณ Flow straightener

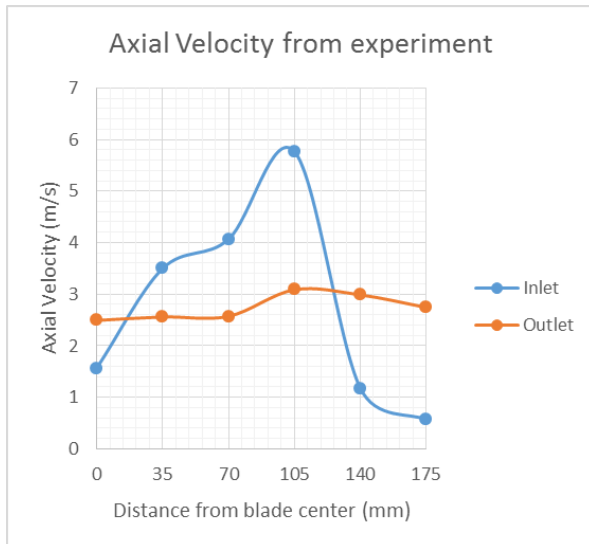
- 3.2.8 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ Etoile flow straightener แบบเดียวกับโมเดล ด้วยโปรแกรม Ansys Fluent และตรวจสอบผลกับการทดลอง แล้วจึงวิเคราะห์ Etoile flow straightener ที่มีขนาดและความยาวครีบอื่น

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดความเร็วลมกับโมเดล

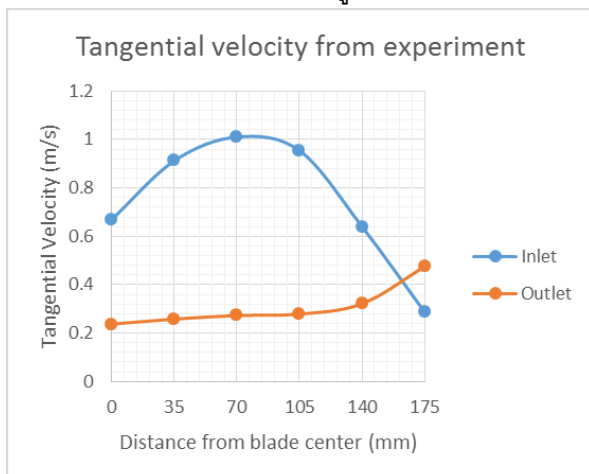
จากการทดลองพบว่าเมื่ออากาศจากพัดลมไหลผ่านอุปกรณ์จัดเรียงการไหลพบว่าความเร็วในแนวแกน Axial มีค่าใกล้เคียงกันตลอดความยาวรัศมีของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 5

AME-09



รูปที่ 5 ความเร็วในแนว Axial ที่ทางเข้าและทางออกของ Flow straightener

ส่วนในแนวแกน Tangential ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของ Swirl นั้น เมื่อเปรียบเทียบความเร็วบริเวณทางเข้าและทางออกของท่อพบว่าความเร็วในแนวแกน Tangential ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความเร็วในแนว Tangential ที่ทางเข้าและทางออกของ Flow straightener

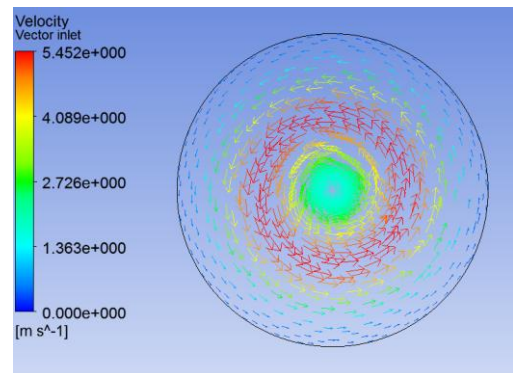
สำหรับการสูญเสียความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุปกรณ์จัดเรียงการไหลนั้น แสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า Dynamics Pressure ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณทางเข้าและทางออกของ Flow straightener

Location	Distance from center (mm)	Dynamic Pressure (Pa)	
		inlet	outlet
0	0	7.0069	-1.0105
1	35	-0.4970	-1.0470
2	70	2.4665	-0.9681
3	105	6.2563	-0.8116
4	140	1.9363	-0.7971
5	175	0.9272	-0.5398

4.2 ผลการคำนวณด้วย CFD

ทำการคำนวณโดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง Axial velocity และ Tangential velocity กับระยะห่างจากศูนย์กลางท่อในการสร้าง User-defined function (UDF) ของ Velocity inlet boundary condition ที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมได้ผลดังภาพที่ 7



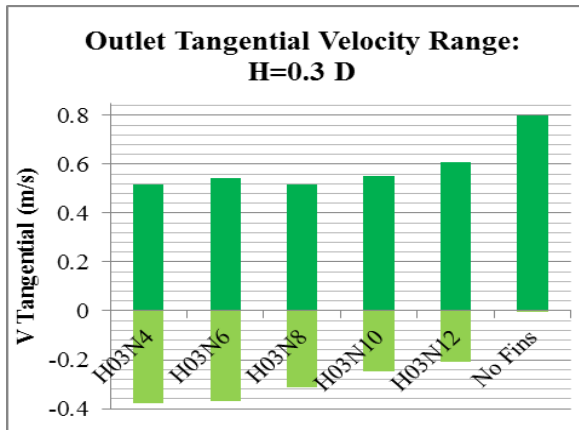
รูปที่ 7 Inlet velocity vector สร้างจาก UDF ใช้เป็น Incoming flow ในการคำนวณด้วย Ansys Fluent

แล้วจึงคำนวณ Flow Straightener ทั้ง 9 รูปแบบ โดยวัดค่าความเร็วและความดันที่ Outlet พบว่าการไหลมีความใกล้เคียงเส้นตรงมากขึ้น ค่าเฉลี่ยของ Axial velocity ที่ Inlet และ Outlet ของทุกรูปแบบอยู่ที่ 2.78 m/s ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีอัตราการไหลคงที่ ค่าเฉลี่ยของ Tangential velocity ลดลงเนื่องจากบางส่วนการสลายตัวเป็นการหมุนวนขนาดย่อยระหว่างครีปในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนวนบริเวณแกนกลาง ซึ่งมีผลให้เกิด Radial velocity นั้นเพิ่มขึ้นมาด้วย

AME-09

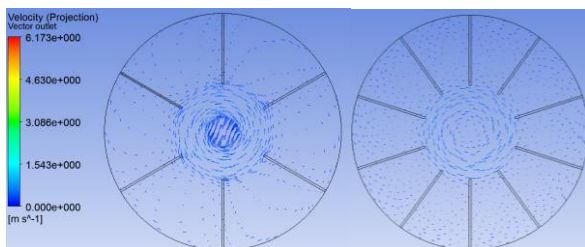
4.2.1 ผลของจำนวนครีบของ Flow straightener ที่มีต่อการลด Swirl

เมื่อนำข้อมูลการกระจายตัวของความเร็วและจากสูญเสียความดันมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบจะได้ดังรูปที่ 8



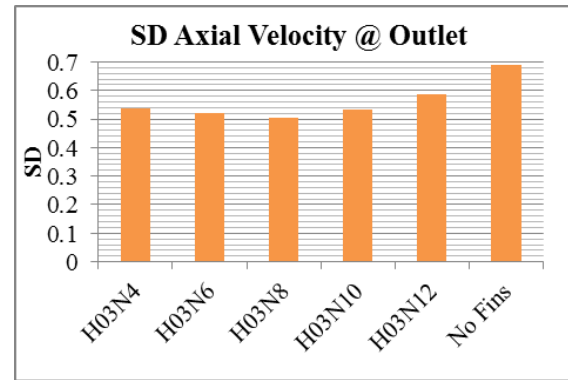
รูปที่ 8 เปรียบเทียบ Range การกระจายตัวของ Tangential velocity ผ่าน Flow Straightener ที่มีจำนวนครีบต่างกัน

สังเกตได้ว่าจำนวนครีบมีผลในการลดการกระจายตัวของ Tangential Velocity ในบริเวณขอบท่อในแนวรัศมีตามความสูงครีบดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของการหมุนรอบแกนกลางมาเป็นการหมุนวนย่อยระหว่างครีบ โดยจำนวนครีบที่มากขึ้นจะทำให้ Tangential Velocity ในบริเวณขอบท่อตามแนวความสูงครีบลดต่ำลง



รูปที่ 9 Outlet Tangential Velocity Vector ของการไหลผ่าน Etoile Flow Straightener แบบ H03N6 และ H03N10

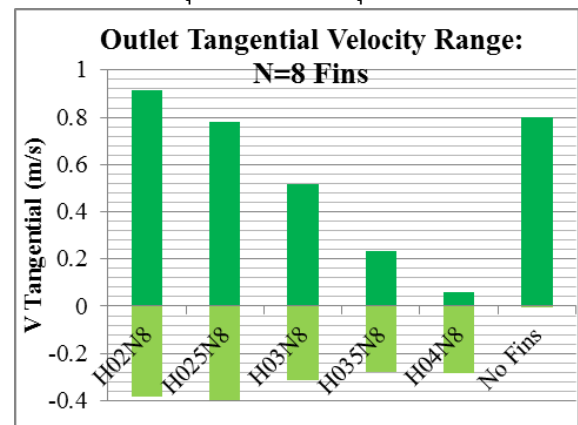
จำนวนครีบยังส่งผลเล็กน้อยต่อการกระจายตัวของ Axial velocity ที่ระนาบ Outlet โดย Flow straightener ที่มีจำนวนครีบ 6 และ 8 ครีบจะลดการกระจายตัวของ Axial velocity ได้ดีกว่าแบบอื่นเล็กน้อย



รูปที่ 10 Standard Deviation ของ Axial Velocity ที่หน้าตัด Outlet

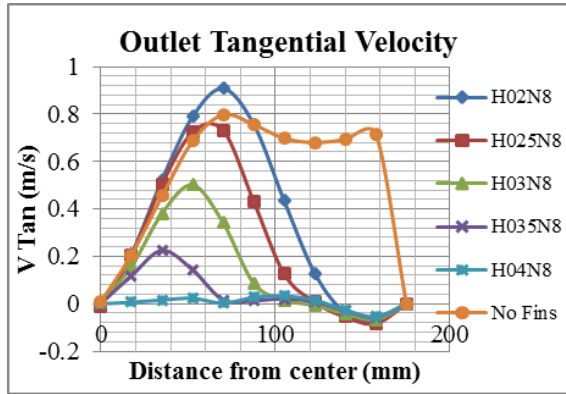
4.2.2 ผลของความสูงครีบของ Flow straightener ที่มีต่อการลด Swirl

ความสูงครีบมีผลอย่างชัดเจนในการลดขนาดและการกระจายตัวของ Tangential velocity ที่ระนาบทางออกโดย Tangential velocity จะลดลงเมื่อใช้ Flow straightener ที่มีความสูงครีบมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 11 และ 12 Tangential velocity จะเพิ่มขึ้นจากบริเวณศูนย์กลางจนถึงค่าหนึ่งแล้วลดลงก่อนเข้าพื้นที่ส่วนครีบและลดลงจนเปลี่ยนทิศการหมุนเกิดเป็นการหมุนวนย่อยระหว่างครีบ



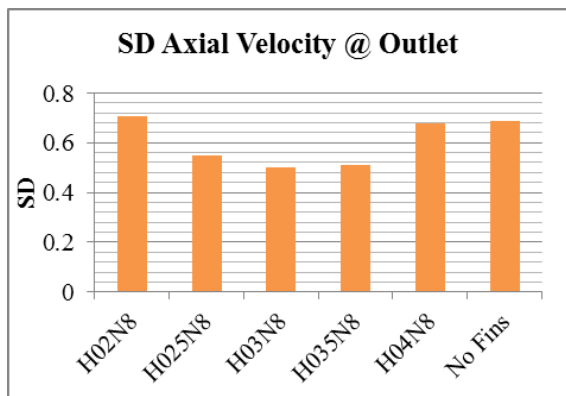
รูปที่ 11 เปรียบเทียบ Range การกระจายตัวของ Tangential velocity ผ่าน Flow Straightener ที่มีความสูงครีบต่างกัน

AME-09



รูปที่ 12 เปรียบเทียบ Tangential velocity ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของการไหลผ่าน Flow Straightener ที่มี ความสูงครีบริบต่างกัน

นอกจากนี้ยังมีผลต่อการกระจายตัวของ Axial velocity ความสูงครีบริบที่เหมาะสมที่สุดในการลดการกระจายตัวของความเร็วอยู่ในช่วง $0.35D$ แต่ไม่ถึง $0.4D$ ซึ่งมากเกินไปจนทำให้ Axial velocity บริเวณศูนย์กลางต่ำลงต่ำกว่าปกติ และควรมีความสูงอย่างน้อยมากกว่า $0.25D$ ที่ให้ผลดีกว่าไม่ใส่ Flow straightener เล็กน้อย



รูปที่ 13 Standard Deviation ของ Axial Velocity ที่หน้าตัด Outlet

4.2.3 ผลของการสูญเสียพลังงานของการไหลผ่าน Flow Straightener

ในการสูญเสียพลังงานนั้นถูกวัดในรูปการลดลงของ Total Pressure บริเวณ Outlet เทียบกับ Inlet โดยการใส่ครีบริบเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสการไหล ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนและความสูงครีบริบจะทำให้มีการสูญเสียพลังงานสูงขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ 28.1% (No fins) จนถึง 42.8% (H03N12) ทั้งนี้หากเพิ่มความสูงครีบริบเกิน $0.3D$ แล้ว การลดลงของ Total pressure จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

5. สรุปผลการทดลอง

แนวคิดที่จะนำ Etoile Flow Straightener ที่ตัดครีบริบบริเวณแกนกลางออกมาลด Swirl ของการไหลสามารถทำได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีความสูงครีบริบที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.35 แต่ไม่ถึง 0.4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนครีบริบนั้นจำนวนครีบริบมากยิ่งขึ้นส่งผลดีในการลดการกระจายตัวของ Tangential velocity แต่ในการลดการกระจายตัวของ Axial velocity นั้น 8 ครีบริบจะเหมาะสมกว่า ทั้งนี้การสูญเสียพลังงานในการไหลนั้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนและความสูงของครีบริบ

การทดลองและการคำนวณด้วย CFD สามารถทำให้แม่นยำมากขึ้นโดยการใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลมที่เหมาะสมและเพิ่มตำแหน่งในการวัดผลรวมถึงวัดความเร็วลมในแนว Radial เพิ่มเติมเพื่อเป็นค่า Input ใน Fluent

จากผลการคำนวณพบว่าพลังงานที่สูญเสียส่วนหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมความเร็วในแนว Tangential ซึ่งเกิดการปะทะกับครีบริบของ Flow Straightener โดยตรง หากออกแบบให้ครีบริบโค้งเป็นเกลียวตามแนวการหมุนแล้วปรับทิศทางเข้าสู่แนวแกนได้จะสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้มากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Laws, E. M. and Ouazzane, A. K. A preliminary study into the effect of length on the performance of the Etoile flow straightener. Flow Meas. Instrum., 1995 Vol. 6, No. 3: pp. 225-233
- [2] Baker, R. C. Flow measurement handbook: industrial designs, operating principles, performance, and applications. New York. Cambridge. 2000
- [3] Analysis of propellers Glauert blade element theory. AMME, University of Sydney.1996-2006. URL:http://www.mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginero/aerothermal_dvd_only/aero/propeller/prop1.html , access on October 19, 2014.
- [4] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงาน โรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). พลังงานลม , [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/pdf_wind/wind_energy.pdf, เข้าดูข้อมูลเมื่อวันที่ 7 ธันวาคม 2557